

**Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)**

Институт Компьютерных технологий и защиты информации

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМК института КТЗИ
КНИТУ-КАИ

_____ В.В. Родионов
« ___ » _____ 2018 г.

**Конспект лекций по программе повышения квалификации
«Базовый курс моделирования в системе NX»**

Коллектив разработчиков:

ст. преподаватель ИППК КИ
к.т.н., доцент, каф. САПР

/ М.В. Меркурьева/
/ В.А. Дроздилов/

Казань 2018 г.

Лекция №1 (2 часа)

- 1. Моделирование типовых и стандартизированных деталей в системе автоматизированного проектирования Siemens NX**
- 2. Общие понятия и концепции сборки в системе автоматизированного проектирования Siemens NX. Моделирование типового приспособления.**

Введение в САПР NX.

Система Siemens NX – это интерактивная система, предназначенная для автоматизированного проектирования, изготовления и расчетов изделий. NX является системой трехмерного моделирования, в которой инженер может создавать изделия любой степени сложности. Для обозначения систем такого класса используется аббревиатура CAD/CAM/CAE.

NX относится к так называемым системам высокого уровня автоматизированного проектирования и обладает широким набором инструментальных средств. NX широко распространена во всем мире и используется для разработки продукции ведущими мировыми производителями в наукоемких отраслях промышленности. Основная задача системы в конечном итоге состоит в сокращении стоимости создания изделия, улучшении его качества и сокращении сроков выхода на рынок.

Проектирование в NX осуществляется следующим образом: сначала создаются трехмерные модели всех деталей изделия, затем они объединяются в сборки, и таким образом получается трехмерная модель любого изделия – от самолета или космического корабля до игрушки. После этого производится расчет основных деталей и узлов методом конечных элементов, уточняются размеры деталей, материал, из которого они должны быть изготовлены, возможна оптимизация различных параметров будущего изделия. После этого из трехмерных моделей создаются рабочие чертежи всех деталей и узлов.

NX имеет модульную структуру, которая разделена на приложения и общие функции. Каждое приложение NX может быть вызвано из управляющего модуля, который носит название «*Базовый модуль*». Все

данные, которые созданы в NX , могут использоваться в любом его приложении.

Все инструменты NX сгруппированы в приложениях (модулях), в которых можно выполнять различные действия, такие как создание геометрии детали или сборки, чертежа, расчет модели и т.д.

Базовый модуль NX. Этот модуль открывается при первом запуске системы. Этот модуль является основным в системе. В нем не производится никаких геометрических построений или операций над моделями. Его главной функцией является обеспечение связи между всеми модулями NX, а также просмотр существующих моделей. Внешний вид окна модуля представлен на рис.1.1. Здесь можно производить следующие действия: создать новый файл, открыть существующий файл или запустить одно из приложений NX.

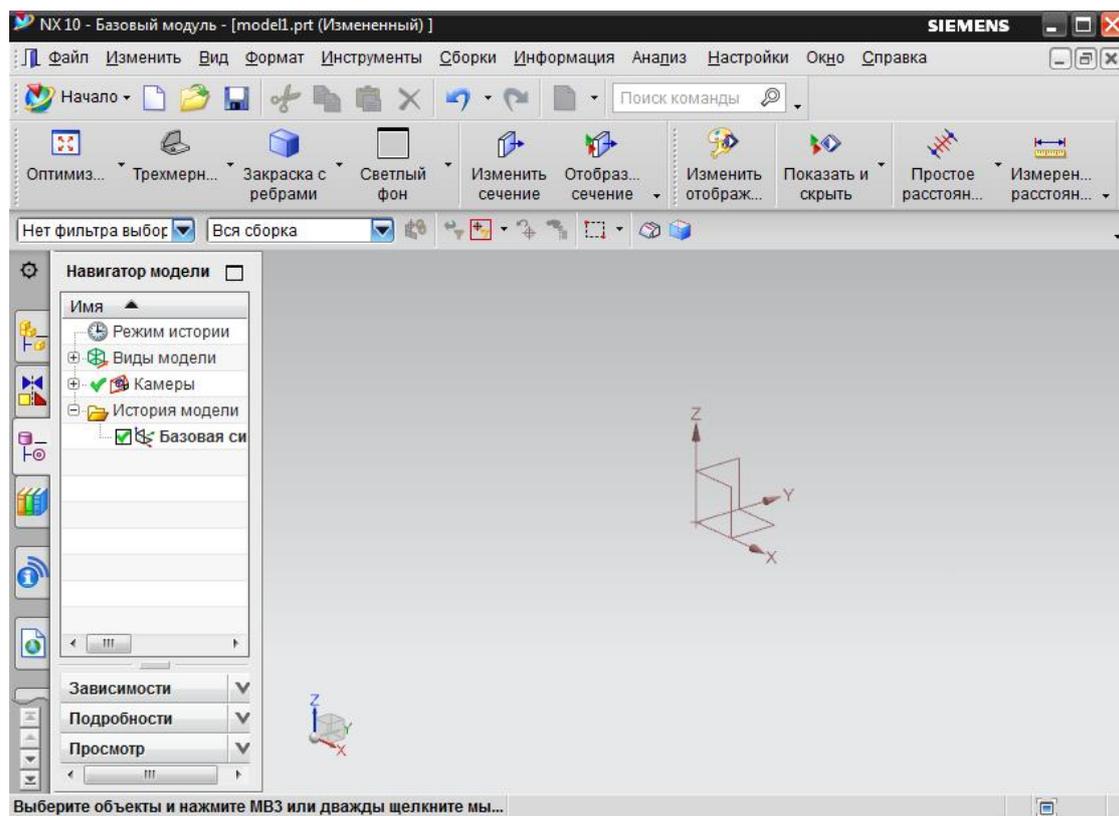


Рис. 1.1 Базовый модуль

Моделирование. Этот модуль предназначен для создания трехмерной модели детали. Он обладает широким набором инструментальных средств, при помощи которых можно построить геометрию любой сложности. Модуль содержит такие основные функции, как создание базовых и ассоциативных

Черчение. В этом модуле осуществляется построение различных видов чертежей деталей и сборок, сгенерированных из моделей, созданных в приложениях *Моделирование* и *Сборки*. Чертежи, созданные в модуле **Черчение**, полностью ассоциативны модели, на основе которой они построены. Пример чертежа показан на рис.1.4.

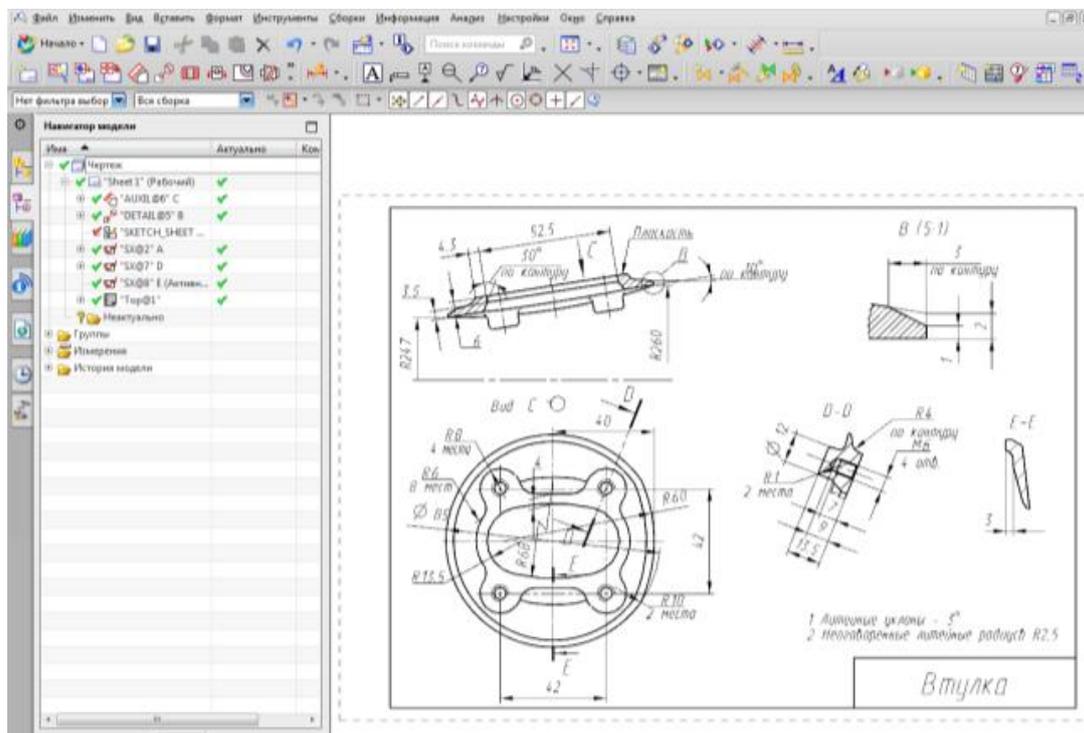


Рис. 1.4 Модуль **Черчение**

Технические условия. Технические условия это набор инструментальных средств создания надписей, которые можно использовать для описания изделий в трехмерных средах. Это позволяет задавать технологическую информацию на модели, которая затем может быть обработана различным инструментарием, например, провести анализ допусков и размерных цепочек, использовать информацию при разработке программ для ЧПУ и т.д. Также при создании чертежей данная информация может наследоваться с модели на чертежные виды. Всё это даёт возможность документировать модель на ранних стадиях разработки и вовлекать в процесс разработки других участников – технологов и расчётчиков, не дожидаясь пока модель будет полностью готова и будет оформлен чертеж.

Для эффективной работы в NX сначала необходимо познакомиться с основными терминами и определениями, которые используются в этой системе.

Как уже отмечалось, NX является полностью трехмерной системой проектирования. Работа ведется в трехмерном декартовом пространстве. В NX принята правая декартова система координат, за начало координат принята точка пересечения осей координат.

Триада вида, отображается в нижнем левом углу всех видов, представляет ориентацию абсолютной системы координат модели относительно вида или ориентации модели в пространстве (рис. 1.5). Для триады вида и для системы координат цвета векторов одинаковые: ось X – красная, ось Y – зеленая и ось Z – синяя.

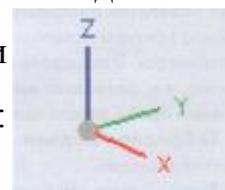


Рис 1.5

Абсолютная система координат – это система координат, которая используется при создании новой модели. Эта система координат задает пространство модели и фиксирована в заданном положении.

Рабочая система координат (РСК) – это любое количество других систем координат, чтобы создать геометрию. Однако только одна система координат в данный момент может использоваться для построения. Эту систему координат называют рабочей системой координат (Абсолютная система координат является рабочей по умолчанию, если иное условие не задано в шаблоне).

Единицами измерения длины принимаются миллиметры или дюймы. Единицы измерения углов – градусы или доли градуса. Положительные углы отсчитываются от оси X или Y против часовой стрелки, отрицательные значения углов отсчитываются по часовой стрелке (рис. 1.6).

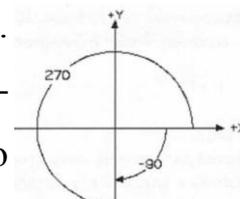


Рис. 1.6

Все объекты, которые можно создавать в NX условно можно разделить на следующие группы:

а) По ассоциативности:

- Ассоциативные объекты. Объекты, отображаемые в дереве построения, их можно редактировать, зачастую данные объекты зависят от

дочерних объектов. (Изменение дочерних объектов может привести к изменению самого объекта).

- Не ассоциативные объекты. Объекты, не отображаемые в дереве построения, для их редактирования необходимо использовать специализированные программы, не имеют дочерних объектов.

По использованию ассоциативных и не ассоциативных объектов модель детали может быть:

Параметрической моделью. В этой модели, геометрические параметры задаются в процессе построения модели, эти параметры можно изменять при редактировании. При построении таких моделей можно использовать только один простой примитив, а затем модифицировать его при помощи различных элементов построения (отверстие, бобышка, карман и т.д.). Здесь при построении задающего контура используют эскизы, которые полностью параметризованы и определены геометрически. Эта модель имеет существенные преимущества перед, т.к. позволяет инженеру управлять геометрическими размерами детали, получать на основе одной детали-шаблона семейство деталей и т.д.

Непараметрические модели характеризуются тем, что создаются в режиме History free (без истории). В данном способе создания модели используется весь функционал модуля моделирования, но с тем условием, что все выполняемые операции построения не сохраняются в хронологическом дереве модели.

Гибридные модели - сочетают между собой свойства параметрических и непараметрических моделей.

б) По типу объекта:

- Геометрические объекты (тела, кривые, поверхности и т.д.). Объекты, являющиеся частью модели детали.
- Вспомогательные объекты (системы координат, плоскости и т.д.). Объекты, не являющиеся частью модели детали, но они используются при построении геометрических объектов.

Можно выделить следующие основные геометрические объекты:

Элемент – общий термин, которым называются все команды построения примитивов (конус, цилиндр), типовых элементов на теле (отверстия, пазы, карманы и т.д.), дополнительных операций построений (округление, фаска, тонкостенное тело и т.д.) и булевы операции на твердом теле.

Тело – класс объектов, который состоит из твердых тел, имеющих объем, и листовых тел, имеющих площадь.

Твердое тело – тело, состоящее из граней и ребер, которые вместе полностью замыкают объем.

Листовое тело – тело нулевой толщины, состоящее из граней и ребер, которые вместе не замыкают объема.

Грань – часть внешней поверхности тела, окруженная ребрами.

Ребро – кривая, которая образуется при пересечении граней тела.

Кривые. Кривые строятся в трехмерном пространстве. Кривые в NX бывают двух типов - непараметрические и параметрические. К непараметрическим кривым относятся базовые кривые, такие как линия, дуга, окружность, сплайн. К параметрическим кривым относятся прямая, дуга, окружность, эллипс, спираль, сплайн-студии.

Эскизы. Эскизом называется именованный набор плоских кривых, лежащих в заданной плоскости. В эскизе можно наложить геометрические и размерные ограничения, которые используются для задания формы кривых. Эскиз может затем многократно применяться для операций построения твердого тела, где в качестве исходных данных для построения используются кривые. Эскиз является параметрическим объектом NX.

Ссылочные элементы. К этому типу объектов относятся координатные плоскости, оси и ссылочные системы координат, которые используются для вспомогательных построений и для привязки и позиционирования объектов NX.

Элементы проектирования. Эти объекты используются для создания твердотельной геометрии. К ним относятся операции вытягивания, вращения,

заметания, простые примитивы (блок, цилиндр, конус, шар), отверстие, карман, проточка и т.д.

Операции с элементами. Это средство моделирования NX, которое позволяет добавлять различные детали к существующей геометрии. При помощи этих операций можно добавлять фаски, скругления, осуществлять наклон граней, обрезку и разделение тела и др.

Сборка - совокупность деталей и подборок, из которых состоит цифровая модель изделия.

Компонент - это часть, входящая в сборку, с заданными расположением и ориентацией. Компонентом может быть подборка, состоящая из других компонентов более низкого уровня.

Чертеж - полностью ассоциативный с моделью объект. Чертежи в NX строятся на основе трехмерных моделей деталей или сборок.

Интерфейс NX максимально приближен к интерфейсу большинства Windows-приложений. Начиная с 6-й версии NX, имеется возможность работать как в обычном режиме, так и полноэкранном.

Для того чтобы создать новый файл детали, необходимо выполнить команду Файл Новый из строки меню или нажать кнопку . Для создания нового файла детали также можно воспользоваться комбинацией Ctrl + N. После выполнения этой команды откроется диалоговое окно (рис. 1.7).

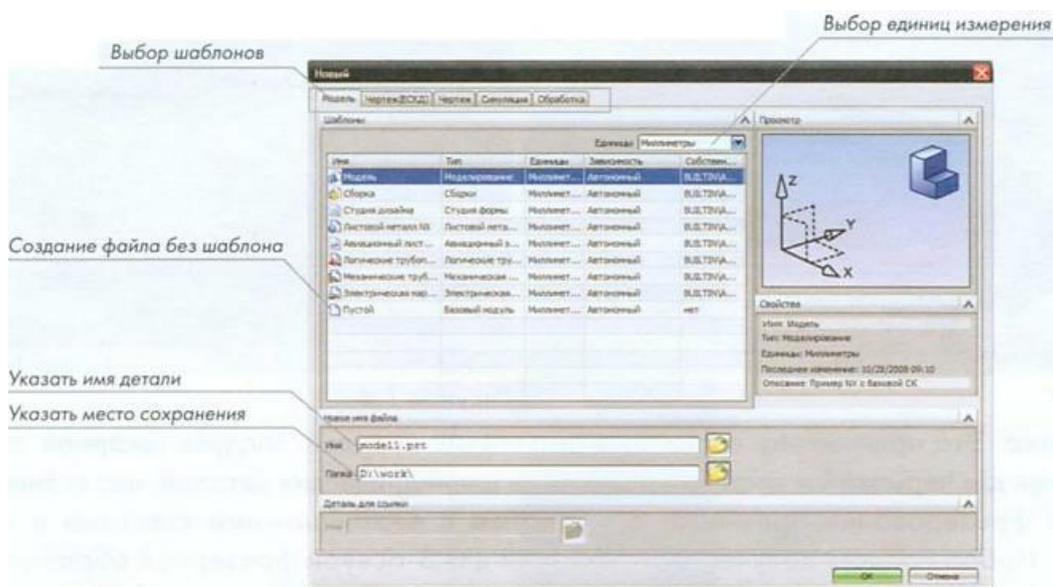


Рис. 1.7. Диалоговое окно создания файла детали

В этом диалоговом окне имеются закладки, в которых объединены шаблоны в зависимости от их назначения. Новый файл детали можно создать двумя способами: выбрать один из существующих шаблонов или выбрать пустой для того, чтобы новый файл был создан без использования стандартного шаблона.

В закладке «Модель» имеются шаблоны для создания детали и сборки. В зависимости от выбора шаблона NX запустит соответствующее приложение.

В закладке «Чертеж» находятся шаблоны для создания чертежа детали или сборки.

Здесь же можно выбрать единицы измерения (миллиметры или дюймы). Следует заметить, что в зависимости от выбора единиц измерения NX показывает доступные шаблоны. При выборе «Все» система покажет все шаблоны.

Затем в поле «Имя» необходимо задать имя создаваемой детали (до версии NX 10 имя может состоять только из латинских букв и цифр), а в поле «Папка» указать путь для сохранения детали.

После запуска NX и создания нового файла без использования шаблона открывается приложение «Базовый модуль». Рассмотрим основные элементы интерфейса NX на примере (рис. 1.8).

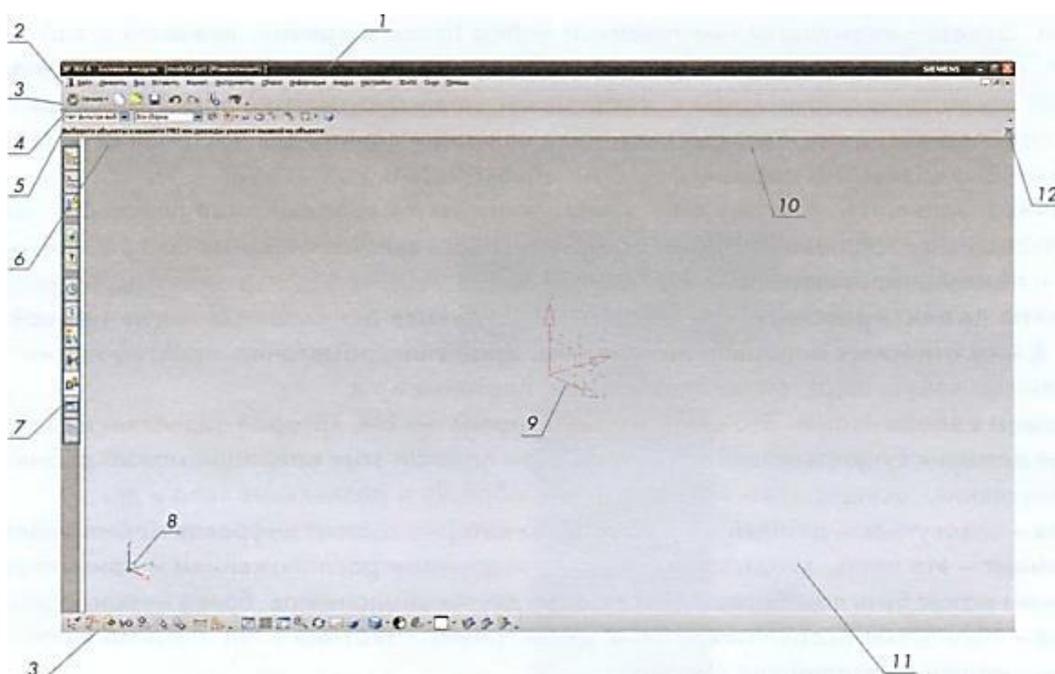


Рис. 1.8 Интерфейс NX

1) Область заголовка. Здесь отображается название запущенного приложения и имя текущей отображаемой детали.

2) Строка меню. Здесь отображаются заголовки меню, в которых содержатся различные команды NX.

3) Область инструментальных панелей. В этой области располагаются инструментальные панели, на которых расположены кнопки для вызова различных команд. Эти панели могут располагаться в верхней, нижней, левой и правой области окна NX. Инструментальные панели могут находиться в двух состояниях - закрепленном и плавающем.

4) Панель выбора. Здесь сгруппированы команды, предназначенные для фильтрации и эффективного выбора объектов.

5) Строка подсказки. В этой строке выводятся подсказки пользователю по текущей команде. Как правило, это подсказка для дальнейших действий пользователя.

6) Направляющая диалогового окна.

7) Панель ресурсов. На этой панели сгруппированы кнопки навигатора модели и сборки, истории, браузера, справки, ролей и ряд других.

8) Триада вида.

9) Система координат базы.

10) Строка состояния. Строка состояния, расположенная справа от строки подсказки, отображает информационные сообщения о текущей опции или о недавно законченной функции. Эти сообщения являются информационными и не требуют реакции на них.

11) Графическое окно. В этом окне производится построение модели, сборки, чертежа и т.д.

Для того чтобы открыть существующий файл детали или сборки, необходимо выполнить команду Файл Открыть или нажать кнопку . Для открытия файла также можно воспользоваться комбинацией Ctrl+O. После выполнения команды откроется диалоговое окно «Открыть».

Диалоговые окна NX

При выполнении команд NX открываются диалоговые окна, Диалоговые окна по умолчанию закреплены на так называемой направляющей рельсе (Рис. 1.9). Для перемещения окна по рельсе необходимо захватить его левой кнопкой мыши за черную полосу и, не отпуская кнопку, переместить вдоль рельсы. Для перемещения окна в крайнее левое или крайнее правое положение сделайте щелчок на соответствующей стрелке.

