

**Методические материалы
по дисциплине
«Современные системы CAD/CAE в машиностроении»**

*Организационно-методические материалы по изучению дисциплины
«Современные системы CAD/CAE в машиностроении».*

Дисциплина «Современные системы CAD/CAE в машиностроении» относится к базовому циклу дисциплин по подготовке бакалавров направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» профиль «Технология машиностроения». Дисциплина содержит теоретическую и практическую части. Каждая часть имеет как аудиторную работу с преподавателем, так и самостоятельную работу. Рабочая программа дисциплины разработана на основе государственных образовательных стандартов ФГОС ВО и отвечает требованиям по распределению бюджета времени на изучение дисциплины между аудиторной и самостоятельной работой.

Теоретическая часть дисциплины содержит- 5 разделов:

1. Элементы управления CAD
 - основные понятия чертежа; методы построения чертежа; краткие инструкции по интерфейсу пользователя; управление документами; окно текущего чертежа; создание и редактирование элементов чертежа; задание общих параметров элементов системы; управление видимостью элементов.
2. Основы. 2D проектирование и черчение
 - элементы построения; создание изображения чертежа; редактирование чертежа; замена элементов; переменные; работа в редакторе переменных; элементы управления; создание диалога; создание сборочных чертежей; оформление чертежей.
3. Трёхмерное моделирование. 3D
 - 3D моделирование ; элементы и операции в 3D; Работа с окном 3D вида; 3D элементы построения; Основные операции 3D моделирования; сборочные 3D модели; 2D проекции. создание чертежей по 3D моделям; сервисные 3D инструменты и элементы; инструменты анализа 3D модели.
4. Конечно-элементный
 - модели; обработка результатов; статический анализ; динамический анализ
5. Динамические расчёты и анализ пространственных механических систем
 - правила выполнения динамического расчёта; создание нагрузений; создание датчиков; Выполнение расчёта

Краткий конспект лекций

I. СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ

1.1. CAD/CAE.

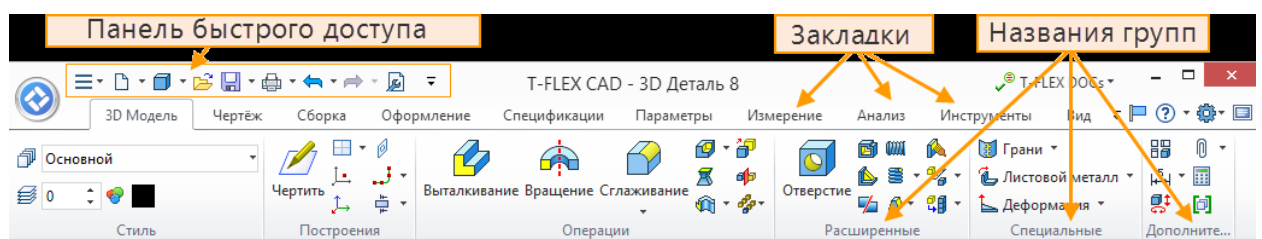
CAE (англ. Computer-aided engineering) — общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (см.: метод конечных элементов, метод конечных объёмов, метод конечных разностей и др.).

Современные системы инженерного анализа (или системы автоматизации инженерных расчётов) (CAE) применяются совместно с CAD-системами (зачастую интегрируются в них, в этом случае получают гибридные CAD/CAE-системы).

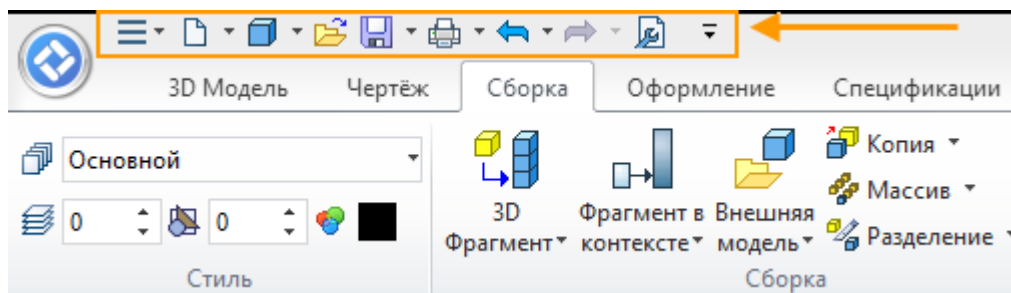
CAE-системы — это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

1. Ленточный интерфейс

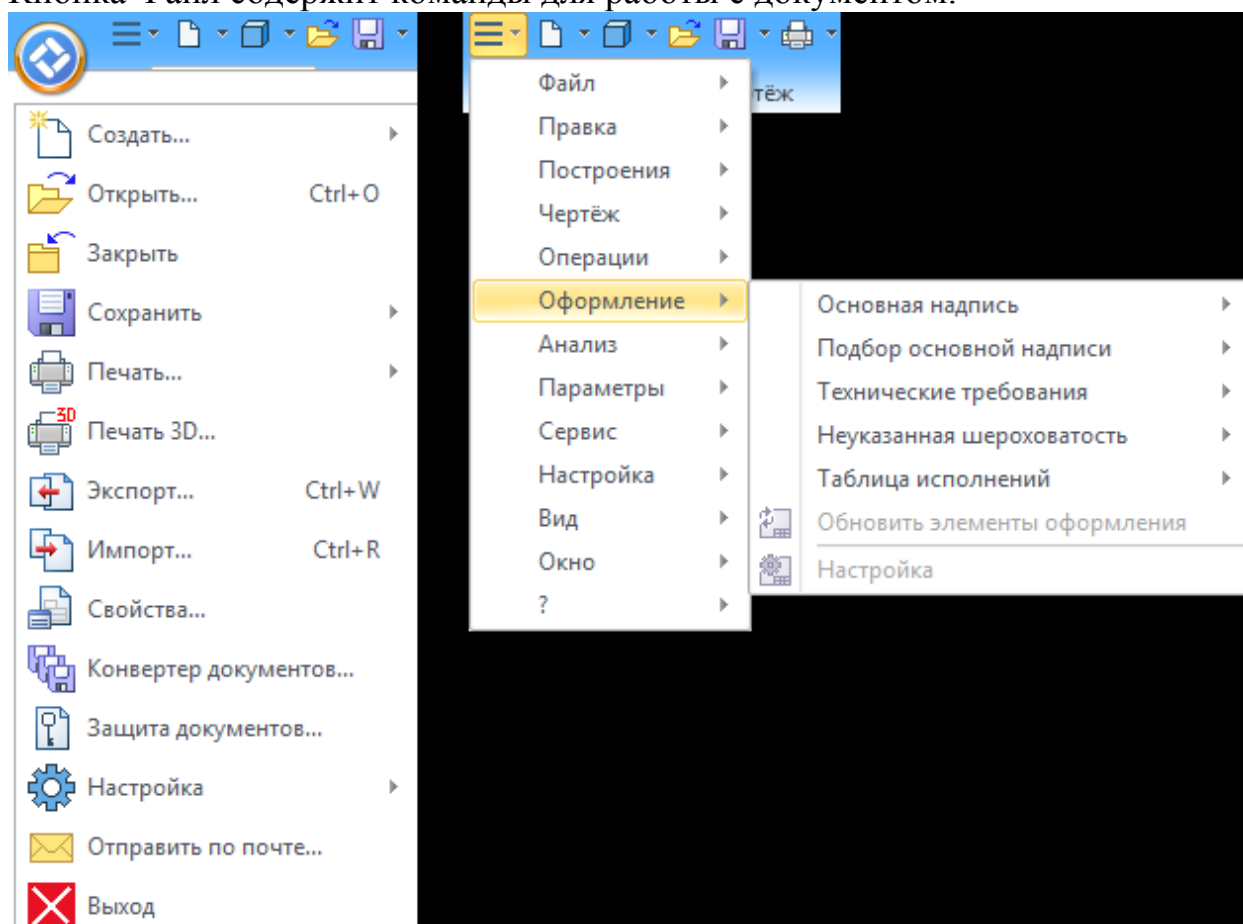
В ленточном интерфейсе команды распределены по вкладкам. Название каждой вкладки отражает содержимое. Иконки команд объединены в группы.



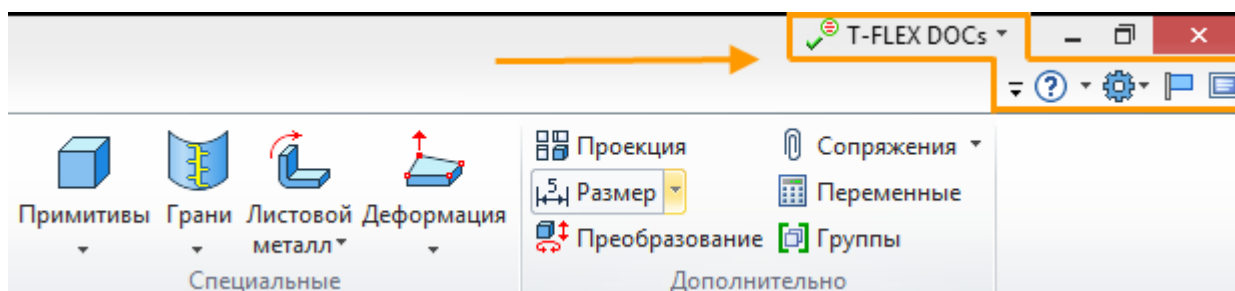
В заголовке окна находится панель быстрого доступа, на которой расположены команды для работы с документом: 2D Деталь, 3D Деталь, Открыть, Сохранить, Отменить действие, Повторить действие. Эти команды доступны всегда и не зависят от активной вкладки. Здесь же находится команда вызова команды Параметры документа.