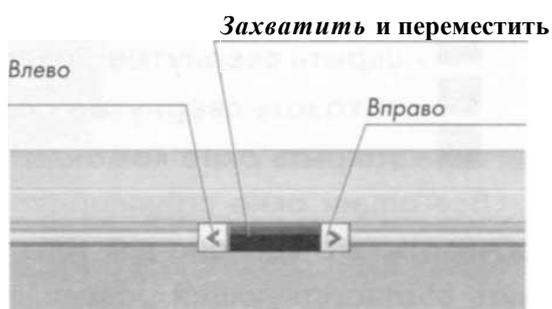


Рис. 1.9 Направляющая рельса

Рассмотрим управление диалоговым окном на примере окна команды «Цилиндр» (рис. 1.10). Для управления диалоговым окном служат следующие кнопки:

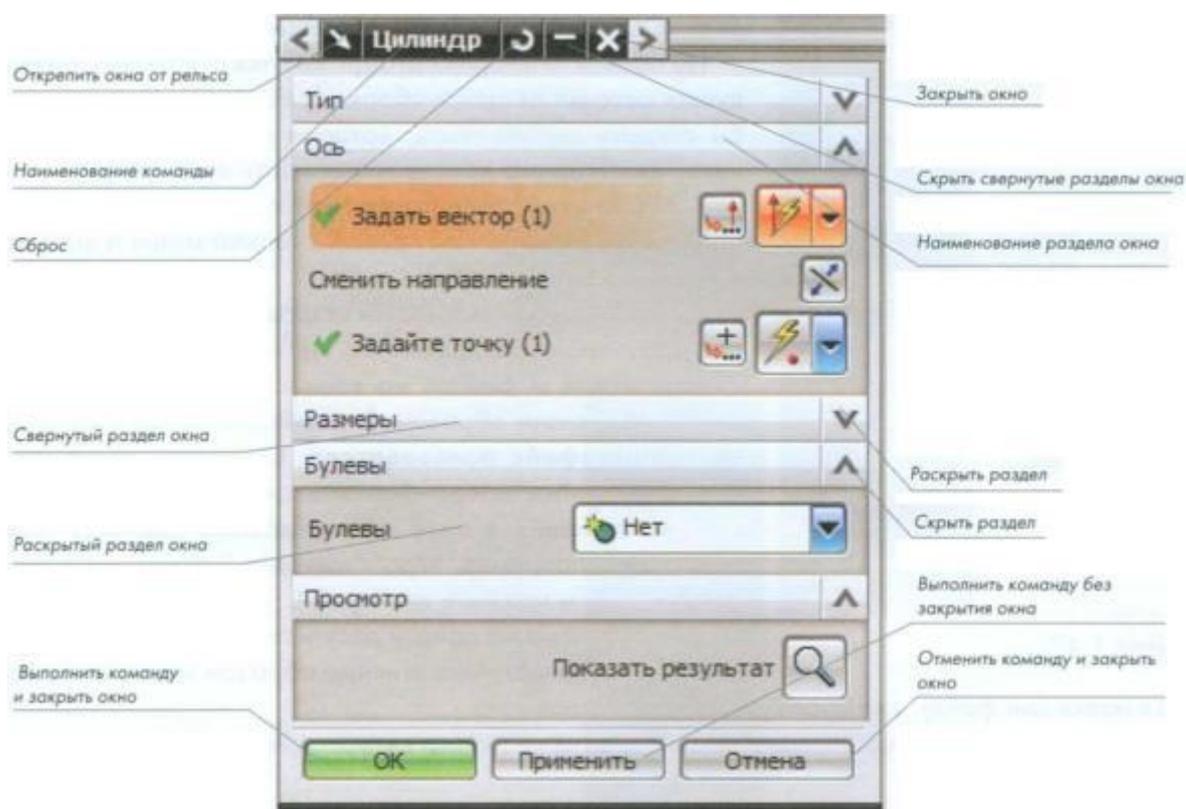


Рис. 1.10 Диалоговое окно

-  – перемещение диалогового окна влево;
-  – перемещение диалогового окна вправо;
-  – открепить диалоговое окно от рельса;
-  – прикрепить диалоговое окно к рельсу (эта кнопка появляется, когда диалоговое окно откреплено от рельса);
-  – сброс. Используется для сброса всех параметров диалогового окна в значения, установленные по умолчанию;
-  – скрыть свернутые разделы окна;
-  – показать свернутые разделы окна;
-  – закрыть окно команды.

Все опции окна сгруппированы в отдельные разделы, которые можно сворачивать и разворачивать, это сделано для того, чтобы окна NX имели компактный вид. Для того чтобы развернуть соответствующий раздел, необходимо нажать кнопку со стрелкой, расположенную справа от наименования раздела. Рельс диалогового окна устанавливается системой по умолчанию.

Контекстные и радиальные меню

Контекстное меню отображается, если сделать щелчок правой кнопкой мыши в пустом месте графической зоны (рис. 1.11). Это меню состоит из двух разделов: «Мини-панель выбора» и «Вид». Мини-панель выбора представляет собой компактное меню для выбора объектов и располагается в положении курсора. Это позволяет пользователю быстро устанавливать различные фильтры для эффективного выбора объектов. В меню «Вид» собраны наиболее часто употребляющиеся команды для операций с видами в NX.

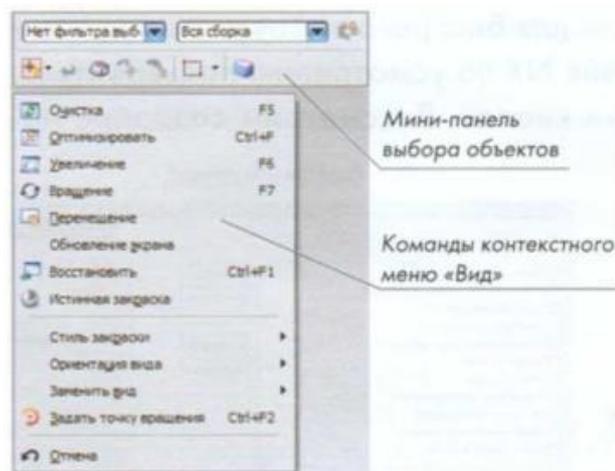


Рис. 1.11 Контекстное меню

Кроме этого в NX имеются так называемые контекстные объектно-ориентированные меню, при помощи которых можно быстро выполнить действие на выбранном объекте. Для того чтобы воспользоваться таким меню, необходимо подвести курсор к объекту и сделать щелчок правой кнопкой мыши (рис. 1.12). Содержание команд объектно-ориентированного меню зависит от того, какой объект выбран. Например, если выбрано ребро тела, то контекстное меню будет выглядеть, как показано на Рис. 1.13. Здесь представлены команды, которые можно выполнить над выбранным объектом (скругление, фаска и т.д.).

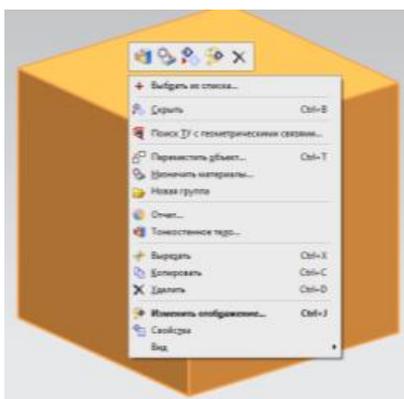


Рис. 1.12

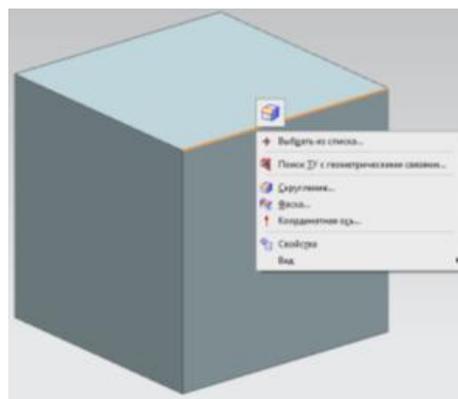


Рис. 1.13

Содержание контекстного меню зависит от приложения, в котором вы в данный момент работаете. Радиальные меню являются мощным средством для ускорения работы с командами NX.

Они представляют собой ряд кнопок, которые располагаются вокруг курсора и обеспечивают быстрый доступ к наиболее часто используемым

командам. Для вызова радиального меню необходимо нажать и удерживать правую кнопку мыши до тех пор, пока не появится это меню, после чего, не отпуская кнопку мыши, переместить курсор к нужной команде или опции, а затем отпустить кнопку мыши. Если отпустить правую кнопку мыши не выбирая команды, то радиальное меню исчезнет. В радиальном меню содержится до восьми кнопок. Количество кнопок зависит оттого, какой объект выбран.

Наряду со стандартными радиальными меню в NX есть еще три настраиваемые радиальные панели. Эти панели являются более гибким средством для быстрого вызова команд и опций NX. Они могут быть настроены для любого приложения NX по усмотрению пользователя. На каждой из этих панелей можно разместить до восьми кнопок.

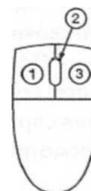
Кнопки мыши

Для работы с NX необходимо использовать трехкнопочную мышь. Манипуляции мышью осуществляются при помощи кнопок. Кнопки обозначаются следующим образом:

MB1 - левая кнопка;

MB2 - средняя кнопка (колесо);

MB3 - правая кнопка.



В следующей таблице (табл. 1.1) представлено функциональное назначение кнопок мыши.

Таблица 1-1

Наименование кнопки	Действие
MB1	Выбор и перетаскивание объектов
MB2	Увеличение/уменьшение изображения. Нажатие на эту кнопку эквивалентно ОК
MB3	Вызов контекстного меню
Shift+MB2	Панорамирование изображения
CH+MB2	Масштабирование изображения
MB2 (нажать и удерживать)	Вращение изображения

Базовые плоскости и системы координат

При открытии или создании нового файла части в графическом окне отображается система координат, которая называется «РСК» (рабочая система координат). Понимание и умение пользоваться РСК очень важно для работы в NX. По своей сути РСК является локальной системой координат, положение которой можно изменить в соответствии с различными операциями моделирования. При выполнении большинства команд NX подразумевается, что объект будет располагаться в плоскости ХС-УС, поэтому эта плоскость называется рабочей плоскостью.

По умолчанию рабочая система координат позиционируется в абсолютную систему координат (0,0,0). Положение абсолютной системы координат изменить нельзя.

Команды управления РСК находятся в меню «Формат – РСК» и на инструментальной панели «Утилиты» (рис. 2.1).

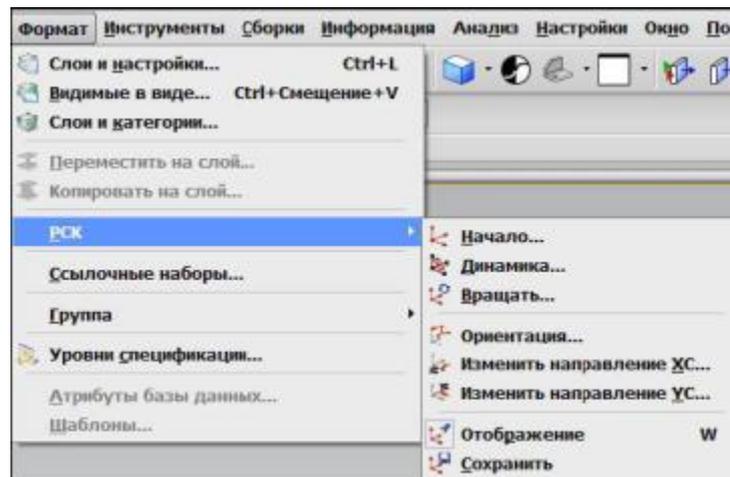


Рис. 2.1 Команды управления РСК

РСК можно скрыть или снова отобразить в графическом окне при помощи кнопки (отобразить РСК) или клавиши W.

Динамическое изменение РСК. На практике наиболее часто для изменения положения системы координат используют ее динамическое изменение. Для того чтобы войти в этот режим, необходимо выполнить команду Формат РСК Динамика, или нажать кнопку на панели «Утилиты», или сделать двойной щелчок MB1 на системе координат в графическом окне.

Динамическая система координат имеет маркеры (рис. 2.2). Маркер помещается в начале координат. Если сделать на нем щелчок MB1 и не отпускать кнопку, то можно переместить систему координат в любое место пространства в любом направлении.

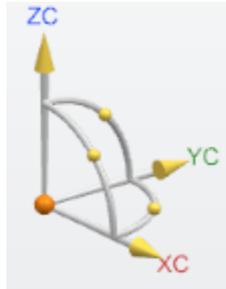


Рис. 2.2 Маркер

На концах каждой из осей координат имеются маркеры перемещения РСК в виде конусов, захватив конус мышью, систему координат можно перемещать вдоль выбранной оси.

Между осями координат располагаются маркеры угла поворота РСК в виде сфер, можно поворачивать систему координат на заданный угол.

Таким образом, осуществляется перемещение системы координат при помощи мыши. Для точного перемещения системы координат применяют следующую технику.

Динамическую систему координат можно сориентировать по существующим ребрам тела или кривым. Для этого необходимо сделать щелчок MB1 на маркере оси, а затем на ребре. Для смены направления оси необходимо сделать двойной щелчок на ее маркере.

Для задания расстояния или угла необходимо в динамическое поле ввода ввести длину или угол и нажать клавишу Enter. Поле «Захват» служит для задания шага перемещения или поворота системы координат.

Для выхода из режима динамической системы координат необходимо нажать кнопку Esc или MB2 в пустом месте графического экрана.

Различают два вида опорной геометрии:

– **ассоциативная** – опорная геометрия, которая имеет геометрические связи с другими геометрическими объектами.

– **фиксированная** – опорная геометрия находится в модельном пространстве так, как ее создали, она не имеет никаких геометрических связей с другими геометрическими объектами. Фиксированные координатные плоскости располагаются в рабочем пространстве свободно (без ассоциативной привязки к объектам модели). Для этого используют рабочую систему координат (РСК), которая заранее помещается в нужное место. Кроме того, можно сначала создать связанную координатную плоскость, а затем преобразовать её в фиксированную и наоборот. Эти плоскости можно передвигать с помощью команд: «Изменить – Элементы – Переместить» или «Изменить – Переместить объект». В отличие от ассоциативных создаваемые фиксированные координатные плоскости не имеют родительских элементов и не связаны ассоциативно с рабочей системой координат (РСК).

Для фиксированных координатных плоскостей имеются методы создания такие как:

- 1 три отдельные плоскости в соответствующих направлениях (XC, YC, ZC);
- 2 аналитическое уравнение плоскости ($ax + by + cz = d$) (коэффициенты);
- 3 плоскость вида.

Координатные оси можно использовать в качестве вектора направления при создании уклонов или тел вытягивания. Они могут служить в качестве линий при построении плоскости под углом к плоским граням, линий привязки и простановки размеров в эскизах. Координатная ось может быть либо зависимой, т.е. зависеть от других геометрических объектов, либо фиксированной. Зависимая координатная ось строится на базе одного или нескольких существующих геометрических объектов. Все зависимые оси являются ассоциативными объектами. Если вы отключите опцию ассоциативности, ось становится фиксированной. В отличие от зависимой координатной оси фиксированная координатная ось не связана с другими объектами никакими геометрическими ограничениями.

Ассоциативные координатные оси можно создать одним из следующих способов:

1 точка и направление координатная ось задается указанием точки и произвольного направления;

2 две точки координатная ось задается указанием двух точек, определяющих направление оси;

3 вектор по кривой: ось проходит через точку на кривой и ориентируется по касательной, нормали или бинормали к кривой в этой точке;

4 пересечение: построение координатной плоскости по пересечению двух плоскостей, координатных плоскостей или плоских граней;

5 ось кривой/грани создает координатную ось по прямой или прямому ребру или цилиндрической, конической и тороидальной грани.

Простые и комплексные эскизы

Эскизом считается именованная группа двумерных кривых, связанных геометрическими и размерными отношениями и расположенных на одной плоскости. Вы можете создавать эскизы на основе любого существующего плоского объекта, а также на кривой. В последнем случае в точке кривой, где будет привязан эскиз, система создаст плоскость, расположенную по нормали к кривой. Данный тип расположения эскизов используется для создания тел протягиванием эскиза вдоль траектории

Диалог и опции создания нового и созданного эскиза одинаков. Команда «Перепривязать» используется для перемещения существующего эскиза на другую плоскость, грань или траекторию (для эскиза по траектории). В любое время в модуле «Эскиз» вы можете переопределить привязки эскиза (плоскость эскиза и оси эскиза). Функции переопределения и привязки находятся в панели «Эскиз». Просто выберите в модели плоскость или плоскую грань для назначения эскиза и прямолинейный объект (ребро, кривую, ...) для назначения горизонтальной или вертикальной привязки эскиза.

Для упрощения редактирования и обновления модели рекомендуется выполнять эскиз настолько простым, насколько это возможно. Например, для того чтобы создать параллелепипед, достаточно одной линии и нет

необходимости использовать замкнутый контур. Используйте лучше функции задания толщины и эквидистанты в функциональных элементах «Вытянуть», «Тело вращения» и др. То же самое касается и создания элементов модели «на профиле». Нет необходимости создавать замкнутый профиль, если толщина стенки вдоль профиля остается постоянной, а направление вытягивания перпендикулярно плоскости эскиза либо задается направлением определенного вектора. Если вы используете смещение материала одинаковое в обе стороны, достаточно отметить пункт «Симметрично» и ваш эскиз будет представлять среднюю линию для вытягивания тела.

Наряду с использованием эскизов наиболее простой конфигурации с минимальным количеством элементов для упрощения работы с моделью детали могут использоваться как эскизы с большим количеством элементов, так и эскизы для управления сложным изделием в качестве контрольных структур. В качестве примера можно привести модель рамы велосипеда, в которой с помощью эскиза можно управлять длиной элементов рамы и их взаимным расположением, или, например, компоновку валиков печатной машины или прокатного стана. В этих примерах эскиз может содержать несколько сотен или тысяч элементов. Для облегчения работы со сложными комплексными эскизами рекомендуется применять раскраску элементов эскиза в различные цвета. В эскизе используются два настраиваемых набора цветов: «Цвета эскиза» и «Цвета объекта». По умолчанию действует выбор «Цвета эскиза», который помогает отличить активную и ссылочную геометрию, переопределенные, частично определенные кривые и другие объекты эскиза (активные размеры - синие; справочные линии и размеры – серые; полностью ограниченные кривые изображаются светло-зеленым цветом; частично ограниченные кривые имеют красно-коричневый цвет). Выбор «Цвет объектов» позволяет задать и отобразить в эскизе объекты с различной раскраской, например, цвет объекта для дуг - красный, а цвет объекта для прямых - синий. Геометрия эскиза изначально появляется в зеленом цвете по умолчанию. Когда вы переключаете функцию «Цвет объектов», цвета геометрии также

изменяются. Вы можете назначить цвет изображения объектов различными способами. Для назначения цветов для группы объектов выберите группу в окне Навигатора модели (опция навигатора «В порядке построения» должна быть отключена), выполните контекстную команду «Изменить отображение» и назначьте цвет. Для назначения определенного цвета на тип объекта используйте команду Настройки Объект. В диалоге свойств объекта вы можете выбрать «Линия», «Дуга», «Коническое сечение» или «Слайн» и назначить цвет. Для назначения цвета на произвольную кривую/точку выберите объект, нажмите правую кнопку мыши на одном из объектов и выполните контекстную команду «Изменить изображение» для назначения цвета.

Некоторые общие замечания по применению эскизов:

– при создании эскиза вы можете определить его расположение одним из двух методов:

1) «Эскиз на плоскости» (рис. 2.3) создается на существующей плоской грани, на новой координатной плоскости или существующей плоскости. Здесь необходимо решить, будет ли эскиз использоваться для создания базового (основного) элемента части. Если это так, создайте фиксированную координатную плоскость или систему координат для размещения эскиза. Если эскиз будет использоваться для добавления элементов к уже существующей базовой форме, тогда выберите существующую координатную плоскость или грань части или создайте новую координатную плоскость, которая связана с существующей геометрией.

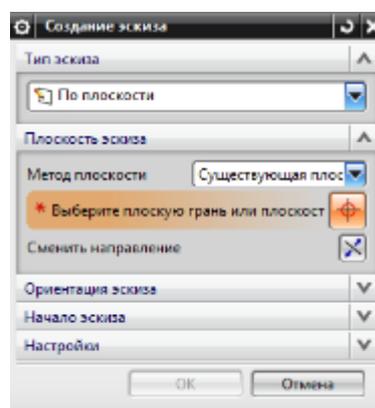


Рис. 2.3 Эскиз на плоскости

2) «Эскиз на траектории» (рис. 2.4) это специальный тип размещения эскиза, который используется для создания профиля при построении элементов типа «Переменное замещение», «Вытягивание» и «Вращение». Для всех типов вы выбираете траекторию и определяете положение плоскости эскиза на этой траектории.

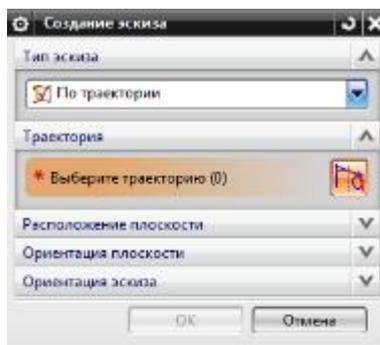


Рис. 2.3 Эскиз на траектории

Следует обратить внимание, что вы можете использовать команду в эскизе «Переприсоединить» для того, чтобы поменять опцию положения эскиза с «Эскиз на плоскости» на «Эскиз на траектории» и наоборот. Эскизы, которые создаются в таких командах, как «Переменное замещение», «Вытягивание» или «Вращение», являются внутренними эскизами. Эскиз, который создан независимо с помощью команды «Эскиз», является внешним эскизом; он виден и доступен для любой операции в части. Используйте внешний эскиз, чтобы использовать его более чем для одного элемента построения. Внутренний эскиз доступен только из элемента, к которому он принадлежит. Внешний эскиз доступен из окна «Навигатор модели» и в графическом окне. Вы не можете использовать внутренний эскиз для любого другого элемента построения, за исключением родительского элемента, пока вы не сделали его внешним.

Геометрические и размерные ограничения

В момент рисования того или иного двумерного объекта система пытается автоматически определить, каким геометрическим ограничениям он подчиняется, и накладывает эти ограничения. Этот режим регулируется кнопкой «Контекстные ограничения и размеры» (рис. 2.4).