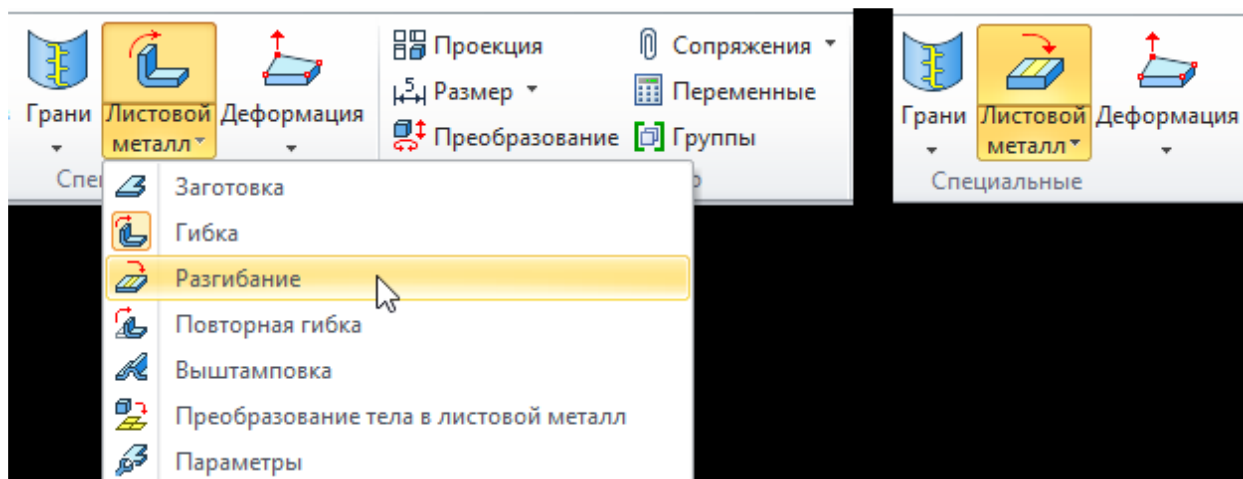
Кнопка Файл содержит команды для работы с документом.



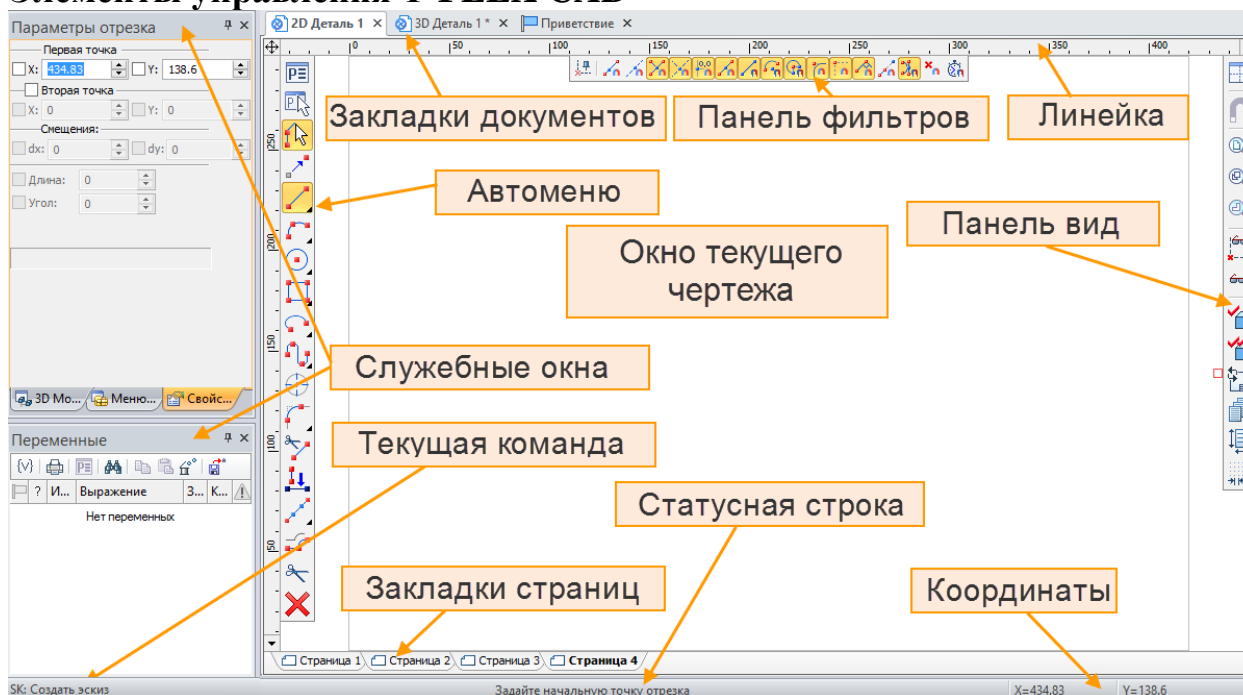
В правом верхнем углу находятся: поле для отображения интеграции с системой T-FLEX DOCs, выпадающее меню справки, выпадающее меню настроек системы, команда для отображения окна приветствия, команда для включения полноэкранного режима.



Если несколько равноценных команд в ленте объединены в выпадающий список, то последняя выбранная команда запоминается.



Элементы управления T-FLEX CAD



Линейка показывает координаты по осям X и Y текущего окна чертежа.

Окно текущего чертежа - окно для вывода изображения чертежа. Создание и редактирование чертежей происходит только в этом окне.

Автоменю - пиктографическое меню, показывает доступные опции текущей команды. Если не задана текущая команда, поле остаётся пустым.

Статусная строка содержит имя текущей команды, подсказку для пользователя, значения текущих координат X и Y, а также значение дополнительной координаты (в зависимости от текущей команды).

Закладки страниц служат для быстрого перемещения по страницам текущего многостраничного документа. Для перехода на нужную страницу необходимо выбрать её закладку. Если страница документа скрыта, соответствующая ей закладка не отображается.

Закладки документов служат для быстрого перемещения по открытым документам. Для перехода в окно нужного документа необходимо выбрать его за-

кладку.

Конфигурация диалоговых элементов управления T-FLEX CAD (присутствие и положение элементов) может быть изменена по желанию пользователя. Для этого можно воспользоваться пунктом меню Настройка > Окна или Настройка > Настройка....

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЧЕРТЕЖА

Система T-FLEX CAD использует при создании чертежа несколько типов элементов.

Элементы построения. Формируют каркас чертежа. С ними связаны элементы изображения, которые и являются тем реальным изображением, которое мы хотим в итоге получить. К элементам построения относятся линии построения и узлы. Линии построения и узлы – основные элементы, формирующие параметрическую модель чертежа. По аналогии с черчением их можно сравнить с тонкими карандашными линиями, которые затем обводятся тушью. С помощью задания различных типов линий построения и узлов устанавливается взаимосвязь элементов построения и определяется порядок расчёта их положения при параметрическом изменении чертежа. Они присутствуют только на экране и не выводятся на принтер или плоттер, а также не экспортируются.

Элементы изображения. Формируют изображение чертежа. К элементам изображения относятся линии изображения, размеры, тексты, штриховки, допуски формы и расположения поверхностей и т.д. Они могут «привязываться» к элементам построения. В этом случае, при изменении положения линий построения и узлов, элементы изображения изменяют своё положение, что и является основной идеей параметризации в T-FLEX CAD. Эти элементы составляют изображение чертежа при выводе на принтер и плоттер.

К вспомогательным элементам, используемым в системе, относятся переменные, базы данных, отчёты, а также некоторые другие служебные данные.

3. Элементы построения

Линии построения - это базовые элементы параметрической модели в T-FLEX CAD. Они являются тонкими конструктивными линиями, с помощью которых вы создаёте параметрический каркас вашего чертежа. К линиям построения относятся бесконечные прямые, окружности, эллипсы, сплайны, эквидистанты, функции, пути. На экране линии построения отображаются в виде штриховых линий.

Типы линий построения и методы их создания подробно описаны в следующих главах. Используя различные способы создания линий построения, вы тем самым определяете, как будет изменяться ваш чертёж при изменении положения какой-либо линии построения, поскольку остальные линии будут каким-либо образом связаны с ней.

Узел - это точка, положение которой зависит от способа его создания и

взаимосвязи с другими элементами модели. Узлы также являются базовым элементом создания параметрической модели в T-FLEX CAD.

4. Элементы изображения

Линии изображения - линии, формирующие основное изображение чертежа. К линиям изображения относятся отрезки прямых между двумя узлами, полные линии построения (окружности, сплайны и т.д., кроме бесконечных прямых), а также участки линий построения, ограниченные двумя узлами.

Линии изображения могут быть различных типов (сплошные, основные, сплошные тонкие, штриховые, штрихпунктирные и т.д.). Они привязываются к узлам и линиям построения.

Штриховки и заливки - замкнутые одноконтурные или многоконтурные области, заполненные различными способами. Контуры штриховок привязываются к узлам и линиям построения. При изменении положения узлов изменяются контуры штриховок. При этом автоматически изменяется заполнение штриховок в соответствии с изменением контуров.

Размер - стандартный элемент оформления чертежей. Состоит из совокупности линий и текстовой информации. Размер создаётся на основе линий построения и узлов. Система T-FLEX CAD поддерживает простановку размеров нескольких стандартов: ЕСКД, ANSI, архитектурный ANSI. Размеры автоматически изменяются при параметрическом изменении чертежа.