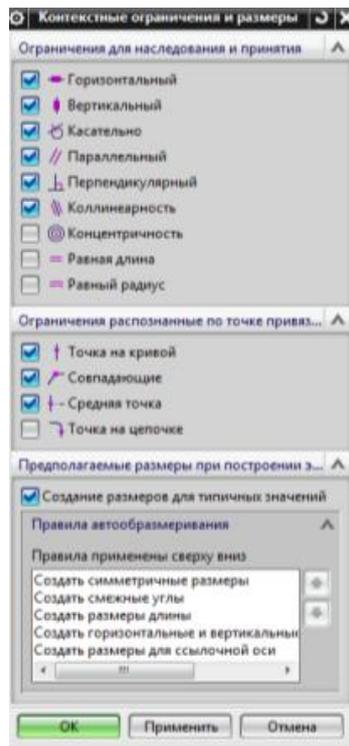


Рис. 2.4 Контекстные ограничения и размеры

Для ручного задания ограничений или для задания дополнительных ограничений необходимо воспользоваться кнопкой «Ограничения» (рис. 2.5). Если придерживаться правильного подхода к проектированию, то все элементы эскиза должны быть связаны размерными и геометрическими ограничениями - то есть эскиз должен быть полностью определенным и не иметь свободных степеней свобод. Это гарантирует предсказуемость и управляемость эскиза при изменениях геометрических элементов модели, на которые ссылается эскиз.

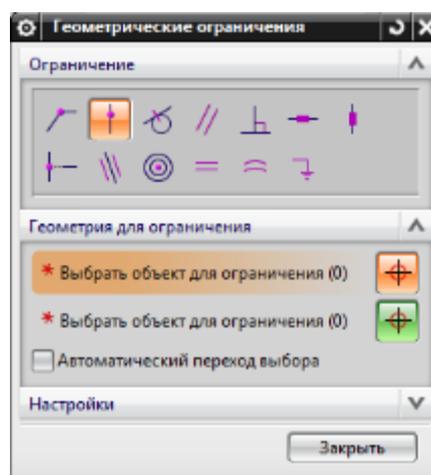


Рис. 2.5 Ограничения

С версии NX7.5 был представлен механизм постоянного автообразмеривания, который регулируется одноименной кнопкой на панели

«Прямой эскиз». Этот механизм автоматически накладывает размерные ограничения на все создаваемые элементы эскиза, тем самым обеспечивая определенность эскиза. При этом создаваемые размерные ограничения являются вторичными. Это выражается в том, что автоматически сгенерированные размерные ограничения удаляются при добавлении пользователем любого ограничения, которое с ними конфликтует. Таким образом, эскиз остается всегда определенным вне зависимости от того, сколько ограничений было наложено пользователем. Очевидно, что автоматически добавленные размеры не могут реализовывать задуманную логику изменений эскиза, поэтому необходимо либо принять предложенные размеры, либо переопределить их в ручном режиме. Для принятия размерного ограничения, созданного системой, необходимо произвести двойной щелчок левой кнопкой мыши на выбранном размере. В модели будет создан соответствующий параметр, значение которого будет связано со значением размера, то есть размер станет таким, как если бы он был поставлен вручную.

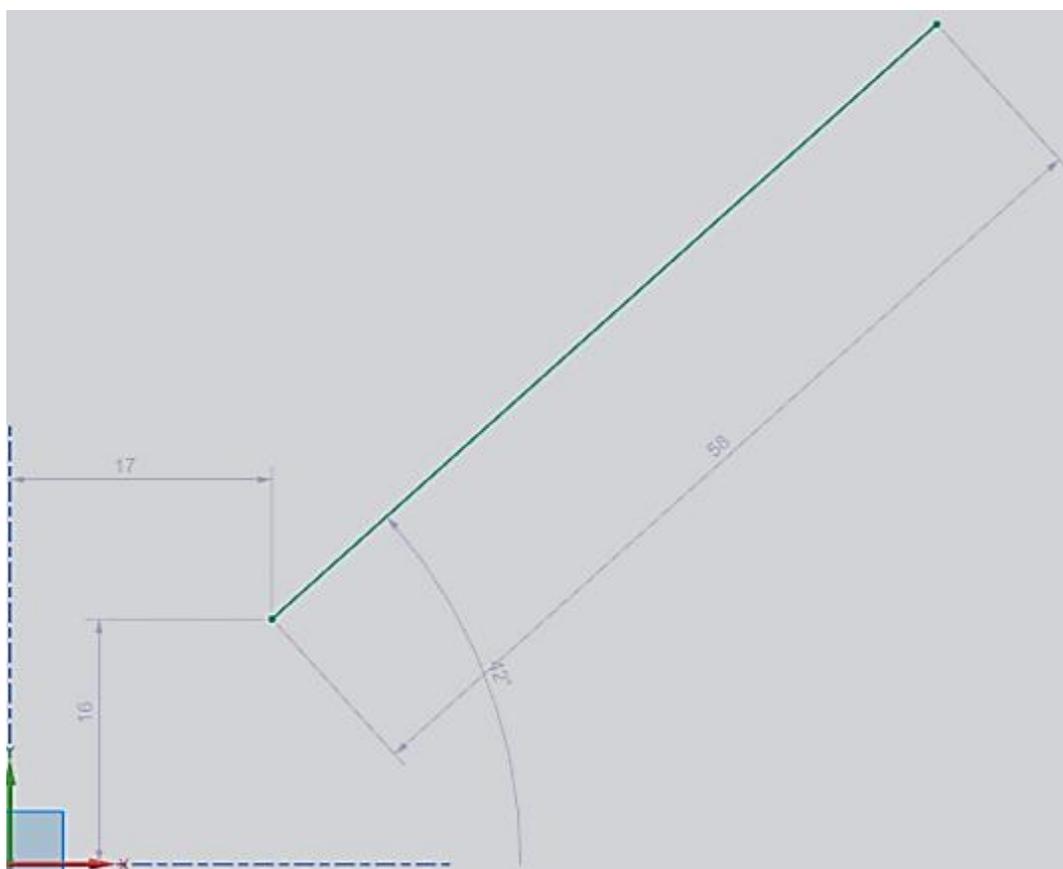


Рис. 2.6 Автообразмеривание

Создание элементов модели

Для создания тела на основе эскиза необходимо воспользоваться одной из команд вытягивания эскиза в заданном направлении или вращения вокруг оси. Наиболее часто используемые из них это команды «Вытягивание» и «Вращение», расположенные на инструментальной панели «Элемент» или в разделе главного меню «Вставить – Элементы проектирования».

Рассмотрим команду «Вытягивание» (рис. 2.7). Для её работы необходимый минимальный набор исходных данных состоит из плоского контура или прямой и вектора направления, которые задаются соответственно в разделах диалога «Сечение» и «Направление». При этом возможно сразу из команды запустить редактор эскиза и нарисовать его с нуля. В этом случае эскиз будет считаться внутренним и не будет доступен в «Навигаторе модели» до тех пор, пока не будет сконвертирован во внешний. В качестве контура для вытягивания могут выступать любые кривые, в том числе и ребра существующих тел.

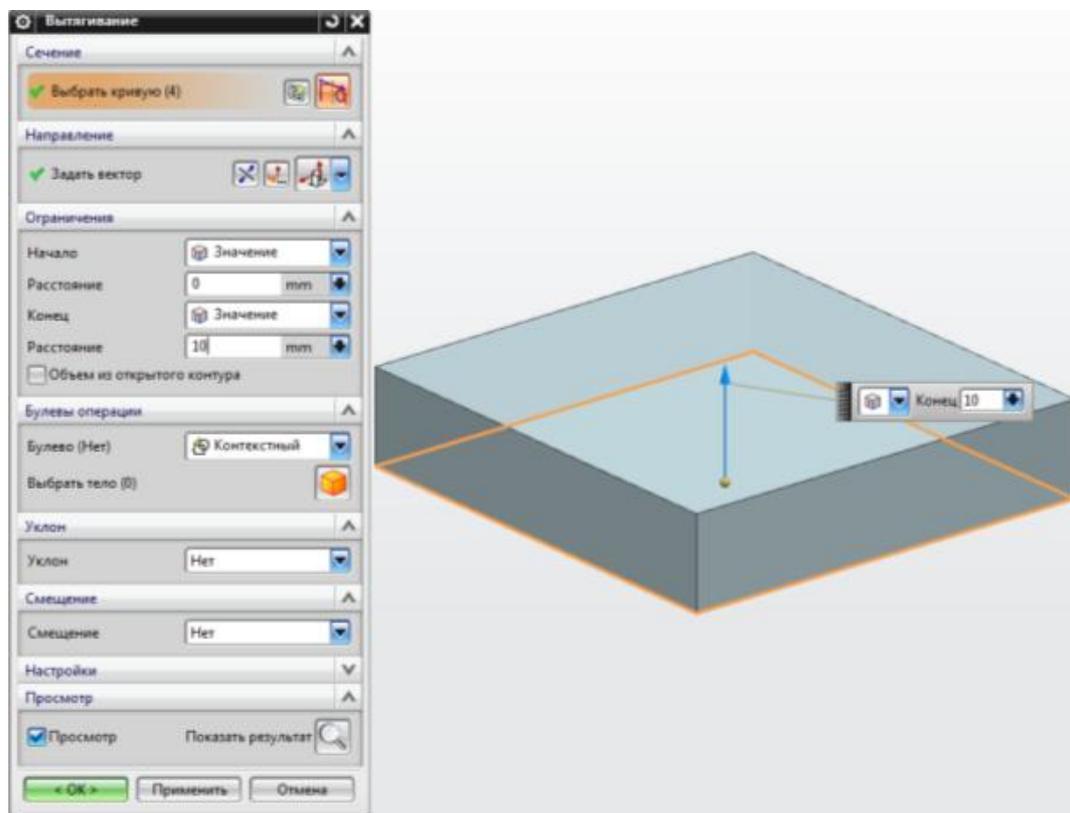


Рис. 2.7. Вытягивание

При выборе плоского контура направление по умолчанию определяется по нормали к плоскости контура, но при необходимости его можно переопределить, нажав кнопку «Задать вектор». В разделе «Ограничения» задаются лимиты перемещения эскиза от плоскости его построения в обе стороны. Они могут задаваться как напрямую, указанием величин, так и ссылкой, с помощью выбора одного из следующих значений опции:

- до следующего – контур будет вытянут до пересечения с другим твердым телом, встреченным в направлении вытягивания;
- до выбранного – контур будет вытянут до выбранной грани существующего тела или поверхности. Если вытянутый контур не полностью пересекает выбранную грань или поверхность, то по возможности будут использоваться смежные грани или поверхности. Если такой возможности нет, то будет сгенерировано сообщение об ошибке;
- до расширенного – модификация опции «до выбранного», которая позволяет выбирать ограничивающие объекты, не полностью пересекающие протягиваемый контур. В этом случае система автоматически рассчитывает продолжение выбранной грани или поверхности и использует её для построения;
- через все – протягивает контур в заданном направлении через все встречающиеся тела.

В разделе диалога «Булевы операции» можно сразу задать тип логической операции, применяемой к телу, если в модели уже есть твердые тела. Среди возможных значений этой опции следует отметить значение «Контекстный». При этом значении система сама определяет подходящий тип операции, исходя из взаимного расположения создаваемого тела и существующего. Такой вариант следует применять, когда не предполагается изменения модели, которое может вызвать изменение взаимного расположения задействованных тел, иначе тип применяемой логической операции может измениться.

Одновременно с вытягиванием контура можно задать дополнительные трансформации получаемого тела в разделах «Уклон» и «Смещение» или

воспользоваться соответствующими командами после создания элемента вытягивания.

Тип получаемого тела определяется в разделе диалога «Настройки», но эта опция действует только в случае использования замкнутого контура, в противном случае получаемый элемент вытягивания будет представлять собой поверхность.

Команда «Вращение» (рис. 2.8) по большинству параметров совпадает с командой Вытягивание, только ей необходимо указывать ось вращения и точку начала для получения тела вращения поворотом на заданный угол выбранного эскиза.

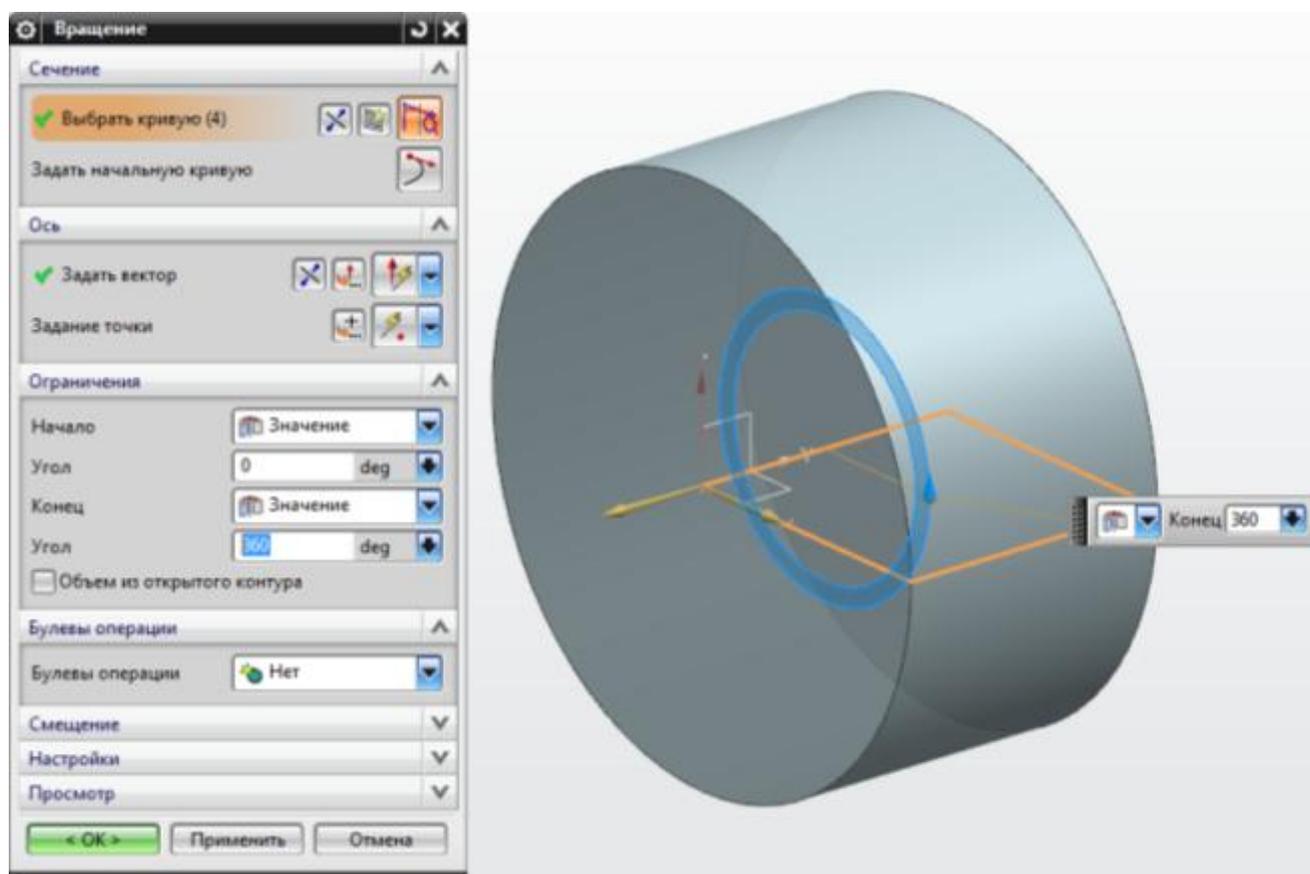


Рис. 2.7 Вращение

После получения первого тела в модели далее можно изменять его с помощью конструктивных элементов или проводя операции логического сочетания с другими телами. Все операции будут добавляться согласно хронологии создания в дерево построения, отображаемое в «Навигаторе модели».

Помимо операций получения тел вытягиванием или вращением эскиза, в разделе главного меню «Вставить – Элементы проектирования» предлагается набор predetermined примитивов и конструктивных элементов, комбинируя которые можно получить геометрию модели. Но в общем случае создание тел вытягиванием и вращением является более универсальным, так как позволяет задать любое сечение.

Таким образом, создавая тела на основе эскизов или используя стандартные конструктивные элементы, вы формируете геометрию модели. При создании модели в режиме моделирования с историей построения необходимо стараться сохранять читаемость истории построения и делать её максимально линейной.

Практически все операции в дереве построения модели основываются на одном или нескольких предыдущих элементах, как явно, так и неявно. С одной стороны, это дает использовать все преимущества параметризации, но с другой - непродуманная привязка элементов друг на друга могут испортить логику построения модели.

В общем случае при привязках рекомендуется отдавать предпочтение стационарным объектам или объектам вероятность изменения, которых минимальна. Естественно это не должно быть в противоречии с задуманной логикой модели.

При использовании каких-либо геометрических объектов предыдущих элементов построения желательно стараться ссылаться на ближайшие к текущей операции элементы. Это позволит, как минимум, быстро отслеживать связь между изменением ссылочной геометрии и получаемым результатом.

Также рекомендуется документировать модели. В процессе построения появляется множество вспомогательных элементов, эскизов, кривых и прочих объектов, которые усложняют чтение модели, если они не организованы. Для организации можно использовать слои и ссылочные наборы, размещая и группируя на них основные и вспомогательные геометрические элементы построения.

Типовые элементы формы

Примитивы – это конструктивные элементы, имеющие простые аналитические формы, например: блок (параллелепипед), цилиндр, конус, сфера. Примитивы ассоциативны точке привязки, вектору и кривым, которые использовались во время их построения для позиционирования и ориентации. Если вы в дальнейшем переместите объект привязки, то и примитив также переместится. Для создания примитива необходимо:

- выбрать тип примитива, который вы хотите построить (блок, цилиндр, конус, сфера);
- выбрать метод задания примитива;
- задать параметры примитива в соответствии с выбранным методом построения;
- выбрать булевы опции.

Булевы операции

Булевы операции включают в себя: объединение двух и более тел, вычитание одного тела из другого, пересечение двух тел. Эти операции рекомендуется по возможности выполнять как самостоятельные, а не в составе других, например, «Вытягивания». Для того чтобы избежать проблем обновления модели при каких-либо изменениях, всегда нужно выполнять построения «однозначно», т.е. таким образом, чтобы они выступали друг за друга.

Лекция №2 (2 часа)

1. Автоматизация подготовки управляющих программ к станкам с ЧПУ в автономных САП и сквозных САПР типа CAD/CAM
2. Создание управляющих программ механической обработки в системе автоматизированного проектирования Siemens NX.

Модуль NX CAM и главное окно.

CAM-модуль NX, разработан для подготовки управляющих программ оборудования с ЧПУ, постпроцессирования и моделирования станка. NX CAM существенно повышает эффективность работы станков.

NX CAM позволяет выпускать документы по инструментальным наладкам – в результате сборки, настройка и замеры инструмента производятся вне станка, а значит, простои сокращаются.

NX CAM обладает комплексом функций для проверки достоверности управляющей программы вне станка, на рабочем месте технолога.

Окно NX в модуле **Обработка** выглядит следующим образом (рис. 1).

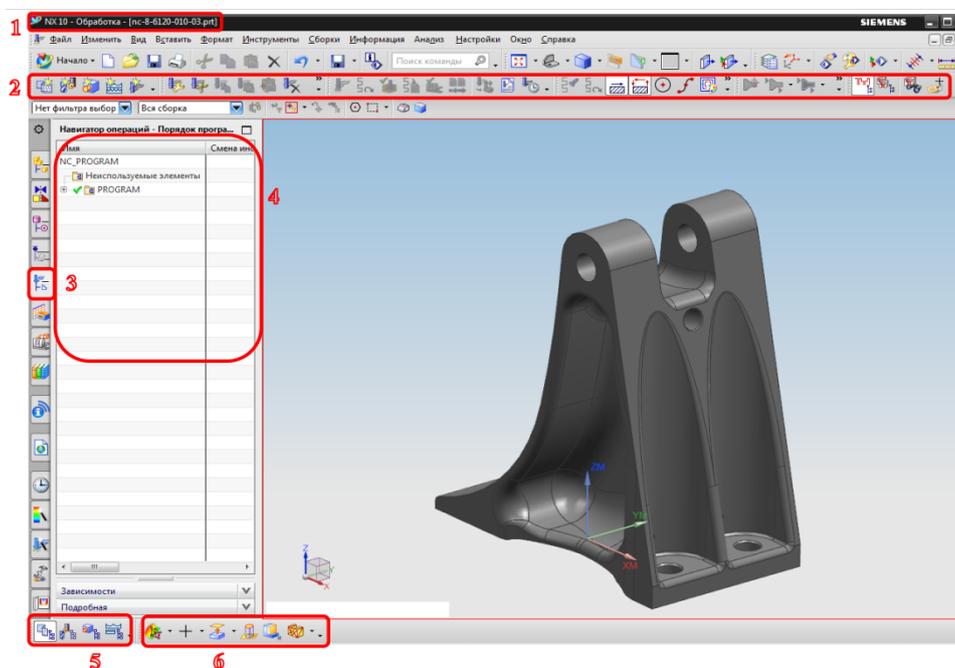


Рис. 1. Главное окно NX

В заголовке (1), помимо названия системы, отображаются название модуля (в данном случае **Обработка**) и имя рабочей детали. Панели инструментов модуля обработки (2) и вкладка вызова навигатора операций

обработки (3) на панели ресурсов видны, только если вы находитесь в модуле обработки. Окно для отображения информации текущего навигатора (4) (в данном случае навигатора операций), является основным средством отображения информации по операциям обработки. Для переключения вида навигатора операций используется панель (5).

Также в модуля САМ доступна панель инструментов CAD (6), не требующая CAD-лицензии. В ней собраны инструменты, полезные для подготовки модели к обработке. Главное меню, панель выбора, строка статуса и подсказки также доступны и активно используются.

Этапы разработки управляющих программ

Разработка управляющих программ в NX САМ производится в несколько этапов. Последовательность работы показана на рис. 2. Не все этапы являются обязательными.



Рис. 2. Этапы разработки управляющих программ

Работа начинается с **Выбора окружения обработки (инициализация)**.

Для разных видов обработки используются разные шаблоны для инициализации. На этом этапе создаются те объекты, которые необходимы для данного вида обработки.

Следующий этап – **Анализ геометрии**. Он необходим, если технолог модели не создавал, а получил ее от конструктора или стороннего заказчика. На данном этапе анализируются габаритные размеры детали, размеры элементов (ширина паза, диаметр отверстия и др.), радиус скругления элементов модели, наличие и величина уклонов (для оснастки). Этот этап не всегда обязателен. Имеются разные средства анализа модели. Самый простой – измерения. Можно измерить габаритные размеры, величину радиуса, ширину паза и др. Этот этап помогает в правильном назначении геометрии инструмента, в выборе станка, при обосновании расположения системы координат станка и т. д.

Подготовка модели к обработке иногда необходима – на этом этапе можно убрать элементы, которые будут получены на других операциях (например, электроэрозионной обработкой), добавить уклоны, припуски, модифицировать элементы модели с учетом полей допусков размеров и т. д. Фактически это САД-операции для задач САМ. Правильно модифицировать не саму конструкторскую модель, а ее ассоциативную копию.

Важный этап – **Создание или редактирование родительских групп**. Это отличительная особенность NX САМ; объекты, заданные в родительских группах, наследуются использующими их операциями. Такой подход позволяет модифицировать сразу все операции, использующие конкретную родительскую группу, путем модификации объектов этой группы. В родительские группы входят следующие объекты:

а) Родительская группа **«Программа»**

В данной родительской группе есть только один объект – **Программа**. Здесь задаются основные параметры создаваемой управляющей программы, а именно тип обработки и инструментарий для него. Все эти параметры задаются автоматически при инициализации.

При редактировании объекта **Программа** дается возможность добавить в начале управляющей программы событие «Сообщение оператору».

b) Родительская группа «*Инструмент*»

В данной родительской группе есть следующие объекты (по иерархии):

Станок – Инструментальный магазин – Ячейка инструментального магазина – Режущий инструмент. В объекте **Станок** задаются основные параметры и размеры обрабатываемого оборудования. По умолчанию в качестве станка выступает *GENERIC_MACHINE* – абстрактный станок. Добавлять другой станок нельзя, можно только редактировать имеющийся. При редактировании можно задать его параметры вручную либо экспортировать станок из библиотеки, тогда в сборку обработку подгружаются основные элементы станка.

В объекте **Инструментальный магазин** задается его наименование и рабочая плоскость магазина, то есть плоскость резания.

В **Ячейке инструментального магазина** задается ее обозначение в УП, ее номер в регистре настройки и коррекции и возможное количество установки в ней режущих инструментов. При экспортировании станка из библиотеки все эти объекты создаются автоматически.

В объекте **Режущий инструмент** задаются параметры режущей части режущего инструмента и держателя.

c) Родительская группа «*Инструмент*»

В данной родительской группе есть следующие объекты (по иерархии): **Система координат станка (СКС) – Геометрия обработки (Заготовка) – Дополнительная геометрия обработки** (состав и количество зависит от вида обработки, например при токарной обработке, сюда входят **Геометрия токарной обработки (Токарная заготовка)** и **Маневрирование**).

В объекте **Система координат станка (СКС)** задается система координат, используемая в УП, а также ее согласование с системой координат режущего инструмента.

В **Геометрии обработки (Заготовка)** задаются параметры обрабатываемой детали, заготовки и различных контрольных тел, например геометрия оснастки.

В **Дополнительной геометрии обработки** задается дополнительная информация необходимая для конкретной операции, например при токарной обработке – это сечения обрабатываемой детали и заготовки, а также параметры маневрирования резца.

d) Родительская группа «*Метод*»

В данной родительской группе есть только объект **Метод**, в котором основные параметры операции, такие как допуск, припуск на последующую операцию, режимы резания и др. Обычно при инициализации автоматически создается несколько этих объектов с заданными параметрами.

Для работы с каждой родительской группой в NX служит специальный навигатор операций. Одна из функций навигатора операций – отображать связи между объектами обработки. Важную роль при этом играет понятие родительских и дочерних объектов. Дочерние объекты наследуют информацию родительских. Такой подход позволяет легко модифицировать один из параметров (например, припуск на обработку) сразу для нескольких дочерних объектов (операций), изменив его в родительском объекте.

Навигатор имеет четыре вида (рис. 3): **вид программ, вид инструментов, вид геометрии и вид методов.**



Рис. 3. Команды переключения вида навигатора операций

В навигаторе отображаются объекты (операции) с учетом их родительских связей, в зависимости от выбранного вида.

В родительской группе «*Программа*» задается и изменяется мало параметров, однако, при отображении навигатора обработки в режиме **Вид программ** показывается порядок вывода операций в УП и группировка операций. Операции можно генерировать в любом порядке, а затем их упорядочить, используя вид программ навигатора операций (при этом

результат некоторых операций может зависеть от предыдущих операций, поэтому после такого переупорядочивания потребуется повторная генерация траекторий).

При отображении навигатора обработки в режиме **Вид инструментов** объектом верхнего уровня будет **Станок**. Этот станок имеет **Инструментальный магазин** с N **Ячейками инструментального магазина**. Ячейки содержат **Режущие инструменты**. Инструменты являются родительскими объектами для операций. При выводе управляющей программы номер инструмента в операции будет соответствовать номеру ячейки. Менять инструмент в операции можно простым перетаскиванием операции на другой инструмент. Также можно перетаскивать инструмент (вместе с операциями) в другую ячейку магазина.

При отображении навигатора обработки в режиме **Вид геометрии** объектом верхнего уровня будет **СКС**. Его параметры наследует **Геометрия обработки (Заготовка)**, чьи данные перенимает **Дополнительная геометрия обработки**, информацию которого уже используется при создании операции. Таким образом, все операции проекта используют одну и ту же геометрию и систему координат.

При отображении навигатора обработки в режиме **Вид методов** показывается взаимосвязь операция с методом обработки.

Далее идет этап ***Создания или редактирования операций обработки***. Операции бывают разного типа и используют разные родительские группы. Операции с конкретными параметрами можно сохранить в проекте, не генерируя их. Это полезно, если процесс генерации операций занимает значительное время.

Большая часть информации может задаваться в самой операции, но использование родительских групп имеет преимущества при создании большого количества операций.

Генерирование траекторий вынесено в отдельный этап, причем оно может осуществляться сразу для группы операций.

Проверка траекторий необходима для того, чтобы выявить возможные проблемы, например зарезы или столкновения инструмента с оснасткой. В NX CAM имеется несколько инструментов проверки траекторий, в том числе и симуляция работы станка, осуществляемая в кодах управляющей программы.

До этапа постпроцессирования траектории не зависят от конкретного станка. Для того чтобы траектория была отработана станком, она должна быть **Постпроцессирована** (или преобразована в формат конкретного станка). Именно на этом этапе получается управляющая программа (УП), причем одна УП может включать несколько траекторий, созданных различными операциями. Однако постпроцессор неправильно рассматривать как простой конвертор – он может выполнять дополнительные проверки, вычисления, может анализировать некоторые условия и в зависимости от этого модифицировать выводимую информацию.

Вместе с управляющей программой в цех обычно передается **Цеховая документация**. Обычно это карта наладки с указанием нулевой точки программы, порядка операций и различной атрибутивной информацией (разработчик, дата, код детали, время обработки и т. д.), а также список инструментов с указанием номеров ячеек магазина, что необходимо для правильной наладки станка.

Создание нового проекта на примере токарной обработке ступенчатого вала при одном установе

1. Выбора окружения обработки (инициализация)

При первом входе в модуль обработки производится выбор окружения обработки, или инициализация. При инициализации ряд объектов обработки создается автоматически. Так как для разных видов обработки требуются разные объекты, на этой стадии и уточняем вид обработки. В NX имеется несколько способов инициализации.

Окно **Шаблоны** (рис. 4) содержит список шаблонов на разные виды обработки (3) (в нашем случае это Токарная). Во вкладке (1) задается наличие

или отсутствие зависимости на существующую деталь (если зависимость отсутствует, то доступен один пустой шаблон). Единицы измерения задаются во вкладке (2) (мм или дюймы). В полях (4) и (5) задается имя нового файла, который будет содержать данные по обработке и путь к папке сохранения. По умолчанию имя создается на основе имени детали путем добавления суффикса *_setup_1*, а папка сохранения выбирается, та же где сохранена ссылочная деталь. В полях (6) задается деталь для ссылки (ступенчатый вал).

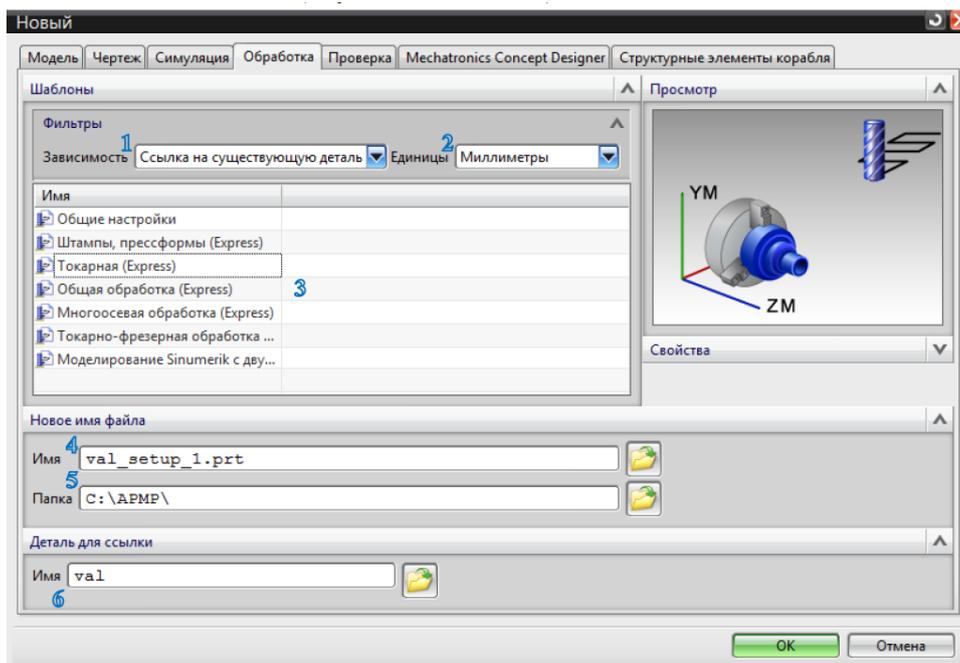


Рис. 4. Инициализация обработки

В результате инициализации NX выполнит ряд действий. Будет создана родительская сборка, содержащая обрабатываемую деталь как компонент; вся информация по обработке будет записываться в файл сборки.

Сам файл сборки обычно не содержит геометрии, поэтому его иногда называют **Сборка для обработки**. Использование механизма сборок для этих целей ведет к унификации работы в разных модулях NX.

Примечание. Фактически при инициализации используется шаблон, который можно изменить так, чтобы создавались нужные вам объекты. Настройка такого шаблона – одно из средств автоматизации программирования.

Кроме этого, будет создано несколько объектов из родительских групп обработки (их тип и количество определяются видом обработки). Созданные объекты можно увидеть с помощью навигатора операций.

2. Анализ геометрии

На данном этапе для нашего случая необходимо узнать общую длину вала и максимальный его диаметр. Для этого вызываем команду **Анализ > Измерение расстояния** (рис. 5). Выбираем тип анализа измерения **Расстояние** и указываем на две крайние грани. Для измерения диаметра в той же команде выбираем тип **Диаметр** и указываем цилиндрическую грань с максимальным диаметром.

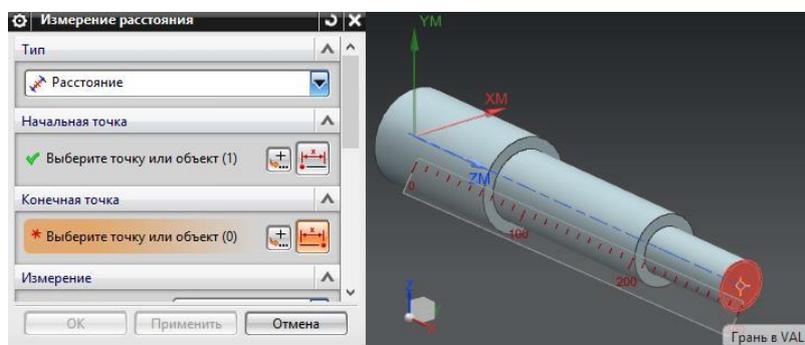


Рис. 5. Измерение длины

3. Подготовка модели к обработке

В соответствии с принципом мастер-модели (любая модель детали или сборки, созданная однажды, используется в последующих приложениях в качестве исходных данных) нельзя редактировать конструкторскую модель. Если доработка модели для обработки требуется, то она производится для ассоциативной копии модели (или WAVE-копии тела), которая сохраняется на уровне сборки.

При активном модуле сборки (в меню **Начало** должен быть выбран пункт **Сборки**) выполняется команда **Вставить > Ассоциативное тело > Редактор геометрических связей WAVE**. Появится диалоговое окно (рис. 6), в качестве типа объекта

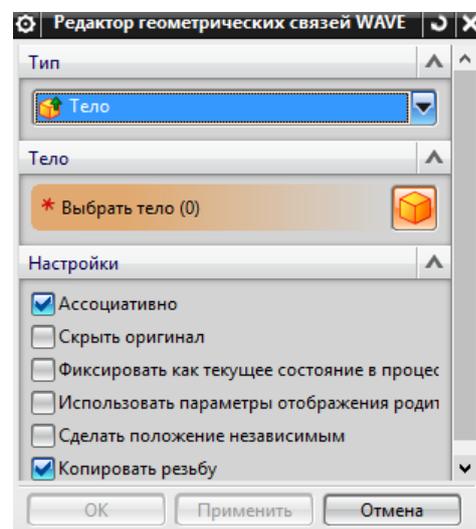


Рис. 6. Создание ассоциативной копии

выбирается **Тело** и указывается обрабатываемое тело.

После этого в навигаторе детали создается объект **Связанное тело** (рис. 7, а). Затем скрываем отображение компонента в навигаторе сборки (рис. 6, б), нажав красную галочку около имени компонента. Галочка станет серой – это показывает, что компонент загружен, но не отображается.

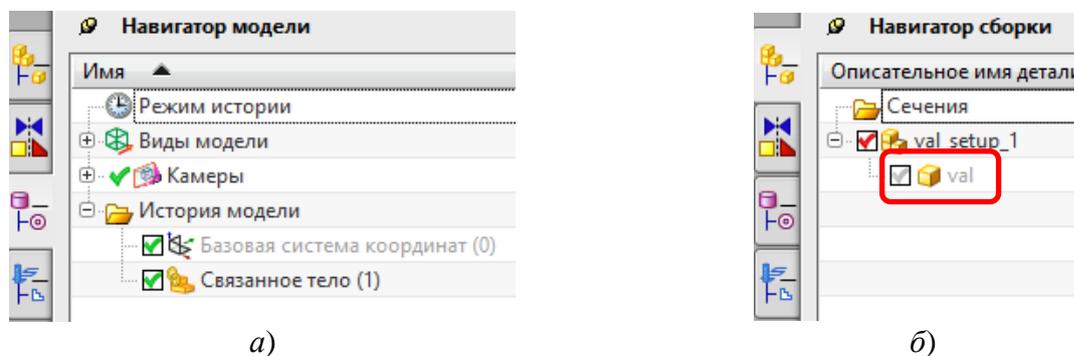


Рис. 6. Скрытие компонента сборки

Далее можно редактировать обрабатываемую деталь, не беспокоясь, что изменения отобразятся где-нибудь помимо файла обработки. При этом с изменением конструкторской модели детали соответственно изменится и модель в обработке.

4. Создание/редактирование родительских групп

Как было сказано ранее при инициализации создаются несколько объектов из родительских групп обработки. Для формирования других объектов необходимо выполнить «команды создания» (**Создание Программы/Инструмента/ Геометрии**), которые находятся на панели инструментов модуля обработки (2) (см. рис.1), а также в главном меню **Вставить**.

Для редактирования объектов необходимо перейти на соответствующий вид отображения навигатора обработки, с помощью панели (5) и выбрать объект для редактирования два раза щелкнув левой кнопкой мыши либо вызвать контекстное меню нажав правой кнопкой мыши.

а) Родительская группа «Программа»

В данном случае в данной родительской нет необходимости создавать новые объекты, а именно дополнительные **Программы**.

б) Родительская группа «Инструмент»

В данной группе система уже создала необходимые объекты (рис.8) А именно **Инструментальный магазин TURRET** с семью **Ячейками STATION**. А также созданы упорные резцы OD_80_L и OD_55_L находящиеся в первой и третьей **Ячейке** соответственно. По умолчанию токарные резцы именуется по следующему алгоритму: *Вид резца* (упорный-OD, расточной-ID и т.д.)_ *Угол при вершине* (только для упорных и расточных)_ *Направление подачи* (левое или правое).

Станок, Магазин и Ячейки оставим прежними, а **Режущие инструменты** отредактируем с учетом задачи.

Инструмент OD_80_L будем использовать для черновой операции, поэтому изменим следующие параметры (рис. 8): во вкладке *Инструмент* зададим (*R*) *Радиус при вершине* равным 0,5 мм, во вкладке *Трассировка* в качестве *P номера* выберем P9 (в УП задаются координаты перемещений центра скругления при вершине резца). Аналогично изменим параметры у **Инструмента OD_55_L**: (*R*) *Радиус при вершине* – 0,3 мм, *P номер* – P9.

с) Родительская группа «*Инструмент*»

В данной группе система уже создала **Систему координат станка MCS_SPINDLE**, **Геометрию обработки, WORKPIECE**, **Геометрию токарной обработки TURNING_WORKPIECE** и **Маневрирование AVOIDANCE**. Однако в этих объектах не заданы необходимые параметры, поэтому введем их вручную.

Для задач обработки используется Система координат станка. Для вспомогательных построений используется уже известная нам Рабочая система координат (Режущий инструмент координируется по PCK, при этом

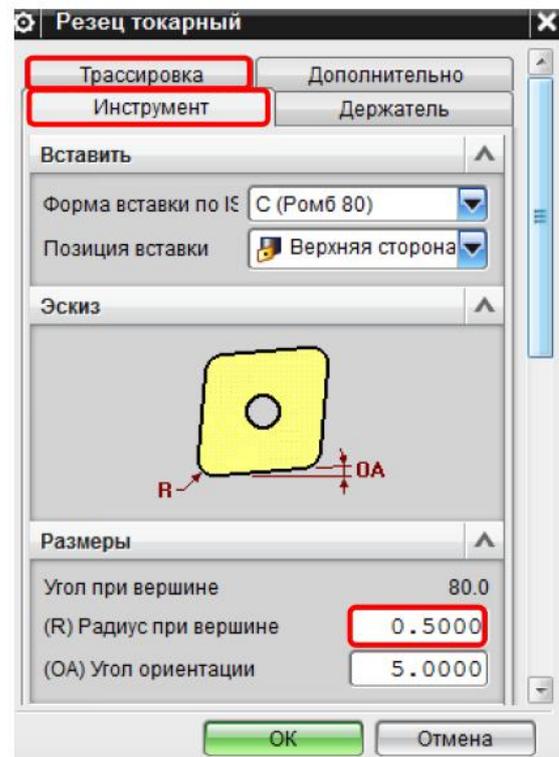


Рис. 8. Изменение параметра инструмента

направление подачи совпадает с осью ХС при правом резце и –ХС при левом; направление глубины резания совпадает с осью YС для резцов обрабатывающих внутреннюю поверхность и -YС – для наружных). Отображать их можно независимо, в меню **Формат > Отображать СКС**, там же: **Формат > РСК > Отображать РСК**. СКС отображается только тогда, когда вы находитесь в модуле обработки. В графической области оси СКС маркируются как ХМ, YМ и ZМ, в отличие от РСК, где используются ХС, YС и ZС. В проекте должна быть хотя бы одна СКС; она должна быть установлена в характерную точку детали/заготовки, чтобы оператор мог использовать эту точку для привязки программы к детали. Для этой точки в программировании обработки используется термин «нулевая точка программы».

В объекте **Система координат станка** задается положение СКС, плоскость для токарной обработки, а также соответствие СКС с РСК. Для нашей операции с одним установом изменять объект **СКС** не требуется.

В **Геометрии обработки** зададим геометрию обрабатываемой детали и заготовки. Для этого при редактировании в диалоговом окне (рис. 9) выберем команду *Задать деталь*, указываем модель детали и подтверждаем команду. Затем выполняем команду *Заготовка*, в открывшемся окне выбираем тип заготовки (*Ограничивающий цилиндр*) и вводим параметр ZM+ равным 2 мм, для задания припуска на обработку на правом торцу заготовки. После задания геометрии детали и заготовки становятся доступными команды **Отображения**.

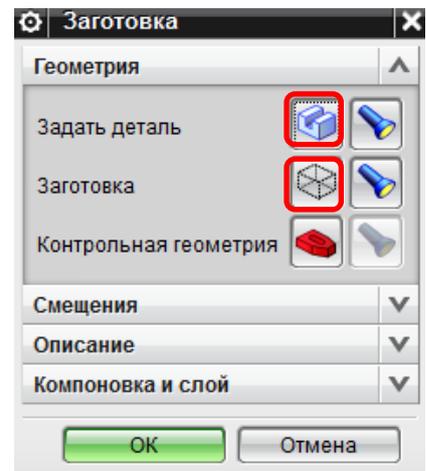


Рис. 9. Задание геометрии обработки

В **Геометрии токарной обработки** задается контуры обрабатываемой детали и заготовки. Контур детали определяется автоматически из заданной **Геометрии обработки**, однако, контур для заготовки необходимо задавать вручную. Для этого при редактировании объекта в диалоговом окне *Токарная заготовка* выполним команду *Границы заготовки*. В открывшемся окне

(рис. 10) задаем длину заготовки равную 302 мм, диаметр заготовки 60 мм и положение заготовки пространстве командой *Выберите заново* (задается координата центральной точки левого торца заготовки). Для проверки правильности задания параметров выполните команду *Отобразить заготовку*.