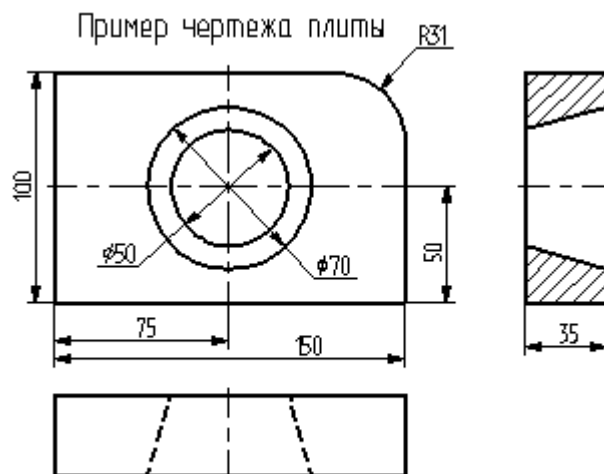
Параметрический чертёж. Это основной режим работы системы T-FLEX CAD. Используя преимущества параметрического проектирования T-FLEX CAD, вы можете создать чертёж, который будет легко изменяться по вашему желанию. Также вы можете использовать этот чертёж в качестве элемента параметрической библиотеки для использования его в других, более сложных, чертежах. При этом вы можете задавать его положение и параметры для изменения изображения.

Непараметрический чертёж - эскиз. То есть чертёж, созданный аналогично большинству известных CAD-систем. Чертёж строится с использованием стандартного набора функций создания различных примитивов (отрезков, дуг, окружностей, эллипсов, сплайнов и т.п.)

и механизма объектных привязок. Такие чертежи не обладают преимуществами параметрических чертежей по эффективному изменению параметров (размеров), однако их создание в ряде случаев происходит быстрее и может дать выигрыш в тех случаях, когда не требуется существенная последующая модификация.

Создание параметрического чертежа

Приведённый ниже рисунок представляет собой чертёж, который мы собираемся создать. Это -плита со сквозным коническим отверстием. Чертёж будет представлен в параметрическом виде, поэтому любые модификации будут автоматически отображаться на всех проекциях.



Начнём построения с главного вида плиты. Вначале выполним построения в тонких линиях (линиях построения), а затем сделаем обводку линиями изображения. Далее, используя линии построения основного вида, построим две проекции, с тем, чтобы они изменялись при изменении основного вида. Используя отношения между линиями построения, свяжем проекции между собой. Затем нанесём текст и размеры.

Ещё раз отметим, что каждая команда системы может быть вызвана различными способами: вводом названия в командной строке при помощи клавиатуры, выбором из текстового меню или при помощи инструментальной панели.

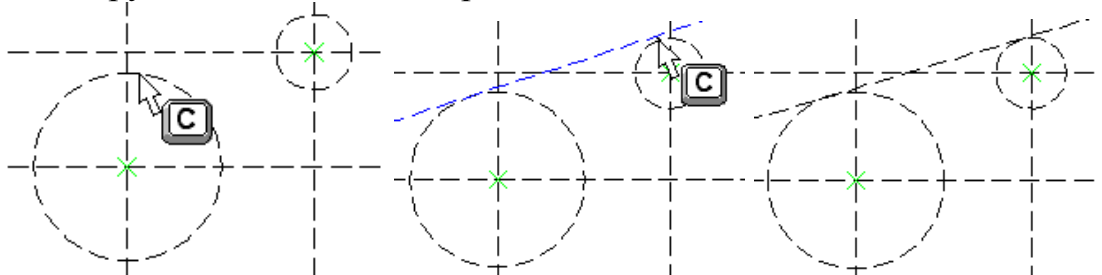
5. Элементы построения

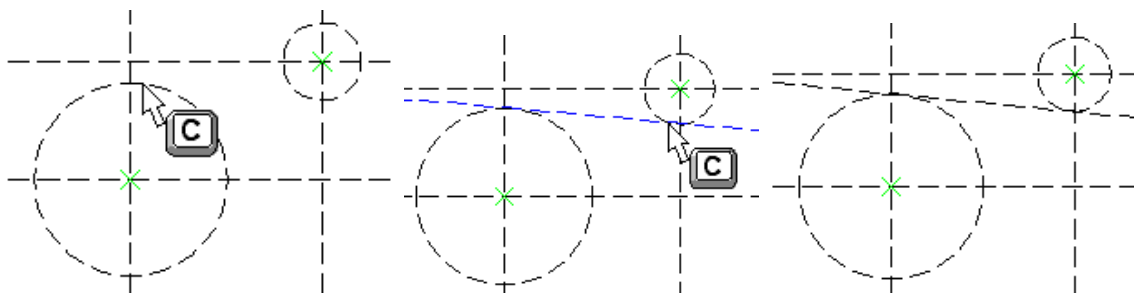
Прямые

Под понятием “прямая” принято считать бесконечные прямые, которые относятся к элементам построения и служат в основном для создания параметрического каркаса чертежа. На экране отображаются в виде тонких штриховых линий.

Существуют различные способы создания прямых. Некоторые прямые являются независимыми от других элементов построения (например, просто горизонтальная или вертикальная прямая). Эти прямые, как правило, являются самыми первыми линиями на чертеже. Создав вертикальную и горизонтальную линии, вы тем самым создаете базовые линии, относительно которых будут построены все остальные.

Другие линии требуют при своем создании указания связанных с ними элементов. Например, прямая, касательная к двум окружностям, требует указания окружностей, а также варианта касания.





Ряд способов построения прямых требует задания какого-либо численного геометрического параметра. Например, построение прямой, параллельной другой прямой и располагающейся от неё на каком-либо расстоянии. В этом случае необходимо, помимо указания исходной прямой, задать расстояние между прямыми.

При построении прямых необходимо учитывать, что после создания одной прямой определённого типа команда остаётся в режиме построения прямых этого типа. Например, выбрав опцию <X> и построив две пересекающиеся прямые, можно, не выбирая эту опцию повторно, снова построить две пересекающиеся прямые. Такая возможность позволяет ускорить построение прямых линий одного типа.

Окружности

Окружности в T-FLEX CAD строятся аналогично прямым - при помощи установления их геометрических связей с другими элементами построения. Такими связями могут быть положение центра окружности в узле, касание к прямой, касание к окружности, прохождение через узел, концентричность другой окружности, симметричность другой окружности.

Окружности в T-FLEX CAD можно отнести к двум основным категориям:

- окружности, радиус которых можно задать числовым значением (например, окружность с центром в узле или окружность касательная к двум прямым);
- окружности, положение и радиус которых определяются построениями (например, окружность, проходящая через три узла).

Если окружность имеет численный параметр (радиус), то он может быть задан константой, переменной или выражением. Для задания численного параметра можно использовать окно свойств. Создаются окружности в команде "С: Построить окружность". Отношения, задаваемые при создании окружности, могут быть изменены.

Эллипсы

Эллипсы в T-FLEX CAD строятся аналогично окружностям – при помощи установления их геометрических связей с другими элементами построения. Такими связями могут быть положение центра эллипса в узле, касание к прямой, касание к окружности, прохождение через узел, симметричность другому эллипсу. На экране эллипсы, как и другие элементы построения, отображаются тонкой штриховой линией.

Эллипсы в T-FLEX CAD можно отнести к двум основным категориям:

- эллипсы, размер которых можно задать числовым значением;

- эллипсы, положение и размер которых определяется построением.

Эллипсы, построенные на основе 2D проекции, 2D фрагмента или копии

Такие эллипсы можно создать тогда, когда система работает в режиме объектной привязки, а также установлен соответствующий параметр в команде “SO: Задать установки системы” на закладке “Привязки”. Подведите курсор к линии изображения, являющейся эллипсом или дугой эллипса и принадлежащей 2D проекции, 2D фрагменту или копии. Линия подсветится. Нажмите. На основе выбранной линии будет построен эллипс.

Узлы

Узел является точкой, координаты которой рассчитываются в зависимости от его параметров или положения других элементов модели. Узлы являются важными элементами построения T-FLEX CAD. Они являются начальными и конечными точками линий изображения. Они напрямую участвуют при создании большинства элементов изображения. Важную роль играют узлы и при создании линий построения.

Сплайны

С помощью линий построения – сплайнов вы можете задавать различные кривые линии. В отличие от линий построения – прямых, сплайны имеют конечную длину. В целом же принципы работы со сплайнами не отличаются от других линий построения: на пересечении или в точке касания может быть создан узел, по сплайну может быть создана линия изображения или сегмент контура штриховки. Для выбора сплайнов в различных командах используется опция <S> (эта же клавиша используется для выбора других кривых – функций, эквидистант, путей). В системе T-FLEX используются сплайны типа NURBS.

Эквидистанты

Эквидистанта – это равноудаленная кривая к любому геометрическому объекту. Создается эквидистанта на базе уже существующих кривых (сплайнов, эллипсов, функций), ее внешний вид определяется видом кривой и величиной смещения, которая может быть задана с помощью переменной.

Для таких элементов системы, как окружность и прямая, предусмотрено построение равноудаленных линий (эквидистант) непосредственно при их построении. Наиболее типичным применением эквидистанты является вычерчивание трубопроводов. Очень удобно провести только осевую линию, а затем построить эквидистантные линии контуров самой трубы. Кроме того, эквидистанты широко применяют при разработке строительных и архитектурных чертежей.

Пути

Путь – это линия построения, проходящая через последовательную цепочку узлов. Участки между узлами могут быть прямолинейными, либо являться частью линии построения, проходящей через данные два узла. Можно использовать линии построения: прямые, окружности, эллипсы, сплайны, а также уже существующие пути.

Линии изображения

Линии изображения - это основные графические элементы, формирующие собственно изображение. По аналогии с работой за чертежной доской: линии изображения - это линии, обведенные тушью. Линии изображения создаются на основе линий построения и узлов.