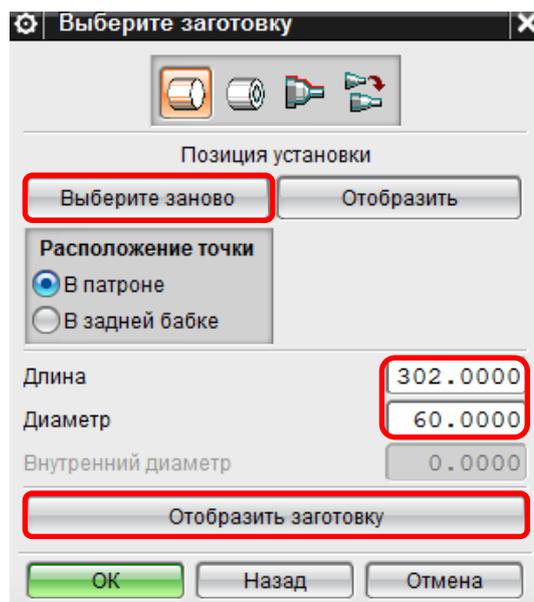


Рис. 10. Задание геометрии заготовки

В объекте **Маневрирование** задается основные параметры стратегии перемещения без резания, такие как тип перемещения, необходимость перемещения через определенные точки и т.д. Для нашей операции введем исходную точку с координатами (320;50;0) относительно СКС (Абсолютная).

d) Родительская группа «Метод»

В данной группе система уже создала несколько стандартных **Методов**, такие как LATHE_METHOD (общая токарная обработки), LATHE_ROUGH (черновая ТО), LATHE_FINISH (чистовая ТО) и др. Для нашей задачи изменим параметры для черновой и чистовой токарной обработки. Для черновой операции: припуск для последующей операции равен 0,2 мм по торцу (грань) и по радиусу, минимальное расстояние врезания и отвода равно 2 мм, в команде *Подачи* задаем значение подачи равно 0,7 мм/об. Для чистовой операции: припуск равен нулю, расстояние врезания равно 2 мм, подача равна 0,2 мм/об.

5. Создание или редактирование операций обработки.

Создание токарной операции черновой подрезки торца.

Для создания операции необходимо выполнить команду **Создание операции** либо через панель инструментов, либо через главное меню **Вставить > Операция**. После открывается диалоговое окно, в котором указывается подтип операции (Торцевание), имя операции (ROUGH_FACING) и указываются родительские группы:

Программа: 1234;

Инструмент: OD_80_L;

Геометрия: AVOIDANCE;

Метод: LATHE_ROUGH.

В качестве объекта группы **Геометрия** выбран объект AVOIDANCE, так как он в группе является самым дочерним объектом, поэтому он наследует информацию у всех объектов группы.

После подтверждения открывается диалоговое окно для ввода всех параметров операции (рис. 11). Большинство параметров были взяты из объектов родительских групп, однако параметры характерные для определенной информации необходимо вводить вручную. Также в этом же окне можно провести **Генерирование траекторий**, а после проверить ее не выходя из команды.

Для операции черновой подрезки торца необходимо указать область обработки. Для

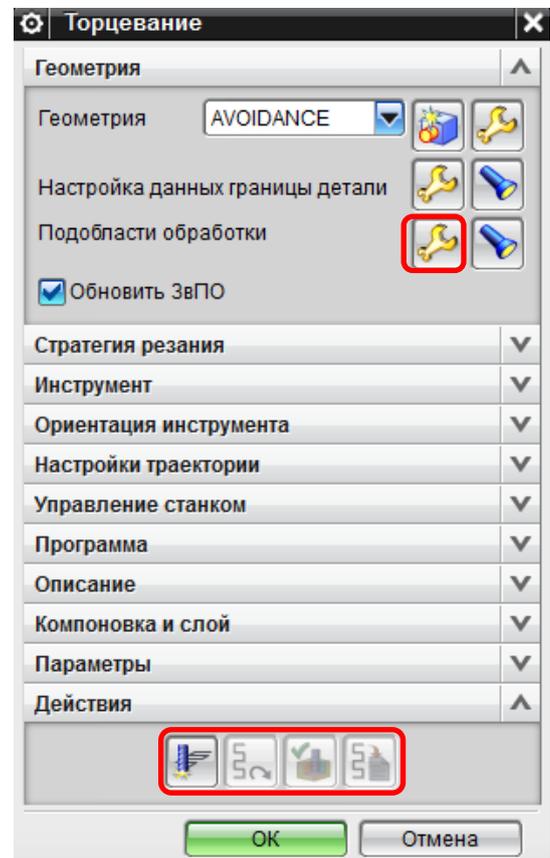


Рис. 11. Создание операции

этого
выполним
команду

Изменить подобласть обработки. В открывшемся окне (рис. 12) область обработки задается путем ограничения ее радиальными и осевыми плоскостями (радиальная плоскость параллельна оси вращения, а осевая – перпендикулярна). Плоскость можно задать точкой, либо расстоянием от оси или левого торца (для радиальной плоскости – ось, для осевой – торец).

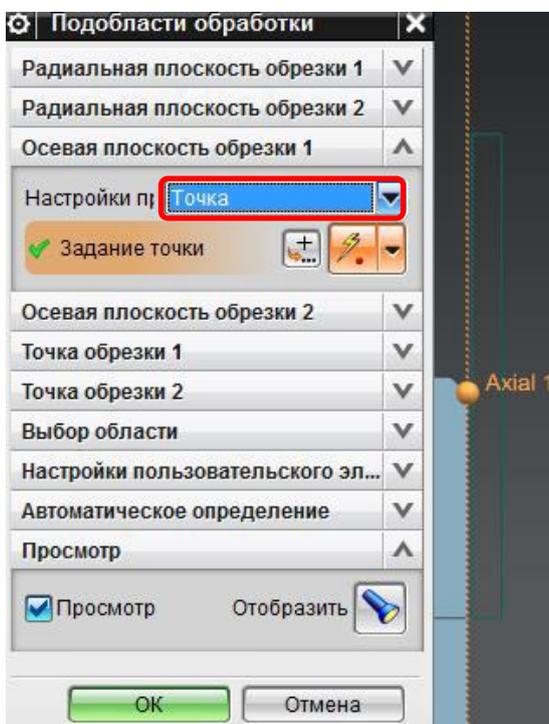


Рис. 12. Задание области обработки

Для нашей операции область обработки ограничим осевой плоскостью с помощью точки расположенной на правом торце детали.

Создание токарной операции черного наружного точения.

В команде *Создание операции* указываем подтип операции (Черновая наружная обработка), имя операции (ROUGH_TURN_OD), указываем родительские группы аналогично предыдущей операции. Область обработки ограничим радиальной плоскостью на расстоянии от оси вращения равным 15 мм.

Создание токарной операции чистовой подрезки торца.

В команде *Создание операции* указываем подтип операции (Торцевание), имя операции (FINISH_FACING) и указываются родительские группы и указываем родительские группы:

Программа: 1234;

Инструмент: OD_55_L;

Геометрия: AVOIDANCE;

Метод: LATHE_FINISH.

Область обработки ограничиваем аналогично операции черновой подрезки торца.

Создание токарной операции чистового наружного точения.

В команде *Создание операции* указываем подтип операции (Чистовое наружное точение), имя операции (FINISH_TURN_OD), указываем родительские группы аналогично чистовой подрезки торца. Область обработки не ограничиваем.

6. Генерирование траекторий.

Генерирование можно выполнить, как это было сказано ранее, в команде *Создание операции*. Если же генерирование траектории необходимо выполнить после выхода из команды или сразу для группы операций, то необходимо в навигаторе операций выбрать операцию или группу и выполнить команду *Генерировать траекторию* либо через панель инструментов , либо через главное меню *Инструменты > Навигатор операции > Траектория инструмента > Генерировать*.

7. Проверка траекторий.

Траекторию движения инструмента можно проверить визуально для каждой операции, просто выбрав ее в навигаторе операций. Кроме этого существуют специальные команды для проверки. Например, с помощью команды **Проверка** визуально отображаются все перемещения режущего инструмента (запускается либо через контекстное меню, либо через команду на инструментальной панели  , либо через главное меню: **Инструменты > Навигатор операции > Траектория инструмента > Проверка**).

8. Постпроцессирование.

Получение управляющая программа (УП) для конкретного станка выполняется командой **Постпроцессировать** (запускается либо через контекстное меню, либо через команду на инструментальной панели  , либо через главное меню: **Инструменты > Навигатор операции > Вывод > Постпроцессировать**). В открывшемся окне задается станок для которого пишется УП и единицы измерения. После подтверждения создается текстовый документ.

1. Основы анализа в системах автоматизированного проектирования
2. Инженерный анализ в системе автоматизированного проектирования Siemens NX

Процесс инженерного анализа в NX Advanced Simulation

При использовании систем численного анализа инженер получает возможность моделировать конструкции и машины любой сложности с любой необходимой (рациональной) степенью детализации. У него появляется инструмент для анализа реального распределения напряжений и деформаций в конструкции. NX Advanced Simulation на базе промышленного решателя NX Nastran (и других решателей компании Siemens PLM Software) дает инженеру возможность работать с различными приложениями, оставаясь в единой среде проектирования NX. Причем масштабируемость модуля NX Advanced Simulation (NX Расширенная симуляция) позволяет решать как простые, так и самые сложные задачи из различных областей механики деформируемого твердого тела, механики жидкостей и газов, механики теплопереноса и др.

Выполнение инженерного анализа с помощью метода конечных элементов проходит в три основных этапа (рис. 1):

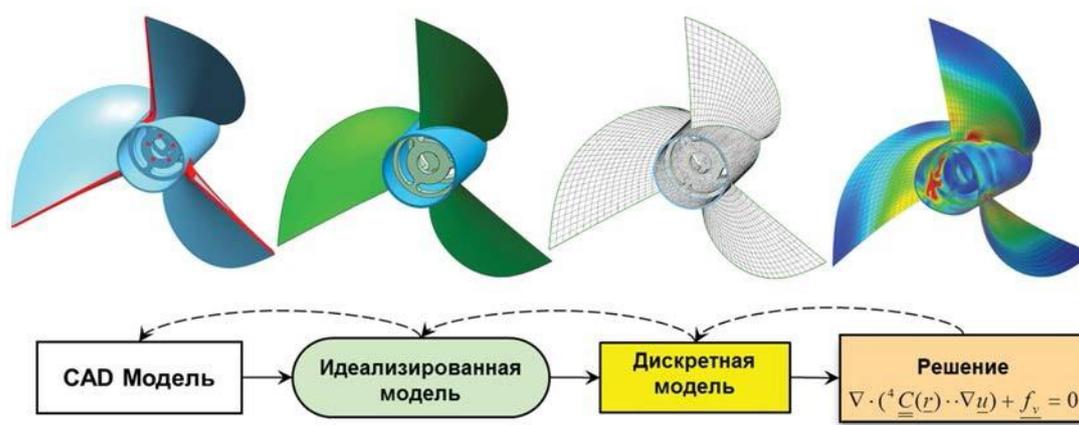


Рис.1. Схема выполнения инженерного анализа

1. Создание идеализированной модели *i-part*. Этот этап соответствует переходу от реальной физической модели к измененной (упрощенной) математической модели.

2. **Создание дискретной модели *FEM***, что соответствует ограничению числа степеней свободы, то есть происходит дискретизация идеализированной модели;
3. **Решение системы разрешающих уравнений**, которые соответствуют выбранному типу анализа.

Необходимо учитывать, что решение задачи численными методами не может являться абсолютно точным – каждый этап численного моделирования вносит определенную погрешность в результат расчета. Для минимизации погрешности расчета инженер должен уделять особое внимание двум этапам: идеализации и дискретизации. На этапе идеализации осуществляется переход к математической модели, что может внести существенную погрешность или даже кардинальную ошибку в результат. В свою очередь, на этапе дискретизации необходимо проверять сходимость численного решения. Под сходимостью понимается стремление результата численного решения к верному при увеличении числа степеней свободы.

Кроме этого, занимаясь численным моделированием, необходимо помнить, что КЭ анализ – это всегда баланс опыта самого инженера, требуемой точности результата, мощности вычислительной техники, времени расчета, времени разработки расчетной модели. Обычно более детализированные и хорошо дискретизированные расчетные модели дают более точный результат, но требуют больше времени как на расчет, так и на подготовку. В свою очередь, качество и время подготовки расчетной модели могут напрямую влиять на снижение времени расчета. А опыт и знания инженера как основной определяющий фактор могут уравновесить и помочь достичь баланса при решении реальных задач.

Типы расчетов в NX Advanced Simulation

NX Advanced Simulation позволяет анализировать конструкцию с точки зрения различных процессов, связанных с ее функционированием. Для выполнения расчета пользователю доступны: линейный/нелинейный анализ

прочности, анализ динамического поведения конструкции, анализ состояния изделия в условиях действия нелинейных быстро протекающих процессов, тепловой анализ, анализ течения жидкости и газа, оптимизационный анализ, корреляционный анализ и др. При переходе в приложение **NX Расширенная симуляция** и создании расчетной модели первое, что необходимо задать, – это решатель и тип анализа (рис.2), который будет выполнен для текущей модели. В соответствии с выбранным решателем система автоматически настроит интерфейс и «язык» команд и функций пре- и постпроцессора.

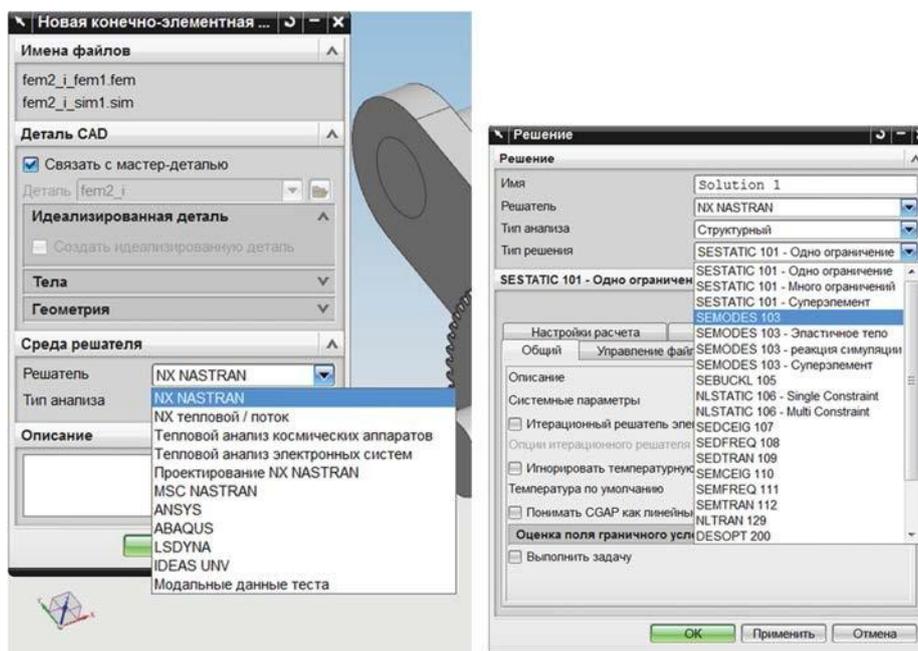


Рис. 2. Типы решателей и анализов решателя NX Nastran

Основные типы анализа, доступные в решателе NX Nastran: линейный статический анализ (SOL 101), анализ собственных частот и форм свободных колебаний (SOL 103), анализ отклика на воздействия, зависящие от времени или частоты (SOL 108, 109, 111, 112), анализ потери устойчивости конструкций (SOL 105), базовый нелинейный анализ (SOL 106), анализ переходных процессов (SOL 129), анализ теплопереноса (SOL 153), нелинейный анализ на базе явных схем интегрирования (SOL 601), нелинейный динамический анализ на базе явных схем интегрирования (SOL 701), оптимизационный анализ (SOL 200).

Кроме этого, при выборе типа решателя доступны дополнительные варианты:

NX тепловой поток (NX Thermal/Flow) – эти решатели позволяют выполнить анализ теплопередачи и анализ динамики жидкости и газов (CFD). Вы можете использовать эти два решателя независимо или совместно для получения результатов как теплового анализа, гидро/ газодинамического анализа, так и результатов связанного анализа тепломассопереноса;

Тепловой анализ космических аппаратов (NX Space Systems Thermal) – это промышленноориентированный решатель для теплового анализа космических аппаратов и орбитальных/межорбитальных систем;

Тепловой анализ электронных систем (NX Electronic Systems Cooling) – это промышленноориентированный решатель для анализа систем охлаждения электроники. Он включает в себя анализ теплопереноса и вычислительную гидро/газодинамику (CFD) для комплексного исследования систем отвода тепла;

MSC NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, LS-DYNA, IDEAS UNV – возможность записать расчетную модель в виде входного файла для соответствующей системы численного анализа.

Структура и этапы создания расчетной модели

При выполнении любого КЭ расчета в NX Advanced Simulation необходимо четко понимать физику рассматриваемого процесса, так как программный продукт использует только данные, введенные пользователем, и внутренние решатели. В случае некорректно поставленной пользователем задачи полученное решение будет неточным или неверным.

Процедуру выполнения инженерного расчета конструкций методом конечных элементов в NX Advanced Simulation условно можно разбить на несколько этапов (рис. 3). При этом в ходе создания модели и выполнения расчета создаются файлы, которые содержат определенные типы данных о расчетной модели. Для эффективной работы в NX Advanced Simulation необходимо четко различать, какие данные хранятся в определенном файле и какой файл должен быть активным при создании и работе с расчетной моделью.

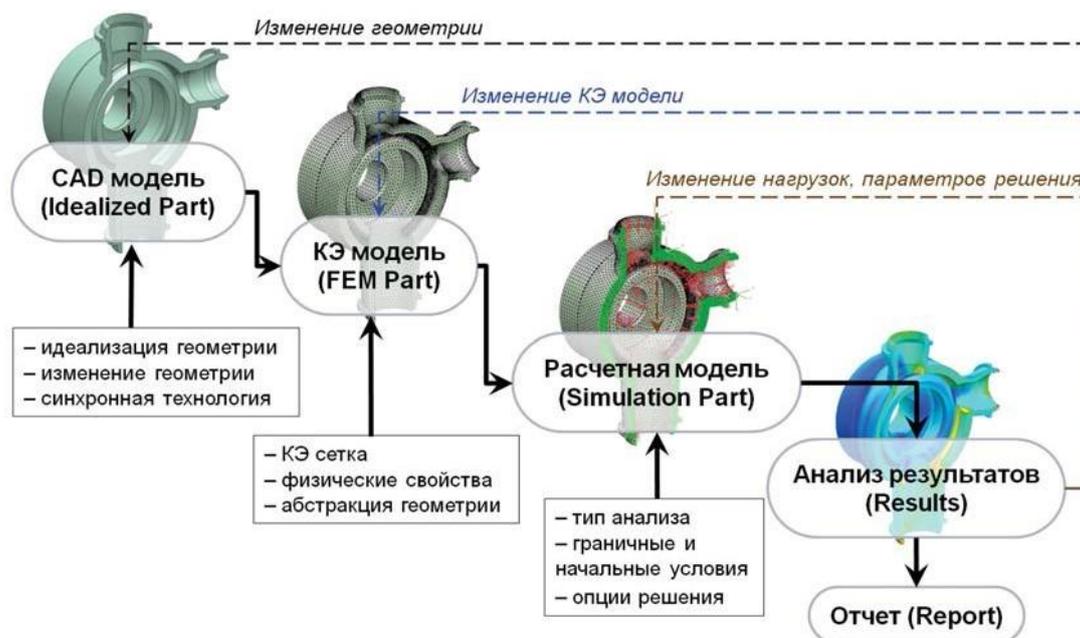


Рис. 3. Этапы создания расчетной модели

- 1. Создание идеализированной геометрической модели.** Для эффективного применения метода КЭ должна быть построена корректная и максимально простая геометрическая модель. Для этого необходимо провести идеализацию исходной геометрии – мастер-модели. Рекомендуется исключить все геометрические элементы, которые приводят к усложнению расчетной модели (технологические отверстия, скругления, фаски), но не оказывают влияния на ожидаемые результаты выполняемого расчета. Если в исходной геометрии присутствуют видимые поверхностные дефекты, то следует перестроить соответствующие геометрические элементы, для этого в NX присутствуют соответствующие инструменты. Система автоматически создает идеализированную геометрическую модель, которой соответствует файл «имя_fem_i.prt». Этот файл создается одновременно с созданием файла КЭ модели *FEM* или файла симуляции *SIM*.
- 2. Создание КЭ модели.** Для КЭ модели создается файл «имя_fem.fem». Помимо построения непосредственно КЭ сетки, в данном файле задаются и хранятся физические свойства частей модели, такие как свойства материалов или параметры оболочечных и стержневых элементов.

Геометрия в созданном файле *FEM* является полигональной, то есть состоит из фасетов, вершин и ребер.

3. **Создание расчетной модели (*Simulation Part*).** Файл *SIM* содержит информацию о постановке задачи. То есть на данном этапе для разработанной КЭ модели определяются граничные и начальные условия, условия возможного контактного взаимодействия, один или несколько типов анализа, а также опции решателя. Созданный файл симуляции «имя_sim.sim» содержит все параметры и свойства поведения конструкции, расчетных случаев, настройки решателя, такие как тип решения, шаг решения, объекты симуляции (контактные граничные условия и др.), нагрузки, ограничения, физические свойства, созданные при перезаписи таблиц физических свойств.
4. **Численное решение задачи.** Этот этап не требует непосредственного участия инженера, но обычно сопровождается так называемым мониторингом хода решения. Для выявления проблем с решением на раннем этапе необходимо следить за сходимостью решателя, за сходимостью контактного алгоритма, за нелинейной или нестационарной историей решения. В случае обнаружения расхождения решения или других проблем задачу можно прервать и внести коррективы в файлы *FEM* или *SIM*.
5. **Анализ полученных результатов.** После получения корректных результатов, которые записываются в файл *OP2* (для решателя NX Nastran), они анализируются, строятся необходимые графики и распределения, составляется отчет.

Приведем общую структуру типичной расчетной модели в **NX Расширенная симуляция (NX Advanced Simulation)** (рис. 4).