Существуют следующие виды линий изображения:

Отрезок прямой между двумя узлами. Начало и конец линии изображения определяются положением этих узлов.

Полная линия построения. Такая линия изображения задаётся только линией построения. В качестве задающей линии построения может служить линия построения любого типа, за исключением прямой (так как она бесконечна).

Участок линии построения, ограниченный двумя узлами. Такая линия изображения задаётся линией построения, определяющей ее форму и двумя узлами, определяющими ее границы.

При создании линий изображения можно использовать собственные типы линий. Описание способа создания собственного типа линии приведено в главе “Создание пользовательских линий и штриховок”.

Штриховки, заливки

Для нанесения штриховок или заливок необходимо использовать команду “Н: Создать штриховку”. Штриховки, помимо своего прямого назначения, используются в некоторых других целях: в качестве контуров удаления невидимых линий, в качестве профилей, а также в качестве исходных данных для создания трехмерных моделей (в T-FLEX CAD 3D).

Размеры

В T-FLEX CAD поддерживаются все типы размеров, предусмотренные стандартами ЕСКД, ANSI и AR_ANSI. Функции работы с размерами в T-FLEX CAD удобны и легки в работе, как в прочем, и команды для других элементов оформления чертежа.

В системе T-FLEX CAD размеры привязаны к прямым линиям построения или изображения и узлам, за исключением радиальных и диаметральных, положение которых определяется положением окружности, на которой они проставлены.

2. Трёхмерное моделирование

1. Общие параметры 3D элементов

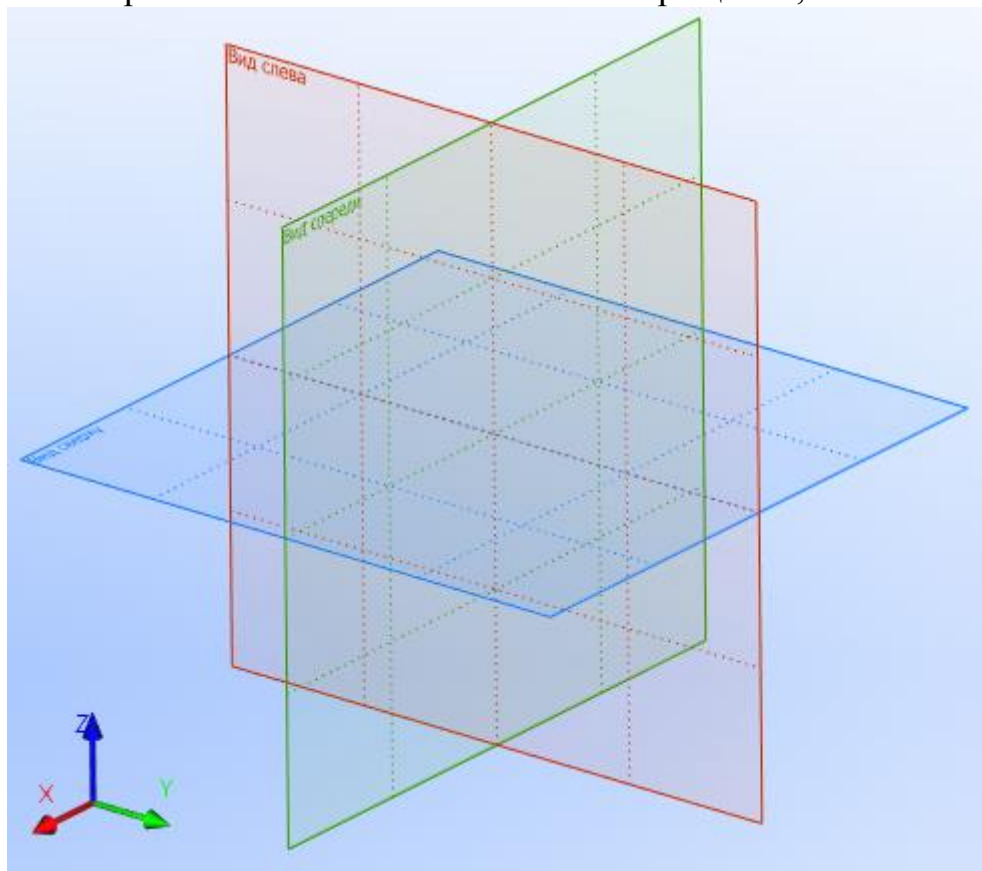
Все 3D элементы имеют определённый набор параметров. Некоторые из этих параметров являются общими для всех объектов системы, независимо от размерности, некоторые – только для 3D элементов. Некоторые параметры присущи только конкретным типам объектов. Для того, чтобы не описывать подробно общие параметры в каждой главе, сделаем это отдельно один раз, а в главах, посвященных отдельным элементам, будем останавливаться только на специальных параметрах.

2. 3D Элементы построения

Рабочие плоскости

Рабочая плоскость – это вспомогательный 3D элемент построения, представляющий собой образ геометрической плоскости. Основное назначение рабочей плоскости – перенос двухмерных объектов чертежа в трёхмерное пространство, создание на их основе плоских 3D элементов построения (3D узлов, 3D профилей, 3D путей и т.п.). Каждая рабочая плоскость связана с определённой страницей 2D чертежа. Можно сказать, что рабочая плоскость является связующим звеном между страницами 2D чертежа и трёхмерным пространством.

Кроме того, рабочие плоскости используются как вспомогательные элементы во многих 3D операциях. Например, с их помощью может задаваться плоскость рассечения тела в операции “Отсечение” или положение секущей плоскости при создании сечения. Нормалью к рабочей плоскости может быть определено направление выталкивания или ось вращения, и т.п.



3. Рабочие поверхности

Рабочие поверхности – это вспомогательные 3D элементы, представляющие собой образ геометрической поверхности определённого типа. В качестве таких поверхностей могут использоваться цилиндр, сфера и тор. По функциональному назначению рабочие поверхности схожи с рабочими плоскостями. В основном они предназначены для переноса 2D объектов чертежа в 3D пространство. Каждая рабочая поверхность всегда связана с параметрической областью, расположенной на странице 2D чертежа. На основе плоского 2D изображения, лежащего на данной странице, можно создать вспомогательные 3D элементы (3D узлы, 3D профили, 3D пути), которые будут лежать на со-

ответствующей рабочей поверхности – цилиндре, сфере или торе.

4. Способы создания рабочих поверхностей

Существует три способа создания рабочей поверхности:

1. Создание рабочей поверхности по существующей геометрической поверхности соответствующего типа (поверхности под гранью, 3D профилем, другой рабочей поверхностью). Этот способ был применён в описанных выше примерах.
2. Создание произвольной рабочей поверхности (т.е. без привязки к имеющимся в 3D модели геометрическим поверхностям) в 3D окне.
3. Создание произвольной рабочей поверхности на основе 2D построений (в 2D окне).

3D Узлы

3D узел – это элемент T-FLEX CAD, обозначающий точку в трёхмерном пространстве. Основное применение 3D узлы находят в качестве точек для привязки других трёхмерных объектов:

дополнительных рабочих плоскостей, профилей, локальных систем координат и т.д. С помощью 3D узлов можно задавать объекты, необходимые для выполнения операций, например, вектор выталкивания, ось вращения.

3D Профили

3D профиль - один из наиболее важных элементов в T-FLEX CAD 3D. 3D профиль – контур, который ориентирован в трёхмерном пространстве, в соответствии с ориентацией тех элементов, на основе которых он создавался (рабочей плоскости или поверхности, грани или набора рёбер).

3D профиль может быть создан на основе параметрического 2 D контура, расположенного на странице рабочей плоскости. Это позволяет перенести параметрические свойства двухмерных чертежей в сферу твердотельного моделирования.

Перемещение профиля каким-либо образом в пространстве является основой процесса создания объёмного тела.

Типы профилей

По способам создания все 3D профили можно разделить на пять групп:

1. Профили, создаваемые на основе 2D элементов – штриховок.
2. Профили, создаваемые на основе 2D элементов – текстов.
3. Профили, создаваемые на основе 2D элементов – линий изображения.
4. Профили, создаваемые на базе элементов трёхмерного тела – циклов (замкнутая последовательность рёбер) или граней.
5. Профили, построенные с использованием уже существующих профилей. Например, можно копировать профили, создавать профили-эквидистанты. Также можно спроецировать или постелить существующий профиль на трёхмерное тело или на какую-нибудь отдельную грань.
6. Профили, построенные как развёртка поверхности или набора поверхностей.

3D Пути

3D путь используется как вспомогательный 3D элемент во многих 3D операциях системы. Он представляет собой пространственную кривую, которая

может состоять из сегментов различного типа.

Любой 3D путь имеет направление и, соответственно, начальную и конечную точки. Направление 3D пути будет влиять на результат его использования в различных операциях. 3D путь может быть открытым и замкнутым. У замкнутого 3D пути начальная и конечные точки совпадают.

5. Способы создания 3d путей

- Создание 3D путей на основе уже существующих 3D элементов:
 - 3D путь на основе последовательности связанных рёбер;
 - 3D путь как 3D сплайн по 3D точкам;
 - 3D путь по последовательности 3D путей;
 - 3D путь как проекция 3D пути на грань;
 - 3D путь – копия уже существующего 3D пути;
 - 3D путь как линия очерка;
 - 3D путь – эквидистанта к кривой (3D пути), лежащей на поверхности;
 - 3D путь на основе сечения тела плоскостью;
 - 3D путь с параметрическим изменением 3D узла.

6. Основные операции 3D моделирования

Выталкивание

Операция выталкивания позволяет создавать тела перемещением формообразующего элемента (контура выталкивания). В системах твердотельного моделирования операция выталкивания используется, как правило, чаще других.

В операции можно создать два вида выталкивания: выталкивание по произвольному вектору и выталкивание по нормали к поверхности исходного контура. Вид выталкивания определяет направление и способ создания выталкивания.

В качестве контура выталкивания можно использовать объекты с проволоочной и листовой геометрией. Результатом выталкивания являются листовые или твёрдые тела в зависимости от типа геометрии контура.

Длину выталкивания (т.е. начало и конец выталкивания) можно задавать различными способами, в том числе ограничивая её другими элементами модели.

Трёхмерное моделирование

Вращение

результатом выполнения операции вращения является тело, образующееся при вращательном перемещении формообразующего элемента (контура вращения) вокруг пространственной оси.

поверхность профиля может располагаться произвольным образом относительно оси, но не должна пересекать её. плоский контур не должен быть перпендикулярен оси вращения.

в качестве контура вращения можно использовать объекты с проволоочной и листовой геометрией. результатом вращения являются листовые или твёрдые тела.

ось вращения можно задать любыми подходящими 3d элементами: 3d узлами, ребром, осью поверхности вращения, осью системы координат и т.д.

Булева операция

Булева операция предназначена для создания нового тела на основе двух или более уже существующих тел. В результате выполнения операции создаётся новое тело, являющееся комбинацией исходных тел.

Сглаживание рёбер

Операция сглаживания рёбер предназначена для получения сопряжения двух или более соприкасающихся поверхностей, принадлежащих одному телу. Сглаживание можно производить как над твёрдыми телами, так и над листовыми.

Существует несколько способов сопряжения:

- фаска (смещение; длина-угол);
- скругление;
- скругление с переменным радиусом (круговое, эллиптическое).

В результате выполнения операции ребро, являющееся пересечением двух граней, заменяется дополнительной поверхностью (поверхностью сглаживания), обеспечивающей требуемый переход от поверхности одной грани к поверхности другой.

В операции сглаживания рёбер доступен специальный режим диагностики, позволяющий в процессе создания операции оперативно оценивать возможность и причины возникновения ошибок.

6. Виды сглаживания

Скругление – это наиболее часто используемый вид сглаживания. Вдоль выбранного ребра формируется поверхность плавного перехода от одной грани к другой, с условием, чтобы в каждом сечении этой поверхности, построенном перпендикулярно ребру, получалась дуга окружности заданного радиуса.

Для того чтобы легче понять, как образуется поверхность скругления, представьте себе шарик заданного радиуса, который катится вдоль выбранного ребра и касается прилегающих к этому ребру поверхностей. Катящийся шарик образует след, который является поверхностью сглаживания для данного ребра. Для заданной группы рёбер поверхность может быть сформирована в один или несколько проходов, например, если разные рёбра скругляются разными радиусами. В местах сопряжения нескольких поверхностей сглаживания иногда может

получаться сложная сплайновая поверхность.

В зависимости от того, какой угол образуют грани скругляемого ребра – выпуклый или вогнутый, операция может как добавлять, так и удалять материал.

Сглаживание граней

Операция сглаживания граней позволяет строить поверхность перехода от одного набора гладко сопряженных граней к другому.

Наборы сглаживаемых граней не обязаны иметь общие рёбра (пересекаться). Сглаживание можно производить как над твёрдыми телами, так и над листовыми. Команда имеет много настроек для управления формой поверхности

перехода, задания условий обрезки, ограничений и др. Не следует рассматривать данную операцию как альтернативу операции сглаживания рёбер. Эти два подхода со своими плюсами и минусами удачно дополняют друг друга.

Дополнительной возможностью операции является построение поверхности перехода (сглаживания) от набора рёбер проволочного тела к набору граней (сглаживание типа “кривая-грань”). Результирующее тело в этом случае одной стороной будет проходить по рёбрам проволочного тела, а другой по указанному набору граней. Данный вариант сглаживания имеет много ограничений.

Сечения

Сечения служат для определения формы поверхности в первом направлении. Для создания операции в самом простом случае достаточно выбрать как минимум два сечения. Сечение может представлять собой листовой или проволочный объект. Проволочный объект может быть как замкнутым, так и разомкнутым. О дно сечение может быть составлено из нескольких частей, которые можно свободно добавлять и удалять в процессе задания операции.

Набор объектов, составляющих одно сечение, должен иметь геометрию одного типа. Например, одно сечение может составлять набор путей и рёбер, или набор сопряженных граней.

Контуров всех сечений, по которым строится результирующая поверхность, должны быть одного типа: либо замкнутые, либо разомкнутые. Исключение составляет случай создания тела типа «тюбик», когда основной набор задан замкнутыми сечениями, а первое или последнее сечение задано разомкнутой «проволокой». Для успешного создания такого тела необходимо строго соблюдения ряд условий при задании точек соответствия.

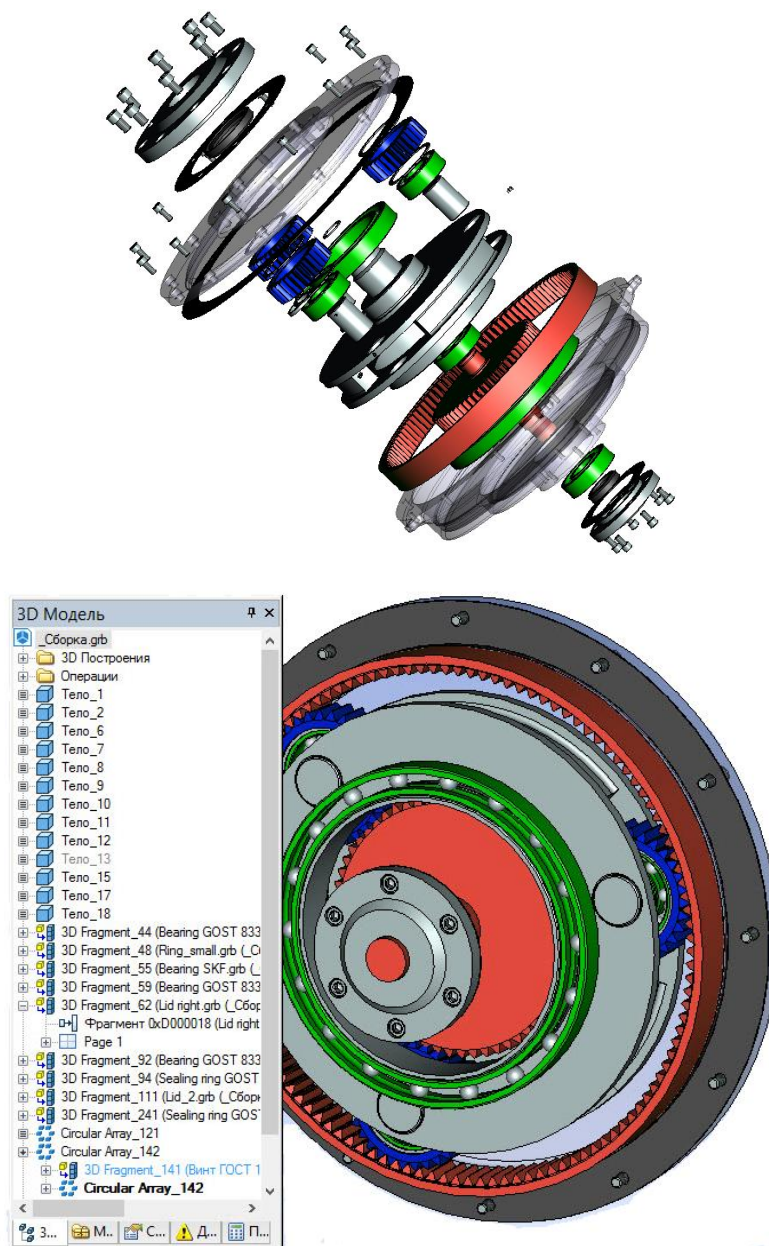
7. Сборочные 3D модели

Что такое трёхмерная сборочная модель?

Под сборочной трёхмерной моделью понимается такая модель T-FLEX CAD, в составе которой участвует геометрия других 3D моделей, хранящихся в отдельных файлах. Компонентом сборки может служить 3D модель, созданная в T-FLEX CAD, либо модель другой системы, переданная в T-FLEX CAD в одном из поддерживаемых обменных форматов. Следует понимать, что сборочной конструкцией (с точки зрения её сути) конструктор в принципе для себя может считать модель, созданную на основе не отдельных файлов-деталей, а из элементов-операций одного документа, поскольку система T-FLEX CAD поддерживает такую функциональность. Но такой документ назвать сборочным нельзя, потому что в нем отсутствуют ссылки на геометрию, взятую из других документов.

В сборочном документе всегда сохраняется связь с документом элемента сборки (детали). При работе со сборкой система следит за состоянием используемых файлов. В случае изменения файла детали система сделает запрос на обновление данных. Каждый обновлённый компонент будет заново пересчитан и загружен в сборку. Сборочная модель не может и сползоваться без своих компонентов, и о каждый файл, участвующий в сборке, может быть

вполне самостоятельным документом, и в свою очередь также может являться сборкой. Количество уровней вложенности под сборку в системе не ограничено.



8. Методы проектирования сборок

В зависимости от способа создания компонентов сборки можно выделить два основных подхода к созданию сборочной модели.