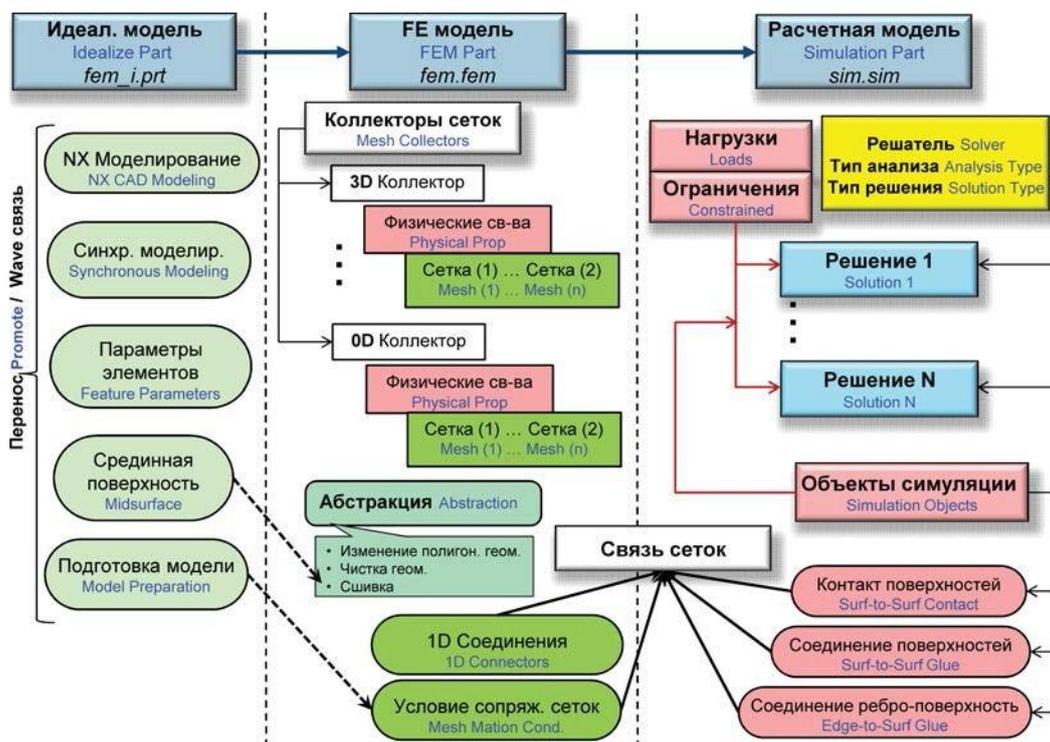


Рис. 4. Схема типичной расчетной модели в NX Расширенная симуляция

Приложение **NX Расширенная симуляция** является гибкой настраиваемой средой и допускает различные последовательности операций для достижения той или иной цели в зависимости от стоящей перед инженером задачи и персональных настроек. Две основные последовательности, однако, позволяют достичь корректного результата для большинства расчетных случаев.

В рекомендуемой для большинства моделей «явной» последовательности действий необходимо сначала задать материал, физические свойства и свойства сетки в коллекторах КЭ сетки, а потом приступить к генерации самой сетки. Коллектор КЭ сетки – это элемент дерева расчетной модели, содержащий информацию о типе, свойствах и параметрах расчетной сетки. Эта последовательность действий полезна для построения сложных моделей, которые содержат несколько тел, материалов и КЭ сеток. Она обеспечивает прозрачность свойств модели и снижает риск возникновения ошибки моделирования или расчета.

Для простых конструкций с одним твердым или поверхностным телом из одного материала можно использовать «автоматическую» последовательность действий. Эта последовательность позволяет быстро создать файлы расчетной

модели *FEM* и *SIM* со всеми необходимыми коллекторами в автоматическом режиме. Также в этом случае по умолчанию происходит наследование свойств объектов из геометрической модели.

Глава 3. Создание и работа с конечно-элементными моделями

Разработка качественной и адекватной конечно-элементной модели, занимает особое место в процессе инженерного анализа и обычно является самым трудозатратным. Не следует пренебрегать качеством КЭ модели (сетки), так как если сетка будет низкого качества (большие элементы, вырожденная форма элементов), то можно не получить сходимости при решении либо не получить верного результата. Но при этом высокая степень дискретизации модели должна быть оправдана целью, так как может привести к значительным вычислительным и временным ресурсам. При работе с FEM файлом, помимо построения непосредственно КЭ модели, задаются физические свойства модели, такие как свойства материалов и параметры оболочечных и стержневых элементов. Для КЭ модели по умолчанию создается файл «имя_ *fem.fem*», где «имя» – наименование исходной мастер-модели.

Геометрия в созданном файле FEM является полигональной. Таким образом, когда вы создаете КЭ сетку, любое действие по настройке параметров сетки и геометрии производится на полигональной геометрии, а не на идеализированной модели. При этом полигональная геометрия файла FEM ассоциативно связана с идеализированной геометрией.

Структура КЭ модели. Навигатор симуляции

Перед тем как рассматривать способы и особенности создания КЭ модели в приложении **NX Расширенная симуляция**, необходимо ознакомиться с вкладкой **Навигатор симуляции** панели ресурсов. Данная вкладка представляет собой дерево текущей модели и содержит ссылки на все объекты, входящие в модель. Содержимое **Навигатора симуляции** (рис. 5) меняется соответственно при переходе от КЭ модели (FEM Part) к расчетной модели

(Simulation Part) и наоборот. С его помощью можно управлять основными КЭ данными:

- просматривать структуру и наполнение КЭ модели;
- осуществлять быстрый переход к идеализированной модели или к мастер-модели;
- создавать новые объекты, например новые сетки, группы и системы координат;
- управлять отображением тех или иных объектов в графической области;
- редактировать, переименовывать и удалять существующие объекты.

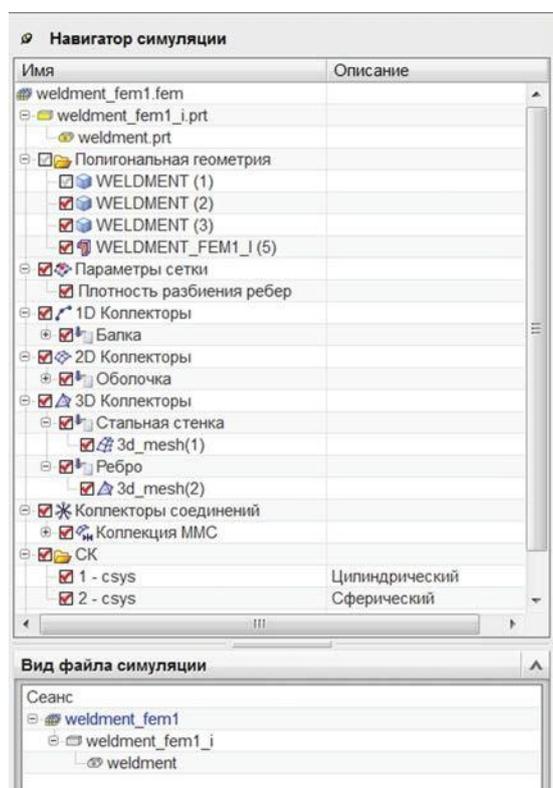


Рис. 5. Панель Навигатора симуляции

На рис. 5 представлено типичное дерево КЭ модели, в котором объекты организованы по узлам:

- *Полигональная геометрия* (список всех полигональных тел модели);
- *Параметры сетки* (контроль над разбиением отдельных ребер и граней);
- *1D Коллекторы* (содержит информацию о наборах 1D элементов и их физических свойствах);
- *2D Коллекторы* (содержит информацию о наборах 2D элементов и их физических свойствах);

- *3D Коллекторы* (содержит информацию о наборах 3D элементов и их физических свойствах);
- *Коллекторы соединений* (содержит информацию о соединениях сеток и их свойствах);
- *СК* (список локальных систем координат).

Окно **Вид файла симуляции** вкладки **Навигатор симуляции** служит для быстрого переключения между мастер-, идеализированной, КЭ и расчетной моделями.

Через использование **Навигатора симуляции** активной КЭ модели доступны все команды для полноценной работы по созданию КЭ модели. Необходимая команда может быть вызвана в выпадающем меню, которое появляется при нажатии правой кнопки мыши на соответствующем узле (рис. 6).

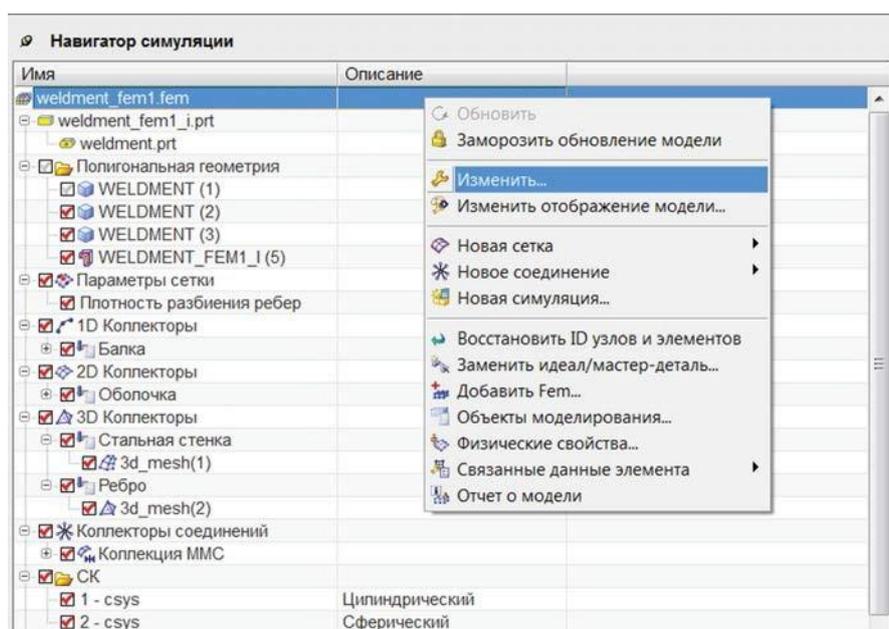


Рис. 6. Вызов команды через панель Навигатор симуляции

Создание конечно-элементной модели

Построение КЭ расчетной сетки является этапом, на котором производится дискретизация математической модели, то есть разбиение непрерывной геометрической структуры на конечные элементы. Каждый элемент является математическим представлением дискретной части описываемой структуры и имеет заданную функцию интерполяции. Создание

конечно-элементной сетки один из наиболее важных и критичных этапов в процессе численного инженерного анализа, и точность результатов напрямую зависит от качества создаваемой расчетной сетки.

Возможности по созданию КЭ сетки в модуле **NX Расширенная симуляция** позволяют пользователю создавать:

0D – скалярные элементы в выбранных точках;

1D – одномерные элементы на ребрах, линиях;

2D – двумерные элементы на гранях и поверхностях;

3D – пространственные твердотельные элементы в объемах.

Доступ к командам создания КЭ сеток осуществляется несколькими способами (рис. 7):

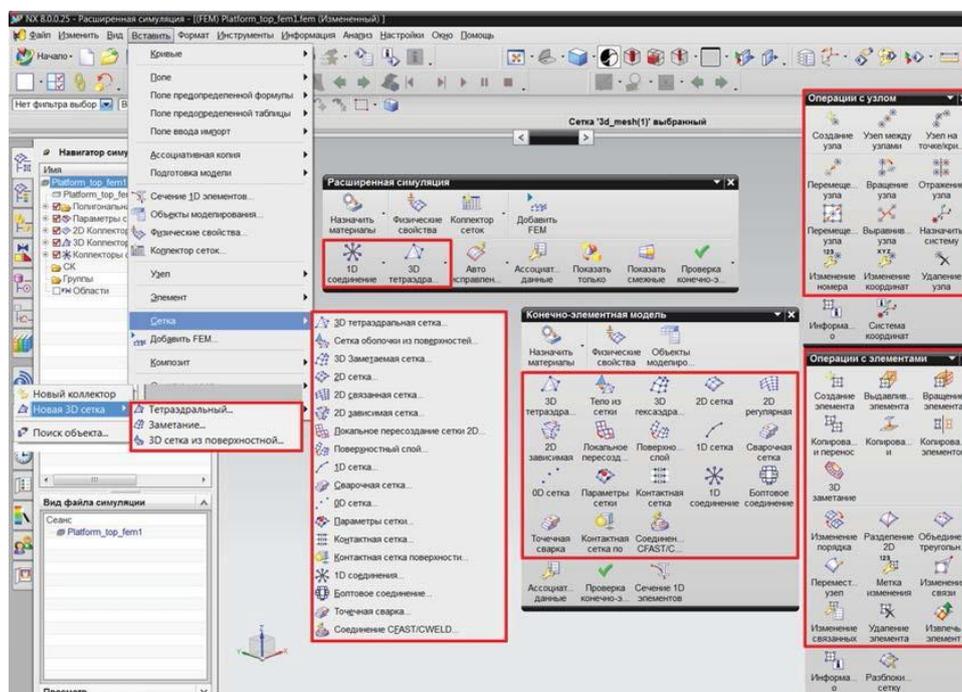


Рис. 7. Инструменты создания КЭ сеток

- через главное меню **Вставить > Узел/Элемент/Сетка**;
- через панель инструментов **Расширенная симуляция**;
- через панель инструментов **Конечно-элементная модель**;
- через дерево модели панели **Навигатора симуляции** нажатием правой кнопки мыши на узел 3D/2D/1D/0D коллектора и далее через выпадающее меню **Новая 3D/2D/1D/0D сетка**.

Создание 3D сеток

Пространственные твердотельные конечные элементы используются для моделирования толстых пластин и объемных тел. Для задач механики деформируемого твердого тела каждый узел 3D элемента имеет три поступательные степени свободы. Для большинства конструкций использование таких элементов приводит к корректным результатам и является одним из простых случаев моделирования.

Перед созданием сетки в теле с использованием пространственных твердотельных элементов необходимо определиться с выбором типа конечных элементов. В таблице 1 приведен список основных 3D элементов для решателя NX Nastran.

Таблица 1

Имя элемента	Описание	Тип физических свойств
CHEXA(8)	8-узловой гексаэдральный твердотельный элемент	PSOLID, PLSOLID (гиперупругий)
CHEXA(10)	20-узловой гексаэдральный твердотельный элемент	
CPYRAM	5- или 13-узловой пирамидальный элемент	PSOLID
CTETRA(4)	4-узловой тетраэдральный твердотельный элемент	PSOLID, PLSOLID (гиперупругий)
CTETRA(10)	10-узловой тетраэдральный твердотельный элемент	

Для генерации 3D КЭ сетки **NX Расширенная симуляция (NX Advanced Simulation)** предлагает команды, которыми можно пользоваться как отдельно, так и вместе:

3D тетраэдральная сетка (3D Tetrahedral) – создание сетки с помощью тетраэдральных CTETRA4, CTETRA10 и пирамидальных конечных элементов от 5 до 13 узлов (CPYRAM);

3D сетка из поверхностной (Solid From Shell Mesh) – создание 3D тетраэдральной сетки в замкнутой области, границы которой предварительно разбиты на 2D треугольные вспомогательные конечные элементы. Данная команда используется при отсутствии полигонального тела, но с существующими гранями элементов, составляющих замкнутую область пространства;

3D гексаэдральная сетка (3D Swept Mesh) – создание структурированной 3D гексаэдральной сетки с помощью элементов CHEXA8 и CHEXA20.

Для создания 3D тетраэдральных конечных элементов в выбранных телах необходимо вызвать диалоговое окно **3D тетраэдральная сетка (3D Tetrahedral)** и указать ряд обязательных параметров (рис. 8):

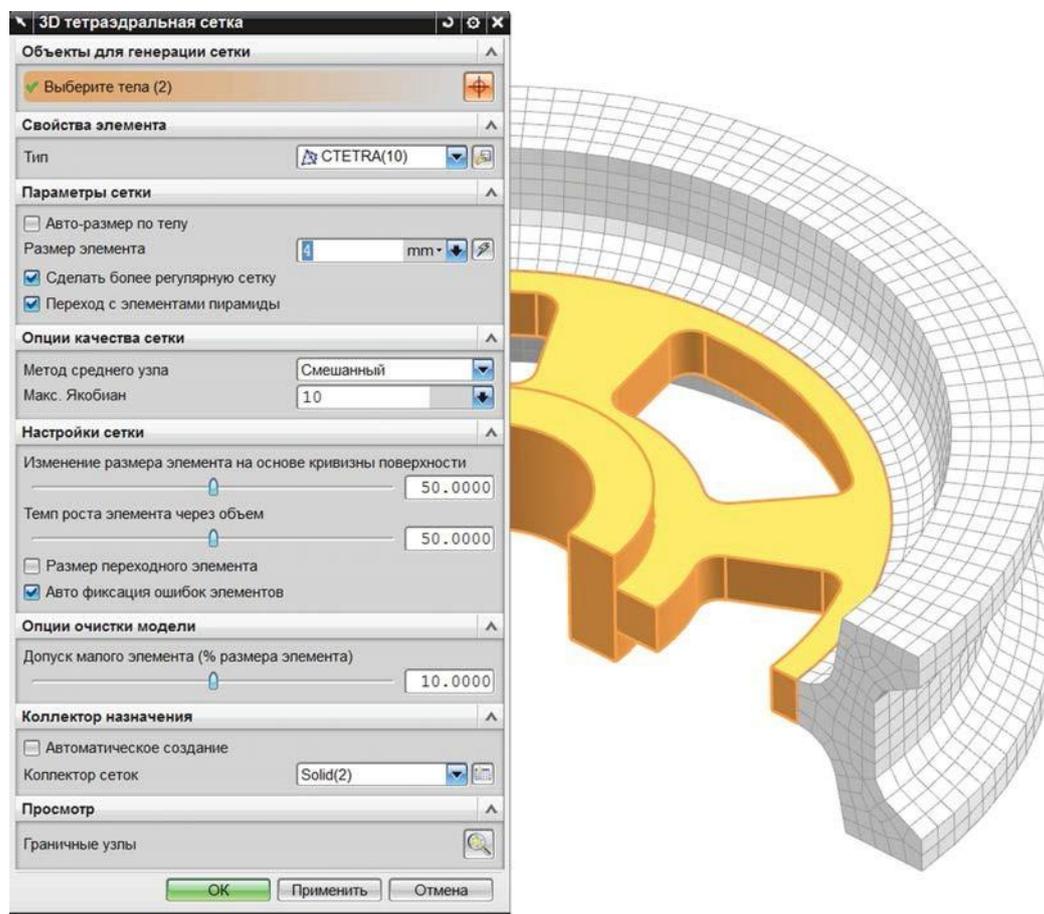


Рис. 8. Создание тетраэдральной сетки

Выберите тела – необходимо выбрать не разбитые на элементы тела;

Тип/(Свойства элемента) – задается тип элемента, например квадратичный тетраэдральный *CTETRA(10)*;

Размер элемента – вводится характерный размер элемента для выбранной единицы измерения;

В группе *Коллектор назначения* указывается существующий коллектор из списка, либо опция автоматического создания коллектора (установить флажок *Автоматическое создание*, либо создается *Новый коллектор*, не выходя из текущего диалогового окна.

Для управления параметрами генерируемой КЭ сетки можно использовать следующие дополнительные параметры:

Авто-размер по телу – при выборе нескольких тел происходит автоматический расчет размера элементов для каждого из тел с учетом их топологии и габаритов;

Сделать более регулярную сетку – по возможности на гранях выбранного тела создается регулярная треугольная сетка;

Переход к элементам пирамиды – создание пирамидальных элементов, для обеспечения корректного перехода от гексаэдральных к тетраэдральным элементам. Данная опция доступна только в случае построения тетраэдральной сетки в объеме, смежном с объемом, разбитым гексаэдральной сеткой;

Группа *Опции качества сетки* отвечает за управление проецированием промежуточных узлов квадратичных тетраэдральных элементов на исходную геометрию;

Для использования дополнительных параметров при генерации сеток используют группы *Настройки сетки* и *Опции очистки модели*:

Изменение размера элемента на основе кривизны поверхности – название говорит само за себя, то есть чем меньше радиус кривизны, тем больше конечных элементов его описывает. Этот параметр позволяет контролировать степень описания криволинейных поверхностей элементами. На рис. 9 показаны несколько вариантов выполнения команды с различными настройками данного параметра;

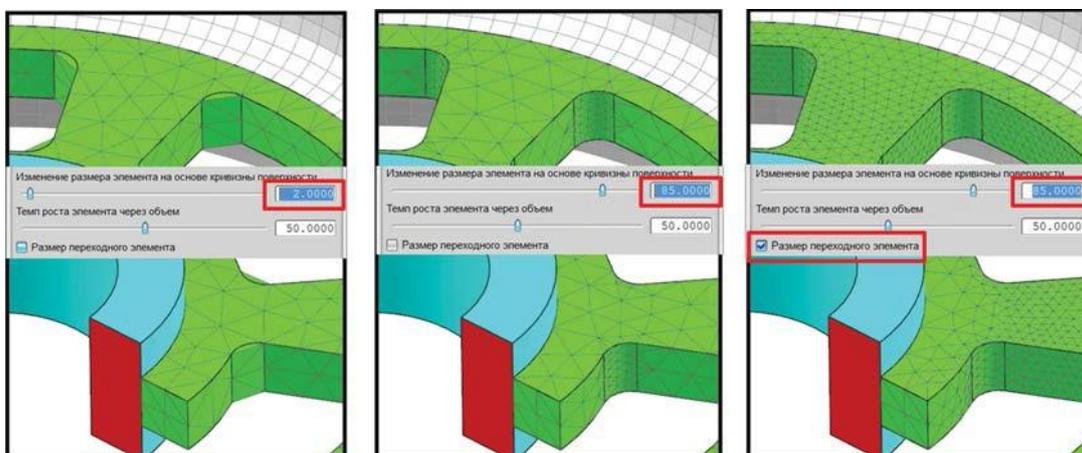


Рис. 9. Размер элемента на основе кривизны

Темп роста элемента через объем – контроль степени дискретизации внутри выбранного тела относительно размера элементов на границе;

Размер переходного элемента – использование данной опции обеспечивает постепенный переход от локального размера элементов на границе, например, заданного командой **Параметры сетки**, к общему размеру элементов для выбранного тела (рис. 10);

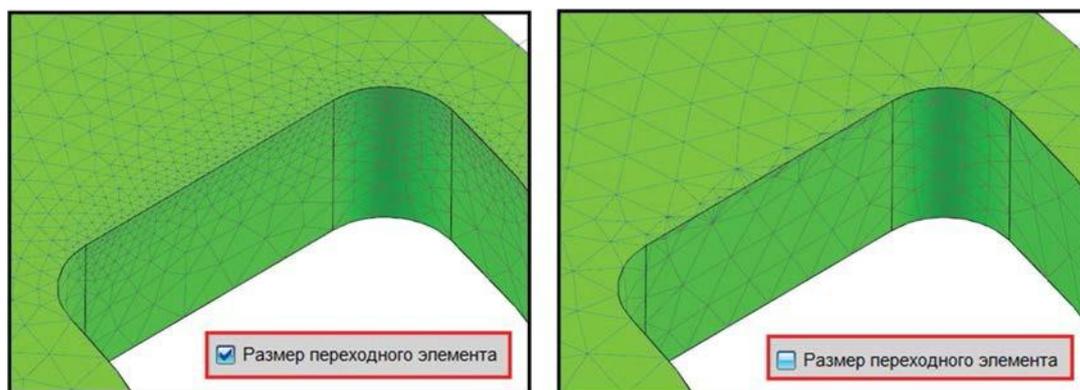


Рис. 10. Размер элемента на основе кривизны

Автофиксация ошибок элементов – автоматическое пересоздание сетки при обнаружении элементов, не удовлетворяющих критериям качества;

Допуск малого элемента – управление допустимым характерным размером геометрических элементов для их игнорирования при создании сетки;

При использовании *Просмотра* на границах тел отображаются узлы, которые будут созданы после выполнения текущей команды, если их количество или расположение не удовлетворяет требованиям пользователя, то необходимо изменить размер элемента или другие параметры.

Обычно для большинства тел имеется возможность создания сетки, которая содержит только гексаэдральные элементы. Для подготовки геометрии к разбиению рекомендуется воспользоваться командами деления тел для идеализированной или мастер-модели, также следует не забывать об абстракции полигональной геометрии в рамках конечно-элементной модели.

Использование команды **3D гексаэдральная сетка** позволяет создать регулярную сетку, состоящую из гексаэдральных и призматических элементов, путем протягивания граней плоских элементов от одной стороны тела

(исходные грани) до другой (целевая грань). При этом заполнение тела элементами происходит по слоям (рис. 11).

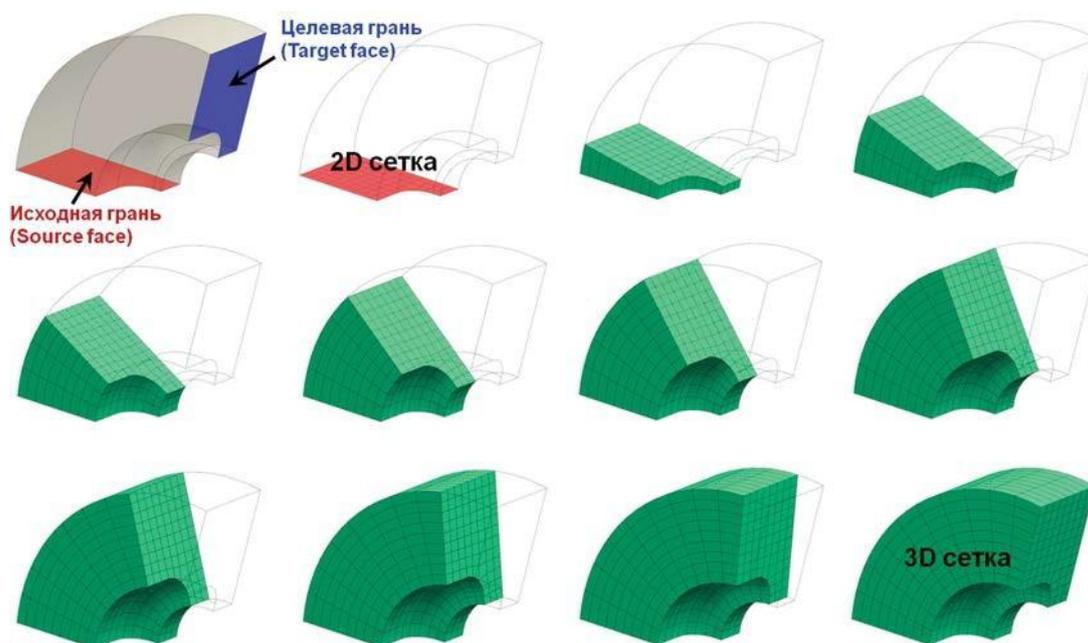


Рис. 10. Генерация 3D гексаэдральной сетки по слоям

При генерации 3D гексаэдральной сетки необходимо придерживаться основных правил:

- исходных граней может быть несколько, но целевая должна быть только одна. При необходимости используйте команду **Объединить грани** для подготовки одной целевой грани;
- для исходных и целевых граней не должно быть общих ребер и вершин;
- возможность создания регулярной сетки на образующих гранях (все грани тела, за исключением исходных и целевой);
- образующие грани не должны быть параллельны исходным и целевым граням;
- исходные и целевые грани могут быть как плоскими, так и криволинейными.

.Глава 4. Создания расчетной модели

Последним этапом перед проведением расчета конструкции для нахождения распределений требуемых величин является работа с расчетной моделью, которой соответствует файл симуляции с расширением **.sim*,

созданный на основе КЭ модели. Данный файл симуляции содержит все параметры и свойства поведения конструкции, расчетных случаев, настройки решателя, такие как тип решения, шаг решения, объекты симуляции (контактные граничные условия и т. д.), нагрузки, ограничения, физические свойства, созданные при перезаписи физических свойств. Пользователь может создать несколько файлов симуляции, ассоциированных с одним файлом КЭ модели.

Для доступа к командам, обеспечивающим подготовку расчетной модели, можно воспользоваться вкладкой **Навигатор симуляции** панели ресурсов, использовать панель инструментов **Расширенная симуляция** или вызывать команды через главное меню.

Структура расчетной модели. Навигатор симуляции

Для перехода к расчетной модели существует несколько способов, наиболее быстрый – это воспользоваться окном **Вид файла симуляции** вкладки **Навигатор симуляции**, в котором отображены в общем случае все четыре файла модели: мастер-, идеализированная, КЭ и расчетная модель (модель симуляции). После активирования расчетной модели двойным нажатием левой клавиши мыши соответствующий файл будет подсвечен синим цветом. Обратите внимание, что в случае нового файла симуляции дерево модели вкладки **Навигатор симуляции** наполнилось пустыми контейнерами (узлами), которые заполняются при создании полноценной расчетной модели.

Перед тем как рассматривать способы и особенности работы с моделью симуляции и в приложении **NX Расширенная симуляция**, необходимо ознакомиться с вкладкой **Навигатор симуляции** панели ресурсов. Данная вкладка представляет собой дерево текущей модели и содержит ссылки на все объекты, входящие в модель. С ее помощью можно управлять основными данными расчетной модели:

- просматривать структуру и наполнение модели;

- осуществлять быстрый переход к КЭ модели, идеализированной модели и мастер-модели;
- создавать новые объекты, например новые граничные условия, поля данных и системы координат;
- управлять отображением тех или иных объектов в графической области;
- редактировать, переименовывать и удалять существующие объекты.

Дерево модели можно разделить на две части: первая часть отвечает за все заданные объекты (рис. 11), вторая часть содержит созданные решения с объектами, которые используются в том или ином решении.

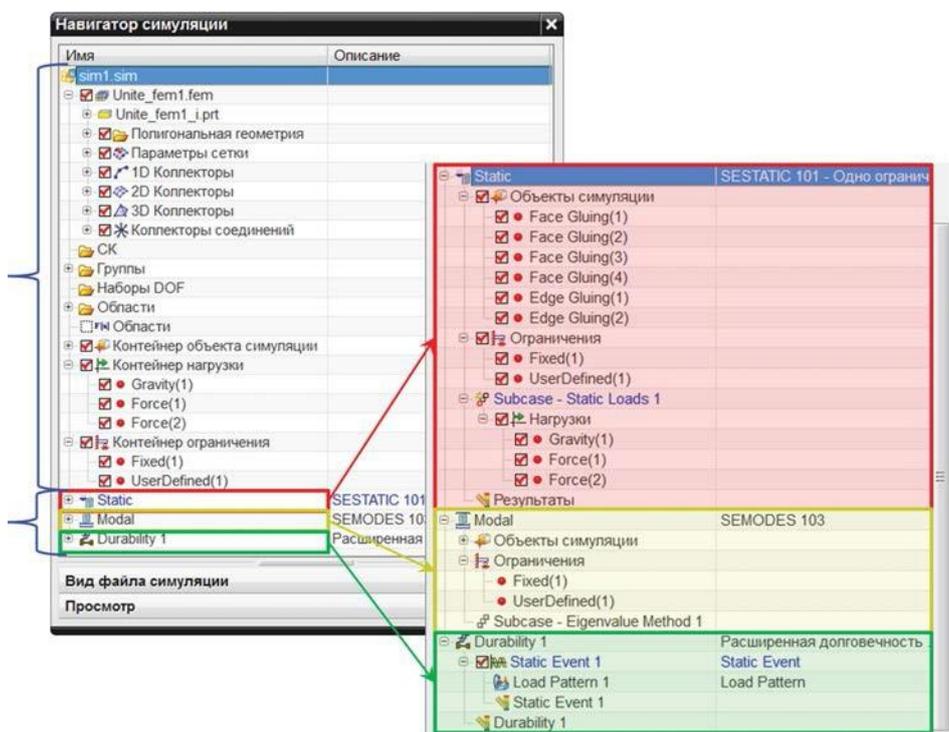


Рис. 11. Вкладка Навигатор симуляции

- *Имя_fem.fem* – ссылка на КЭ модель, включая следующие КЭ объекты: полигональная геометрия, параметры и коллекторы сеток;
- СК (*CSYS*) – список локальных систем координат, созданных в файле симуляции и КЭ модели;
- Группы (*Groups*) – список групп, созданных в файле симуляции и КЭ модели;
- Наборы *DOF* (*DOFSets*) – список степеней свободы в отдельных узлах для их дальнейшего использования, например при работе с суперэлементами;

- Области (*Regions*) – области или регионы для задания контактного взаимодействия или соединений со склеиванием;
- Поля (области) (*Fields*) – созданные поля данных для учета распределения каких-либо ве- личин;
- Контейнер объекта симуляции (*Simulation Object Container*) – список всех объектов симуля- ции, например контактные пары, начальные условия и т.д.;
- Контейнер нагрузки (*Load Container*) – все заданные нагрузки;
- Контейнер ограничения (*Constraint Container*) – все заданные ограничения, то есть условия на степени свободы;
- Решение 1 (*Solution 1*) (например, *Static*) – созданное решение для выполнения какого-либо анализа. Решений может быть сколь угодно много, они могут соответствовать как одному виду анализа, так и разным. Каждое решение содержит присущие только ему объекты расчетной модели, которые также находятся и в основной части дерева модели.

Через **Навигатор симуляции** активной модели симуляции доступны все команды для полноценной работы, предваряющей выполнение расчетов. Необходимая команда может вызываться в выпадающем меню, которое появляется при нажатии правой кнопки мыши на соответствующем узле.

Для исключения возможных ошибок, связанных с учетом тех или иных условий для решений, объекты симуляции, нагрузки и ограничения имеют индикаторы во вкладке **Навигатор симуляции** для обозначения их текущего статуса (рис. 12):

- закрашенный красный кружок обозначает полностью определенный объект, который участвует в активном решении;
- незакрашенный красный кружок также обозначает полностью определенный объект, но не включенный в активное решение. Для добавления его в решение используйте возможность «перетаскивания» или команду *Добавить в активное решение или шаг*, которая вызывается

1. Глобальная система координат – задана автоматически программой, всегда декартова и не может меняться, также известна в NX как абсолютная система координат. Относительно нее определяются все другие системы координат. При экспорте КЭ модели во входной файл решателя все местоположения узлов записываются именно в глобальной системе координат.

2. Рабочая система координат (РСК) – используется в качестве мобильной системы координат, в отличие от глобальной. Служит вспомогательной для большинства операций не только с геометрической, но и с расчетной моделью. Может быть расположена и ориентирована в пространстве произвольным образом. Она всегда декартова и по умолчанию совпадает с глобальной системой координат.

3. Локальные системы координат – определяются пользователем и помогают работать с геометрическими и конечно-элементными операциями. При их создании необходимо выбрать один из типов: декартова, цилиндрическая или сферическая система координат.

4. Узловые системы координат – локальные системы координат, назначенные одному узлу или набору узлов конечных элементов. По умолчанию они совпадают с глобальной системой координат. Существуют два типа узловых СК:

- система координат перемещений узла – служит для задания узловых степеней свободы;
- ссылочная система координат узла – служит ссылочной для задания или изменения местоположения узлов. Используется, например, при добавлении другой КЭ модели в существующую для быстрого перемещения узлов и, соответственно, элементов через задание нового положения и ориентации ссылочной СК, назначенной этим узлам.

Применительно к расчетной модели системы координат необходимы для определения нагрузок по компонентам и заданий ограничений на степени свободы. Для этих целей используются локальные и узловые системы координат, которые можно создавать либо непосредственно при выполнении

команд по определению объектов, либо заранее, используя команды **СК** для локальных СК и **Назначить систему координат узла** для узловых СК. Все используемые в расчетной модели локальные системы координат сохраняются в дереве модели вкладки **Навигатор симуляции** в узле СК. Нажатием правой клавиши мыши на одну из существующих СК можно выбрать команду для ее изменения, удаления и настройки отображения.

Нагрузки, условия на степени свободы и объекты симуляции

Этап приложения нагрузок и граничных условий – ответственный шаг, поскольку результатом расчета является решение системы уравнений, описывающей моделируемое поведение конструкции в условиях ее эксплуатации, то есть при заданных воздействиях и граничных условиях.

Все параметры и опции при задании граничных условий интерактивны и активируются в соответствии с выбранным решателем и типом решения. Создавать граничные условия можно как до, так и после создания решения. Если создается сначала решение, то нагрузки, граничные условия и объекты симуляции сохраняются в **Навигаторе симуляции** в соответствующих контейнерах: *Контейнер нагрузки*, *Контейнер ограничений* и *Контейнер объектов симуляции*. Создаваемые объекты также сохраняются в соответствующих контейнерах активного решения. Если создаются сначала нагрузки, ограничения и т.д., они сохраняются лишь в контейнерах вкладки **Навигатор симуляции**.

Граничные условия могут быть приложены к геометрическим объектам (ребрам, граням, вершинам, точкам) и объектам КЭ модели (узлам, элементам, граням и ребрам элементов). В частности, граничные условия, приложенные к элементам КЭ модели, незаменимы в случае работы с импортированными сетками без основной геометрии. Для задания значения граничного условия вы можете использовать постоянные величины, выражения NX или поля данных. Поля данных позволяют описать то, как

значения меняются в зависимости от времени, температуры, частоты или по пространству.

Нагрузки и граничные условия делятся на силовые (усилия и моменты) и условия закрепления (ограничение степеней свободы). Вызов команды, отвечающей за приложение той или иной нагрузки, происходит (рис. 13):

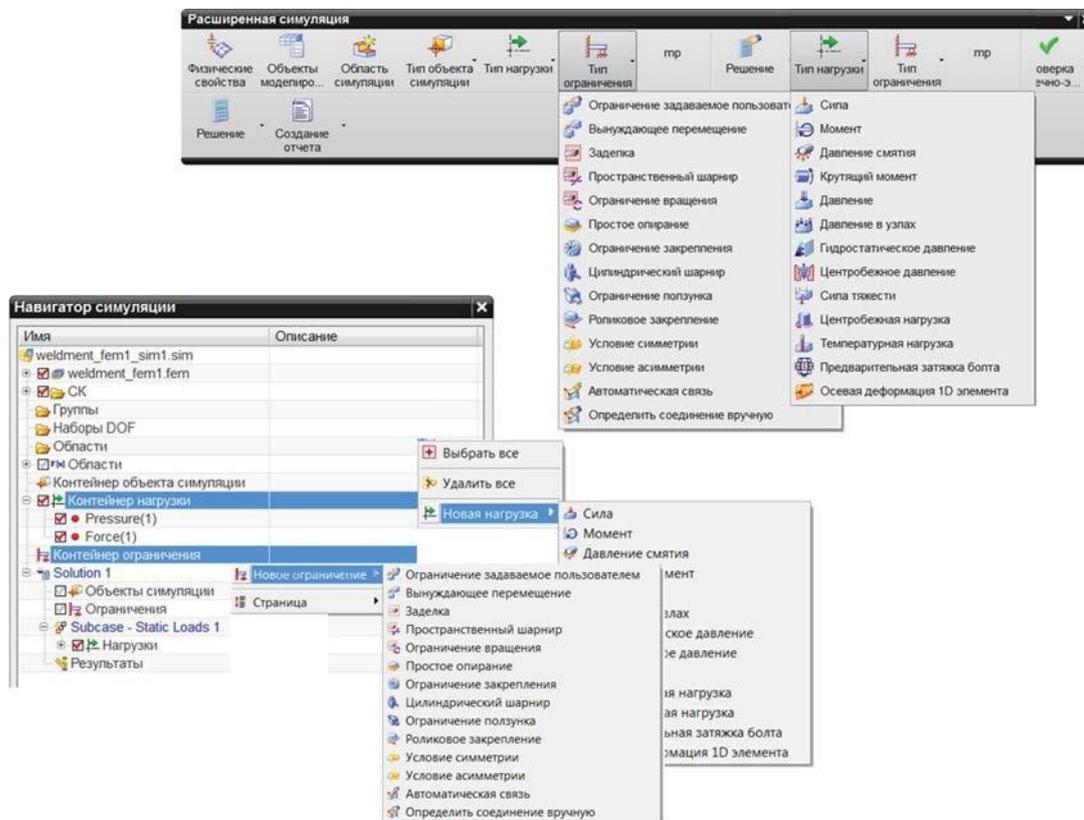


Рис. 13. Вызов команд приложения нагрузок и ограничений

- через панель инструментов **Расширенная симуляция**;
- через дерево модели панели **Навигатора симуляции** нажатием правой клавиши мыши на узел *Контейнера нагрузки* или *Контейнера ограничений* – вызвать выпадающее меню и выбрать *Новое ограничение* или *Новая нагрузка* соответственно.

Структура диалоговых окон для задания нагрузок или ограничений одинакова. Сначала необходимо выбрать тип задания, потом – объекты, на которые ставится условие. Затем в зависимости от выбранного типа может указываться система координат и соответствующие значения компонент или результирующие значения с направлением их воздействий. Величина нагрузок или ограничений может быть постоянной или переменной по времени, частоте

или температуре. В этом случае в качестве величины необходимо указать *Поле* и задать поле данных. Для управления приложением нагрузок и ограничений выбирается метод их распределения:

- *Всего на объект* – значение величины прикладывается на каждый выбранный объект. Например, результирующее значение силы в 1000 Н прикладывается к трем выбранным граням, это означает, что на каждую грань придется по 1000 Н независимо от их площадей;
- *Геометрическое распределение* – значение величины равномерно распределяется на выбранные объекты в зависимости от величины их площади. Например, результирующее значение силы в 1000 Н прикладывается к двум выбранным граням с площадями 40 мм² и 60 мм², это означает, что на первую грань придется 400 Н, а на вторую – 600 Н;
- *Пространственный* – распределение по пространству с заданным полем данных.

При задании значения какой-либо величины следует следить за единицей измерения, которая выбирается из выпадающего списка справа от поля ввода значения. При использовании полей данных во время задания нагрузок, ограничений и свойств материалов напротив параметра *Задать поле* необходимо выбрать один из трех способов их указания:

- *Выберите существующее поле из списка* – указывается одно из существующих полей данных (рис. 14);
- *Конструктор формулы* – создается новое поле данных заданием формулы для установления соотношения между зависимой и независимыми переменными;

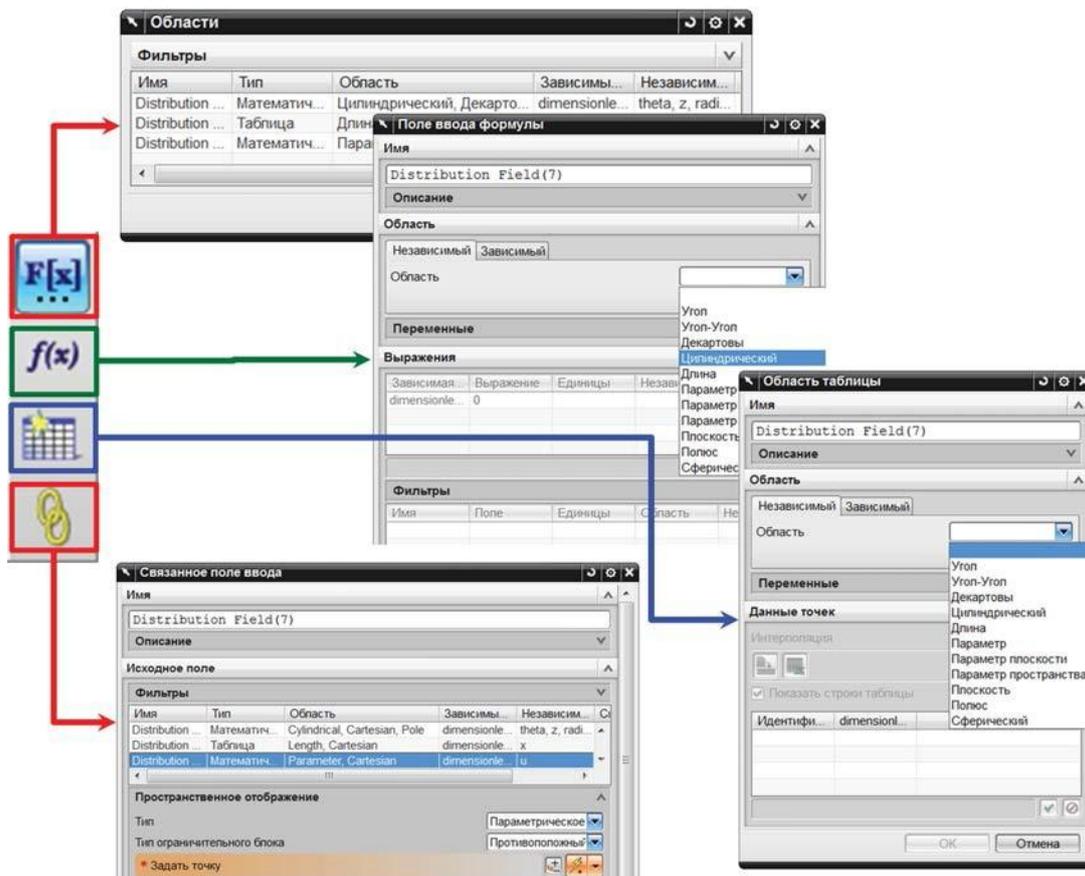


Рис. 14. Способы указания полей данных

- *Конструктор таблицы* – создается новое поле данных через задание табличных значений с выбранным методом интерполяции между ними;
- *Конструктор связей* – указывается одно из существующих полей данных в качестве ссылочного с изменением способа распределения по пространству.

Приложение нагрузок

Рассмотрим существующие виды нагрузок, доступных для выполнения решения задач механики деформируемых твердых тел (рис. 15) в рамках решателя NX Nastran. Необходимо заметить, что в рамках одной команды при выборе объектов они должны быть одного типа, например если сначала выбираются узлы, то дальнейший выбор граней невозможен.