Во многих случаях удобно взять уже готовую модель и включать её в состав сборки, задав её положение в сборке. Этот способ проектирования сборок условно называется снизу-вверх. При таком подходе в системе T-FLEX элементы сборочной модели называют 3D фрагментами. По этой схеме удобно проектировать сложные сборки или типовые механизмы, содержащие значительную долю унифицированных деталей. Для данного метода можно выделить ряд характерных преимуществ:

- проектирование деталей в отдельном файле, позволяющее разделить на компоненты и упростить общий процесс проектирования составного изделия;

- возможность использования одного и того же 3D фрагмента в разных сборочных документах, составление библиотек, часто используемых параметрических 3D фрагментов;
- возможность создания 3D фрагментов с автоматическим позиционированием в пространстве на основе 2D фрагментов и рабочей плоскости (так называемая «планировка»).

Часто бывает, что наоборот, удобнее и нагляднее проектировать деталь, имея определённое представление о её месте в сборке и размерах, беря за основу геометрические элементы других деталей сборочной модели. Этот метод проектирования мы будем называть сверху вниз, а компоненты сборки, геометрическая основа для которых взята из этой же сборочной модели - Детальями. Сборочная модель может создаваться «с чистого листа», когда конструктор определяет общую компоновку сборочной единицы. Затем происходит выделение отдельных элементов и их детальная проработка, как в отдельных файлах, так и в контексте общей сборки. При таком подходе в некоторых случаях облегчается задание привязок элементов друг к другу и может обеспечиваться параметрическая связь между ними. Использование метода проектирования «сверху вниз» иногда позволяет исключить работу с внешними переменными. Параметры деталей в этом случае определяются родительскими элементами. Изменения внизу иерархии связанных деталей приводит к автоматическому изменению всех деталей-потомков в сборке. Кроме того, значения исходных параметров изделия можно получать непосредственно из контекста сборки, опираясь на элементы сборочной модели. Например, можно сделать отверстия в крышке, опираясь на отверстия в корпусе. При этом конструктор работает с элементами, принадлежащими фрагменту, но одновременно в окружении детали видит и может использовать элементы, принадлежащие сборочному чертежу. Такой режим далее будет называться работой в контексте сборки.

Принципиальное различие методов не мешает при создании сборочных документов сочетать оба подхода.

9. Создание сборки из 3D фрагментов

Принцип работы механизма 3D фрагментов

Сборка составляется из 3D фрагментов при проектировании методом «от детали к сборке». При этом предполагается, что основная работа по созданию моделей деталей в отдельных файлах уже проведена и осталось только включить их в состав сборки. Основные этапы, которые необходимо провести для вставки 3D фрагмента заключаются в следующем:

1. Выбор файла с 3D моделью, который будет использоваться в качестве 3D фрагмента.
2. Привязка 3D фрагмента к сборочной модели.
3. Задание значений внешних переменных фрагмента и установок.

Далее рассмотрим, в чем заключаются основные принципы нанесения 3D фрагментов.

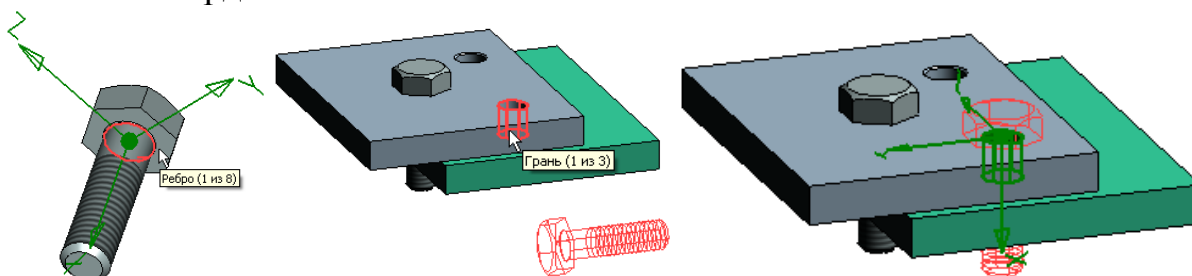
10. Связь сборки с файлом 3D фрагмента

Существует два способа выбора файла с 3D моделью. Во-первых, можно явно выбрать файл с моделью. Другой способ позволяет использовать существующие на чертеже 2D фрагменты, у которых есть 3D модель. Это возможно в случае, если 2D фрагменты уже были использованы в текущем документе, например, для первоначального создания сборочного чертежа.

Система всегда сохраняет связь между файлом 3D фрагмента и файлом сборки. В файле сборки, в параметрах каждого 3D фрагмента хранится ссылка, по значению которой осуществляется поиск файла 3D фрагмента. T-FLEX CAD самостоятельно отслеживает изменения, производимые с файлом 3D фрагмента. При необходимости она заново загружает в сборку данные 3D фрагмента. При этом поиск 3D фрагмента осуществляется по хранимой ссылке. Путь ссылки на файл фрагмента может быть либо полным, либо относительным. Для обеспечения большей гибкости системы, особенно при переносе моделей с одного компьютера на другой, рекомендуется использовать относительные пути для ссылок. При записи относительной ссылки в качестве ориентира может быть использован файл сборки и его место в файловой системе. Другой способ создания относительных ссылок позволяет использовать конфигурации библиотек.

11.Привязка 3D фрагмента

Для подключения модели 3D фрагмента к сборочной модели необходимо решить вопрос привязки. Смысл привязки 3D фрагмента сводится к определению двух систем координат – исходной и целевой. Одна система координат принадлежит 3D фрагменту, другая расположена на сборочной модели. Геометрия 3D фрагмента однозначно позиционируется в пространстве после совмещения исходной и целевой систем координат. В качестве исходной и целевой систем координат обычно выступает специально назначенная или созданная непосредственно при вставке 3D фрагмента Локальная Система Координат (ЛСК), а при отсутствии ЛСК её функцию берет на себя Мировая Система Координат.