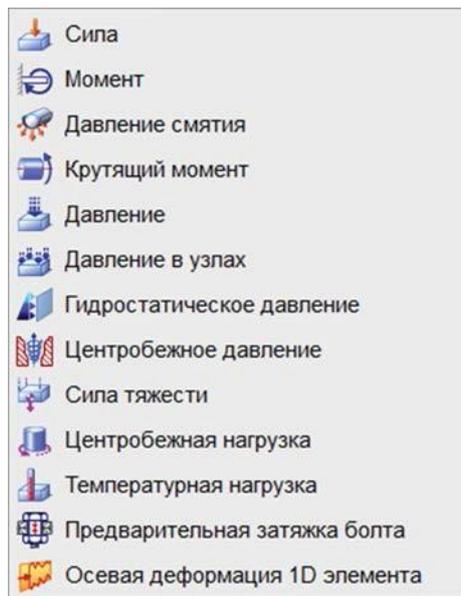


Рис. 15. Типы нагрузок

Сила, Момент – команды приложения сил и моментов. Параметры диалоговых окон совпадают:

- в качестве *Типа (Type)* задания величин необходимо указать один из предложенных:
 - *Значение и направление* – задаются результирующее значение и направление действия усилия;
 - *Нормальный* – приложение усилия по нормали к выбранным граням с заданным результирующим значением;
 - *Компоненты* – для заданной системы координат указываются значения компонент усилия;
 - *Таблица идентификаторов узлов* – используется поле данных, содержащее номера узлов и коэффициенты масштабирования заданного значения по трем компонентам указанной системы координат;
 - *Ребро–границы* – приложение усилия к выбранному ребру с использованием вспомогательной грани для указания компонент в плоскости и из плоскости этой грани;
- в соответствии с выбранным типом приложения усилий указываются объекты, величины и направления;
- *Распределение* – выбор способа распределения на объекты.

С помощью этой команды можно приложить любое усилие, остальные команды служат для упрощенного задания усилий отдельных видов.

Давление смятия – задание давления на цилиндрическую грань или круговое ребро с указанным углом раствора по выбранному закону распределения: синусоидальный или параболический .

Крутящий момент – моделирование крутящего момента путем приложения касательных усилий на выбранную цилиндрическую грань, при этом нагрузка эквивалентна заданному значению крутящего момента.

Давление, Давление в узлах – команды приложения давления на грани с постоянным значением в пределах элемента или с разными значениями в узлах грани элемента

Гидростатическое давление – задание переменного по высоте давления от жидкости при указанной гравитационной константе, плотности и свободной поверхности жидкости.

Центробежное давление – приложение на выбранных объектах центробежного давления, возникающего при вращении тела с учетом жидкости.

Сила тяжести – задание ускорения с указанным значением либо по компонентам, либо для выбранного направления. Объекты выбирать нет необходимости, предполагается, что действие распространяется на всю КЭ модель.

Центробежная нагрузка – приложение центробежной нагрузки, которая возникает от вращения тела. Задаются угловая скорость, ускорение и соответствующее направление. Объекты выбирать нет необходимости, предполагается, что действие распространяется на всю КЭ модель.

Температурная нагрузка – задание известного распределения температуры в объекте для дальнейшего учета температурных деформаций.

Задание ограничений на степени свободы

Помимо силовых условий, для полного описания постановки задачи обычно необходимо задать ограничения на степени свободы. Как известно, каждый узел конечного элемента имеет определенное количество степеней свободы (DOF – degrees of freedom), которые однозначно определяют положение узла в пространстве при деформированном состоянии КЭ модели. Набор или список степеней свободы модели определяется типом элементов, используемых при моделировании. Так, в узлах элементов, работающих на изгиб и кручение (элементы балки и оболочки), определены все шесть компонент смещений (3 трансляционные и 3 поворотные), а в узлах трехмерных элементов определены только перемещения вдоль осей координат – 3 трансляционные. В решателе NX Nastran степени свободы имеют свои обозначения:

- трансляционные $DOF1$, $DOF2$ и $DOF3$ отвечают за направления X , Y и Z соответственно в декартовой системе координат, R , T и Z – в цилиндрической, R , T и P – в сферической;
- $DOF4$, $DOF5$ и $DOF6$ отвечают за повороты вокруг осей систем координат соответственно.

Как и для задания усилия, ограничения могут быть приложены на конечно-элементные и геометрические объекты. В последнем случае при записи файла для решателя ограничения с геометрических объектов переносятся на соответствующие узлы с учетом узловых систем координат. Заметим, что в рамках одной команды при выборе объектов они должны быть одного типа, например если сначала выбираются узлы, то дальнейший выбор граней невозможен.

Рассмотрим существующие команды задания ограничений на степени свободы, доступных для выполнения решения задач механики деформируемых твердых тел (рис.16) в решателе NX Nastran.

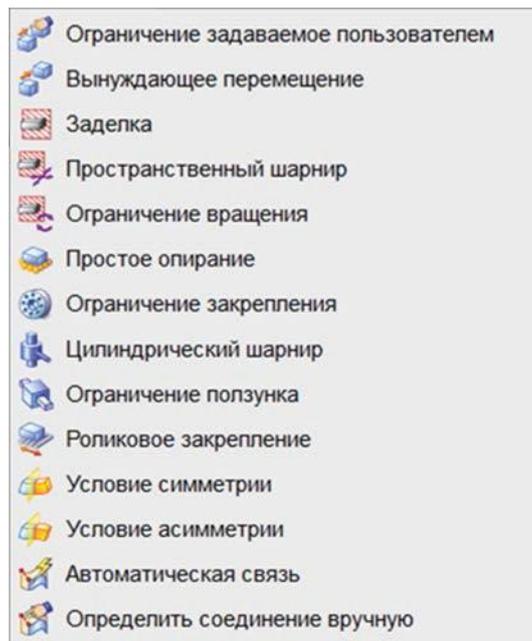


Рис. 16. Типы ограничений

Ограничение, задаваемое пользователем – общее задание условий на степени свободы в указанной системе координат. Этой командой можно охватить все последующие способы задания ограничений

Вынуждающее перемещение – задание постоянного или переменного значений перемещений для выбранных степеней свободы указанных объектов с указанным типом задания:

Заделка– для выбранных объектов закрепляются все шесть степеней свободы.

Пространственный шарнир – закрепляются только три трансляционные степени свободы для объектов.

Ограничение вращения– закрепляются только три поворотные степени свободы для выбранных объектов.

Простое опирание – задание условия простого опирания, определяется вектор для закрепления соответствующей степени свободы, остальные свободы.

Ограничение закрепления – для выбранного цилиндрического объекта создается узловая цилиндрическая система координат, относительно которой закрепляются все степени свободы, кроме окружных перемещений.

Цилиндрический шарнир – для выбранного цилиндрического объекта создается локальная цилиндрическая система координат, относительно которой

ставятся условия закрепления для радиальной, окружной и осевой компонент вектора перемещения.

Ограничение ползунка – определяется вектор, вдоль которого степень свободы свободна, остальные степени свободы закреплены.

Роликовое закрепление – выбирается вектор, относительно которого одна трансляционная и поворотные степени свободы свободны, остальные закреплены.

Условие симметрии, Условие асимметрии – постановка условий симметрии и антисимметрии, соответственно, на гранях плоскости симметрии.

Автоматическая связь – задание условий связи на степени свободы между узлами симметричных или циклически симметричных сеток в автоматическом режиме. Например, для циклически симметричных задач необходимо установить равенство степеней свободы узлов на границах сектора соответственно. При задании этих условий используются такие понятия, как независимые и зависимые узлы, степени свободы которых зависят от степеней свободы независимых узлов. Если ставятся дополнительные условия на ограничения, то они должны прикладываться только к независимым узлам.

Определить соединение вручную – задание уравнений связи на степени свободы между узлами в ручном режиме для указанного типа условий связей:

Для отдельных типов решений становятся доступными для использования и другие ограничения. Например, для динамических расчетов с использованием появляется возможность задавать начальные условия, скорости и ускорения с соответствующими командами, диалоговые окна которых мало отличаются от команды задания вынуждающих перемещений.

Подготовка к решению

После подготовки КЭ расчетной модели в препроцессоре **NX Расширенная симуляция** выполняется расчет задачи в решателе NX Nastran или другой системе численного анализа. При запуске расчета из препроцессора

программа создает входной файл для расчета выбранного решения и затем обрабатывает его в решателе (проводит численное решение системы дифференциальных уравнений).

Для создания необходимого решения и задания типа анализа (рис. 17) достаточно через дерево модели панели **Навигатора симуляции** нажатием правой клавиши мыши на название расчетной модели вызвать выпадающее меню и выбрать **Новое решение**. В появившемся диалоговом меню задать имя нового решения, выбрать *Решатель*, *Тип анализа* и *Тип решения*. При необходимости установить параметры решения, отличные от установленных по умолчанию.

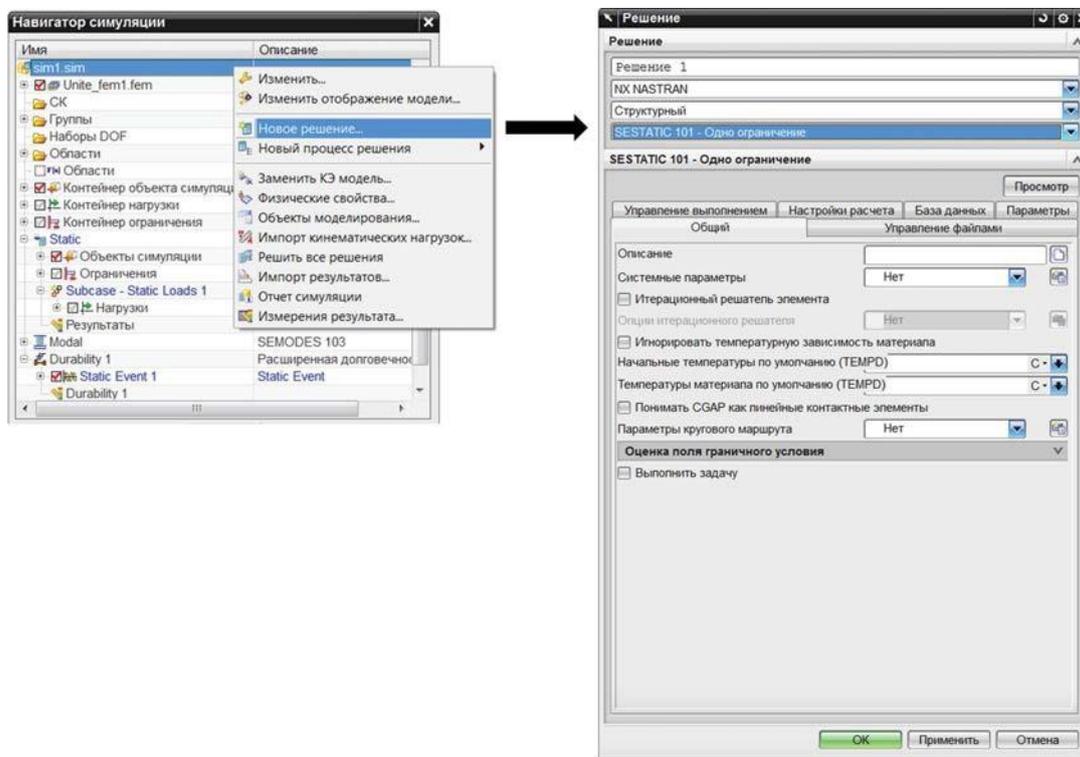


Рис. 17. Создание решения

В дереве модели симуляции созданное решение заполняется объектами расчетной модели. Для изменения параметров решения следует нажатием правой клавиши мыши на название решения вызвать выпадающее меню и выбрать **Изменить**. Каждому решателю соответствует свой набор параметров решений, поэтому в данной главе они не рассматриваются и часть из них будет представлена в последующих главах, посвященных разным анализам и решениям. Помимо этого, существует возможность устанавливать параметры

решателя через команду **Изменить параметры решателя** (для указания исполняющего файла решателя, выделения оперативной памяти, назначения директории для хранения временных файлов и др. Также ряд команд позволяют удалить, переименовать и создать дубликаты решений.

Отметим, что в рамках одной расчетной модели могут одновременно рассматриваться разные типы анализов и решений. Например, могут быть созданы: решение для задач теплопроводности решателя NX Thermal, NX Nastran, решение линейной статической задачи NX Nastran, нелинейный динамический анализ, анализ долговечности и т. д.

Для расчета модели симуляции необходимо в **Навигаторе симуляции** нажать правой клавишей мыши на имени решения и выбрать *Решение...* или на панели инструментов **Расширенная симуляция** выбрать команду *Решение*. В диалоговом окне *Решение* рекомендуется установить флажок *Проверка настройки модели* для исключения ошибок в расчетной модели. Эта опция позволит избежать таких ошибок, как, например, не задан материал, полностью отсутствуют граничные условия, физические свойства определены не полностью и т.п. Также перед запуском на расчет могут устанавливаться параметры решения, решателя и опции создания файла данных расчетной модели для решателя.

Стоит обратить внимание, что сразу после запуска на решение при использовании решателей NX (NX Nastran, NX Thermal/Flow и т. д.) появляется так называемый **Монитор анализа**, в котором можно следить за выполненными решениями, и **Монитор решения**, который в реальном времени отображает процесс решения. Отображаемая информация в виде графиков в отдельных вкладках монитора решения дает возможность оценить стадию расчета, сходимости алгоритмов нелинейных задач, изменение значений предварительно заданных величин динамического анализа и многое другое (рис. 18). Анализ графиков позволяет оценить скорость решения и степень сходимости задач и, возможно, приведет к необходимости изменить

параметры расчетной модели для улучшения производительности процесса решения.

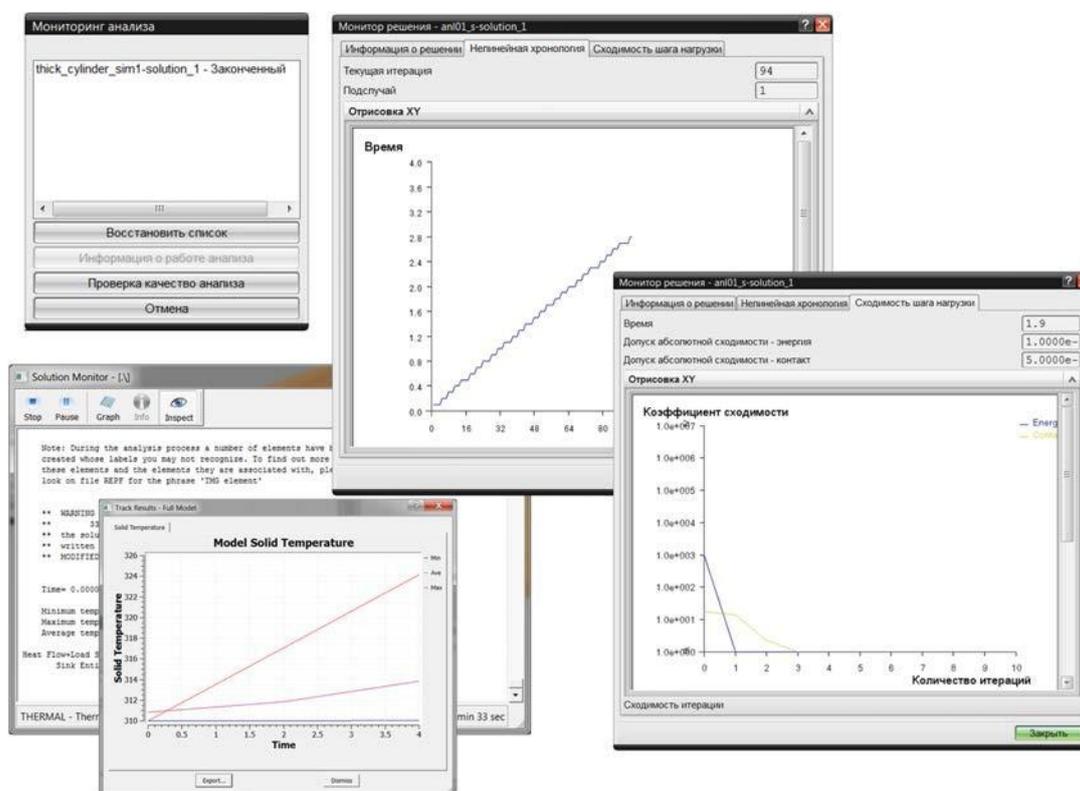


Рис. 18. Мониторинг решения

Об окончании выполнения расчета сигнализирует надпись «Законченный» в мониторе анализа и «Задача выполнена» в мониторе решения. При этом в узле выполненного решения дерева модели вкладки **Навигатора симуляции** появляется узел *Результаты*, двойное нажатие левой клавишей мыши на который открывает вкладку **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами.

Навигатор постпроцессора

Во вкладке **Навигатор постпроцессора** отображаются файлы результатов в виде интерактивного иерархического дерева (дерева результатов). Эта вкладка имеет формат таблицы с двумя столбцами *Имя* и *Описание*. Вызываемое правой клавишей мыши в зоне заголовков столбцов контекстное меню позволяет свернуть все раскрытые узлы (*Свернуть все*), раскрыть все узлы (*Раскрыть все*), осуществить *Экспорт в браузер*, *Экспорт в электронную таблицу* (рис. 19).

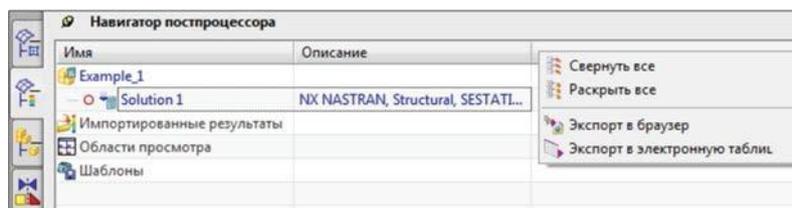


Рис. 19. Вкладка Навигатор постпроцессора

Названия всех загруженных во вкладке **Навигатор симуляции** расчетных моделей (имена открытых *SIM* файлов) отображаются во вкладке **Навигатор постпроцессора**. Узел дерева результатов, соответствующий активной расчетной модели, подсвечивается и выделяется синим цветом, а узлы неактивных расчетных моделей отображаются серым цветом. Если в расчетной модели не заданы решения, то в дереве результатов присутствует только узел с именем *SIM* файла. Как только в расчетной модели создается новое решение, в дереве результатов под соответствующим узлом появляется новый объект с именем созданного решения.

После успешного решения задачи создается файл результатов с расширением *or2*. Загрузка результатов решения для их отображения и анализа выполняется одним из следующих способов:

- в дереве модели во вкладке **Навигатор симуляции** двойным щелчком мыши по узлу результатов *Results*. После этого происходит автоматический переход в **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами (рис. 20);
- во вкладке **Навигатор постпроцессора** двойным щелчком мыши по узлу с названием проведенного решения.

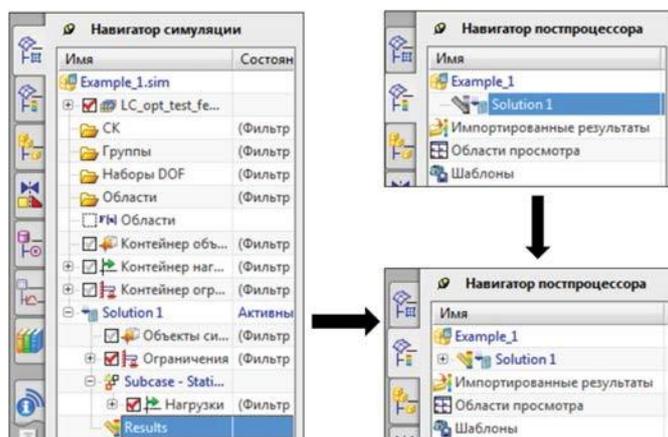


Рис. 20. Загрузка результатов расчета в постпроцессор

При успешном выполнении загрузки результатов индикатор текущего статуса узла результатов поменяется с серого на цветной.

В процессе решения задачи вычисляются физические величины, которые могут быть скалярными, векторными или тензорными. Например, температура и давление являются скалярными величинами, перемещение и сила реакции – векторными, а напряжения и деформации – тензорными. При этом векторные величины содержат три компоненты, тензорные – три нормальные и три касательные либо три главные компоненты. Помимо этого, для тензорных величин (напряжения и деформация) существуют еще вычисленные величины: эквивалентные величины по Мизесу и по Треска, октаэдрические, средние. Для примера на рис. 21 представлено дерево результатов во вкладке **Навигатор постпроцессора**, характерных для задач механики деформируемого твердого тела.

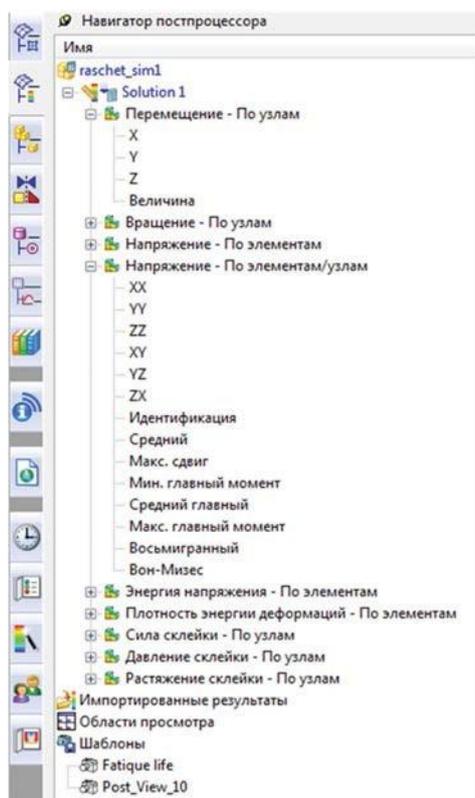


Рис. 21. Дерево результатов

Существуют три типа представления результатов по вычисленным в узлах значениям:

По узлам– существует одно значение результата для каждого узла;

По элементам – значение результата определяется для центроида каждого элемента;

По элементам/узлам – значение результата существует для каждого узла на элементе. При этом если узел является общим для нескольких элементов, то узел будет содержать несколько значений результатов. Значение результата в центроиде рассчитывается путем определения среднего значения из всех узловых результатов для элемента.

Стоит отметить, что набор результатов зависит от типа решаемой задачи. В следующей таблице представлены основные типы результатов для задач механики деформируемого твердого тела.

Таблица 2

Величина	Тип величины
Смещение	Вектор
Поворот	Вектор
Напряжения	Симметричный тензор
Деформация	Симметричный тензор
Энергия деформации	Скаляр
Плотность энергии деформации	Скаляр
Приложенная нагрузка	Скаляр
Сила	Вектор
Момент	Вектор
Температура	Скаляр
Тепловой поток	Вектор
Градиент температуры	Вектор
Контактные силы	Вектор
Контактное давление	Скаляр
Коэффициент запаса	Скаляр
Усталостный ресурс	Скаляр