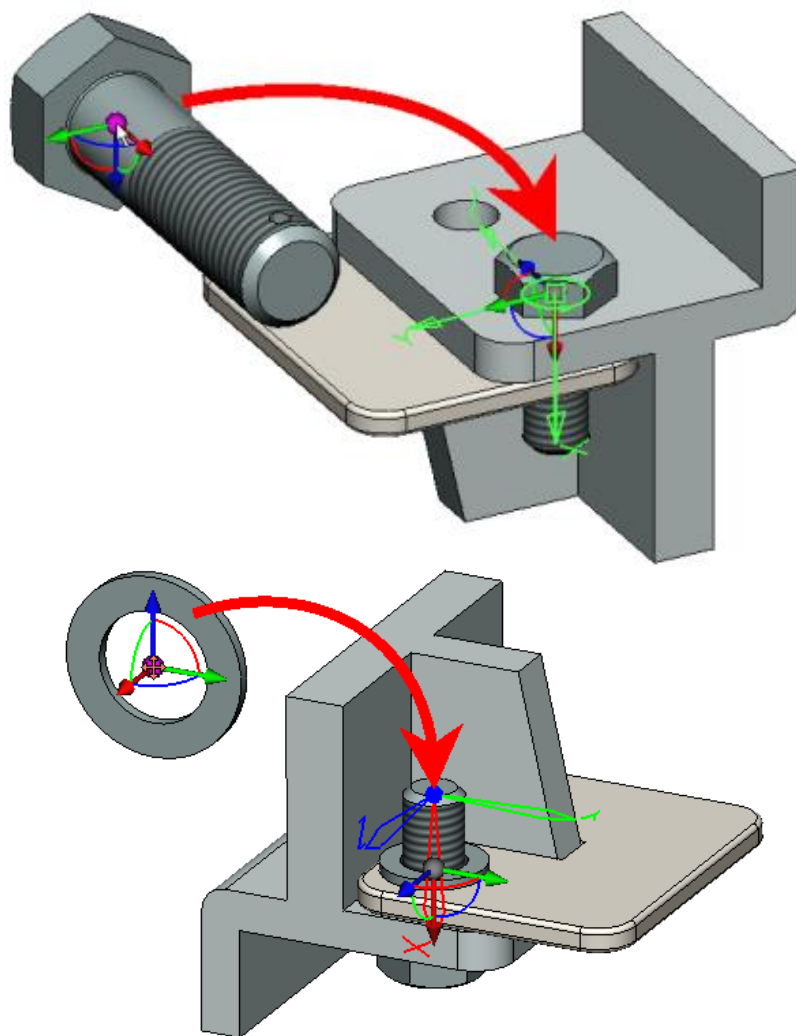
12.Использование 3D коннекторов

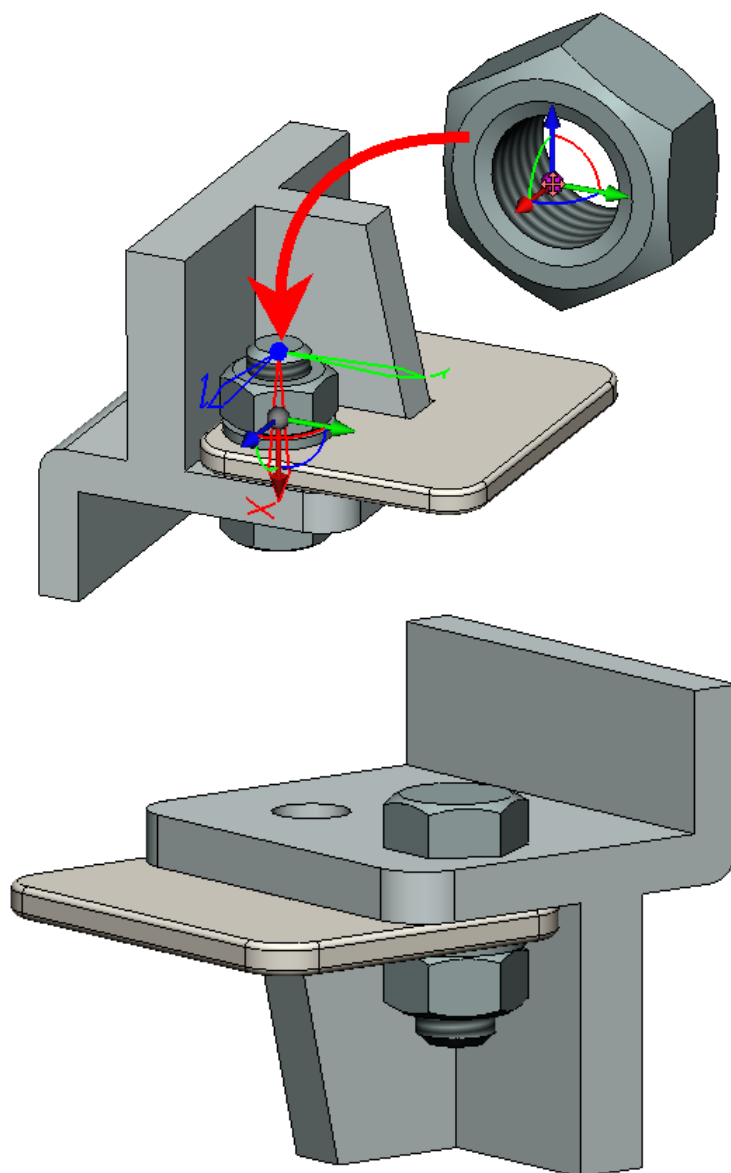
3D коннекторы – особый вид ЛСК, позволяющих автоматически связать внешние переменные для стыкуемых параметрических элементов сборочных 3D моделей. Они значительно упрощают позиционирование деталей и подбор параметров при проектировании сборок. При привязке 3D фрагмента к 3D коннектору, значения переменных из коннектора автоматически передаются в модель фрагмента, после чего производится её пересчёт. Предварительное изображение 3D фрагмента сразу принимает размеры, соответствующие

ющие значениям переменных 3D коннектора.

Например, нужно надеть на болт M10 гайку M10. При вставке болта в сборку с размером M10 его коннектор автоматически запомнил этот диаметр. При вставке гайки, в тот момент, когда мы выбираем элементы болта, автоматически выбирается нужный коннектор для привязки гайки. Для переменной, отвечающей за диаметр гайки, установлено предписание – спросить значение переменной у коннектора. Если имена совпадают, то коннектор болта передаёт в гайку значение M10. Таким образом, сразу после выбора коннектора положение, параметры и изображение гайки приводится в соответствие с нужным болтом.

3D коннекторы пользователь может создавать самостоятельно при подготовке модели 3D фрагмента (См. главу «Локальные системы координат»). Элементы служебных библиотек и стандартные изделия, поставляемые с системой (Крепёж, Отверстия и т.д.), уже имеют встроенные 3D коннекторы.





3. Подготовка конечно-элементной модели

Основное назначение Препроцессора T-FLEX Анализа – подготовка исходных данных о подлежащей анализу физической задаче в виде конечно-элементной модели, которая будет адекватно отражать геометрические и физические свойства моделируемого изделия. Эта конечно-элементная модель затем обрабатывается Процессором T-FLEX Анализа, и в результате получается решение исходной задачи. Подготовка конечно-элементной модели не требует от пользователя специфических знаний в области конечно-элементного анализа. Она осуществляется на основе построенной геометрической модели в интерактивном режиме с помощью команд Препроцессора,

работа с которыми описана в данной главе. Результатом работы Препроцессора является конечно-элементная модель изделия, которая содержит: конечно-элементная модель изделия, которая содержит:

- конечно-элементную сетку;
- сведения о материалах;
- начальные и граничные условия, соответствующие моделируемой физической задаче.

Последовательность создания конечно-элементной модели в T-FLEX Анализе в большинстве случаев не имеет значения, т.е. пользователь может сначала построить конечно-элементную сетку, а затем наложить граничные условия, или, наоборот, сначала задать нагрузки и ограничения, и лишь затем сгенерировать сетку из конечных элементов. Однако непременным условием корректной конечно-элементной модели является обязательное наличие всех её составляющих сетки из конечных элементов (тетраэдральных или треугольных), характеристик материалов и приложенных к системе внешних воздействий.

В модельном окне T-FLEX CAD сетка и граничные условия визуально отображаются непосредственно (сетка) или с помощью условных обозначений (граничные условия). Используя это визуальное отображение, пользователь может оценить корректность задаваемых им данных.

1. Виды конечно-элементных моделей

В зависимости от геометрических особенностей подлежащей анализу конструкции, в T-FLEX

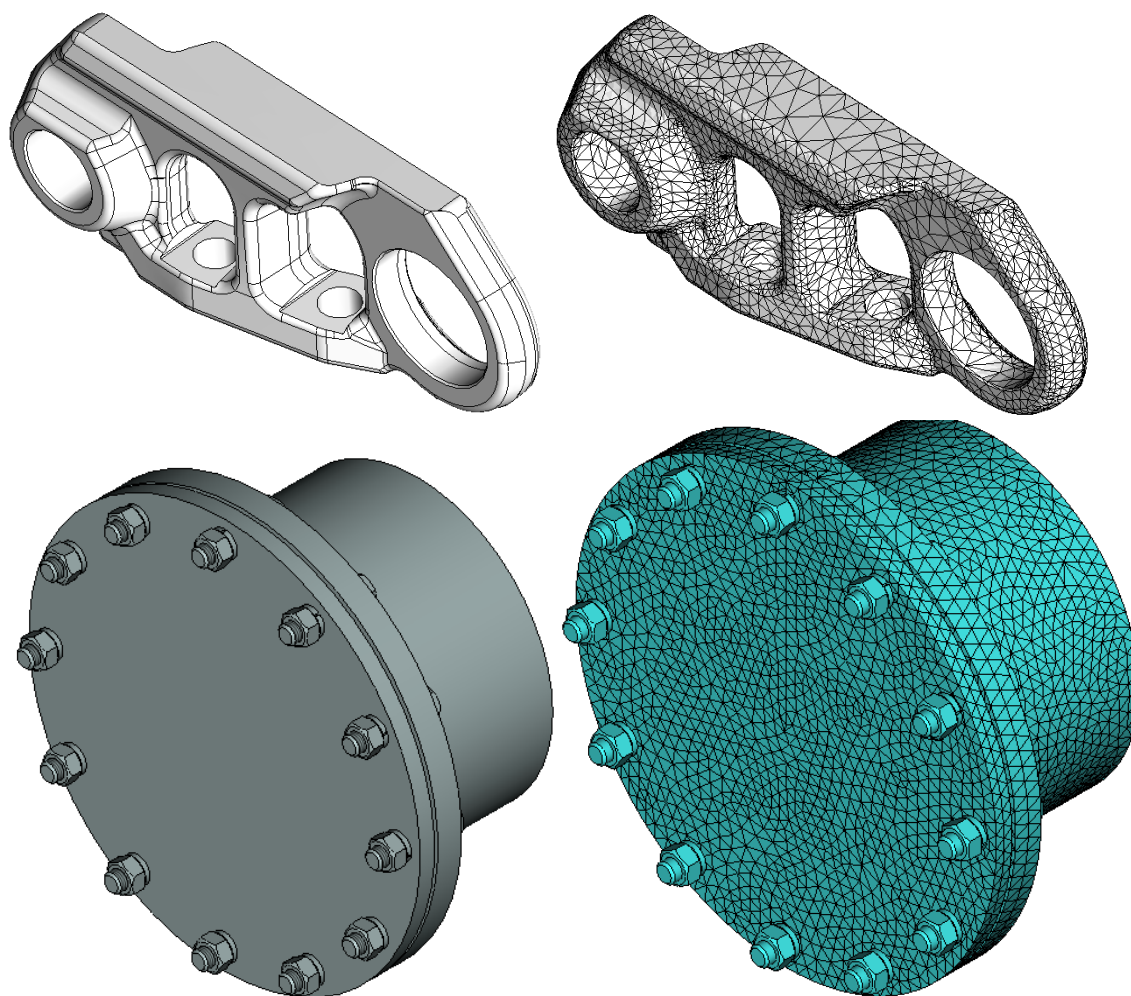
Анализе возможно построение конечно-элементных моделей трёх типов:

- тетраэдральная конечно-элементная модель;
- пластинчатая конечно-элементная модель;
- гибридная конечно-элементная модель.

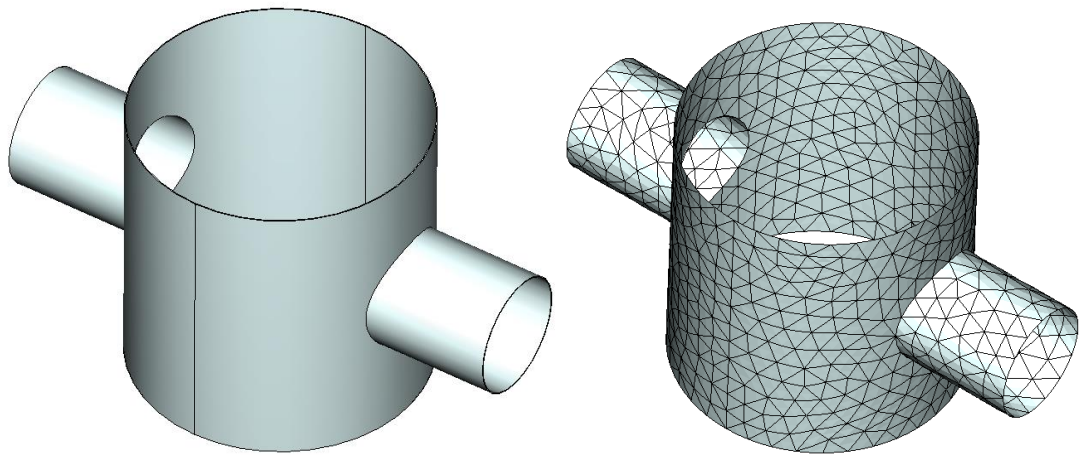
Рассмотрим подробнее случаи использования каждого вида конечно-элементных сеток.

2. Тетраэдральная конечно-элементная модель.

В данном случае для аппроксимации геометрии моделируемого изделия используется его представление конечными элементами тетраэдральной формы. Тетраэдральная конечно-элементная сетка хорошо аппроксимирует сколь угодно сложную форму изделия и обеспечивает удовлетворительные результаты моделирования физических задач для объектов произвольной формы, характерные геометрические размеры которых по трём измерениям (длина, ширина, высота) сопоставимы между собой. К таким объектам можно отнести большинство деталей и узлов традиционного машиностроения и приборостроения.



Пластинчатая конечно-элементная модель. Значительный класс конструкций, используемых в человеческой деятельности, имеет особую геометрическую форму, при которой одно из измерений (толщина) значительно меньше двух других - ширины и длины. Такие конструкции принято называть тонкостенными. Например, в машиностроении такими конструкциями могут служить корпуса всевозможных машин, улитки турбин; в приборостроении – гибкие упругие элементы: сильфоны, мембраны, в том числе гофрированные, тарельчатые пружины; в строительстве - покрытия и перекрытия, пандусы, навесы и козырьки; в кораблестроении – корпуса судов; в авиастроении - фюзеляжи и крылья самолётов; в промышленности – всевозможные ёмкости: цистерны, резервуары и т.п.



При конечно-элементном анализе тонкостенных конструкций можно использовать не тетраэдральные, а пластинчатые (оболочечные) конечные элементы, которые позволяют получить удовлетворительное решение с меньшими вычислительными затратами, чем при использовании объёмных конечных элементов.

3. Назначение и роль сеток

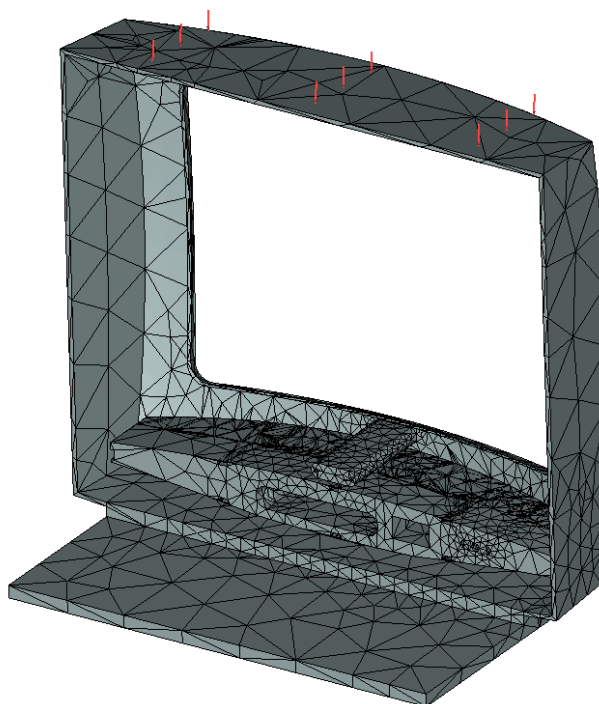
Основное назначение конечно-элементной сетки – адекватная аппроксимация геометрии моделируемого тела, учитывающая все важные для расчёта нюансы геометрии изделия.

Препроцессор T-FLEX Анализа имеет эффективный автоматический генератор конечно-элементных сеток, который позволяет пользователю управлять различными режимами генерации сеток, чтобы получать сетки нужного качества на разных моделях. В T-FLEX Анализе для построения конечно-элементных сеток используются объёмные тетраэдральные и пространственные треугольные конечные элементы, которые, теоретически, позволяют с любой требуемой точностью аппроксимировать произвольную геометрию большинства изделий. Однако необходимо отметить несколько предварительных рекомендаций, касающихся корректности расчётных моделей при использовании конечных элементов.

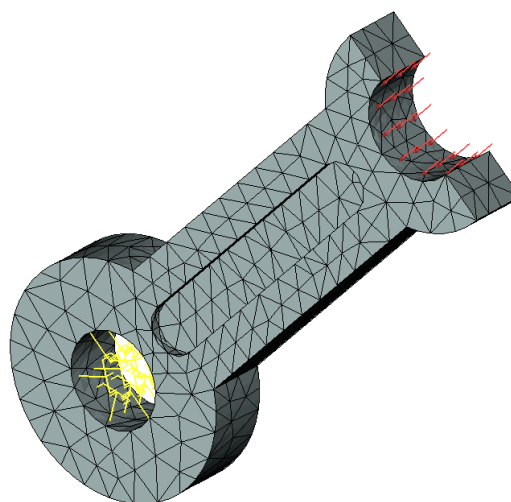
Во-первых, точность получаемого решения может зависеть от формы конечных элементов. Наилучшие результаты конечно-элементного моделирования достигаются, если элементы (тетраэдры и треугольники), образующие сеточную модель, близки по форме к равносторонним.

Особенно это справедливо для тетраэдральных элементов. Напротив, если сеточная модель содержит конечные элементы, у которых ребра, образующие элемент, имеют сильно отличающиеся размеры, результаты моделирования могут иметь недостаточную точность. В этом случае желательно, используя параметры настроек генератора конечно-элементных сеток,

добиться уменьшения количества подобных элементов.



«Плохая» сетка конечно-элементной модели



«Хорошая» сетка конечно-элементной модели

Таким образом, необходимо визуально или с помощью «Параметров сетки» контролировать «качество» построенной конечно-элементной модели, добиваясь по возможности более однородного распределения формы образующих сетку элементов.

Во-вторых, кроме формы конечных элементов на качество решения определяющим образом влияет также степень дискретизации исходной геометрической модели, т.е. «густота» конечно-элементной сетки. Пользователь может управлять этим параметром генератора сеток, указывая относительный или абсолютный средний размер конечных элементов, аппроксимирующих геометрию тела или меняя параметры, влияющие на генерацию сетки на криволинейных моделях. Обычно, более мелкое разбиение даёт лучшие по точности результаты. Однако следует помнить, что аппроксимация модели большим количеством

маленьких конечных элементов неизбежно приводит к системе алгебраических уравнений большого порядка, что может существенно сказаться на скорости выполнения расчёта. Оценить качество конечно-элементной модели можно последовательным решением нескольких задач с различными возрастающими степенями дискретизации. Если решение (например, максимальные перемещения и напряжения) перестают заметно меняться при использовании более густой сетки, то можно со значительной долей уверенности считать, что мы достигли некоторого оптимального уровня дискретизации и дальнейшее увеличение дискретизации сетки нерационально.

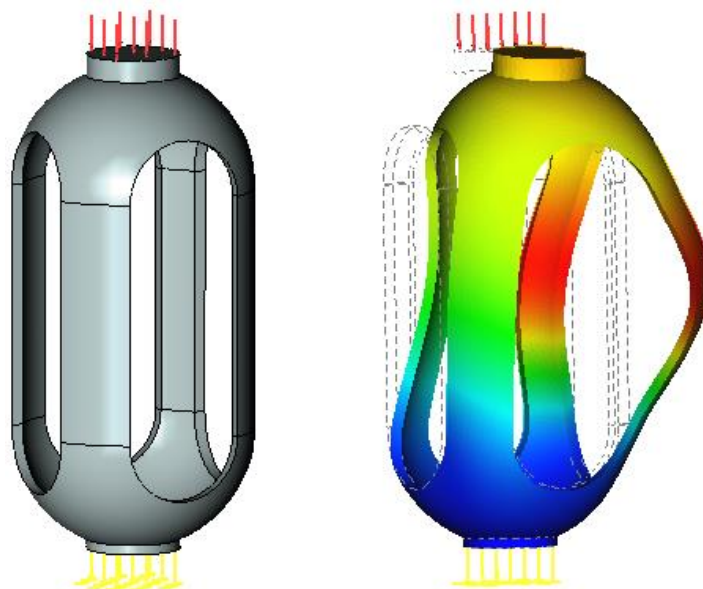
Во многих случаях ориентировочным минимальным уровнем разбиения можно считать разбиение тела на два-три слоя конечных элементов в направлении действия нагрузжений и предполагаемых перемещений.

Кроме того, средствами генератора сеток возможно искусственное создание «сгущений» сетки в областях модели с резко меняющейся кривизной, в которых можно ожидать больших градиентов искомых величин (например, напряжений). Таким образом, при построении конечно-элементной модели, необходимо уделять пристальное внимание генерируемой сеточной модели, следя за тем, чтобы конечно-элементная сетка соответствовала геометрии модели и имела достаточное качество с точки зрения обеспечения надёжного и достоверного решения моделируемой физической задачи.

4. Анализ устойчивости

Равновесие статически нагруженной конструкции называют устойчивым, если малым возмущающим воздействиям соответствуют малые деформации. В определённых случаях нагружений конструкций возможны ситуации т.н. потери устойчивости – когда малые возмущения приложенных к системе сил приводят к большим деформациям конструкции, выходящими за рамки линейной теории упругости. Нагрузки, при которых происходит потеря устойчивости, называют критическими, а соответствующие состояния – критическими состояниями. При сжимающих силах, даже незначительно превышающих критическое значение, дополнительные напряжения изгиба достигают весьма больших значений и непосредственно угрожают прочности конструкции. Поэтому, критическое состояние, как непосредственно предшествующее разрушению, считается недопустимым в условиях реальной эксплуатации.

Опасность потери устойчивости особенно велика в сжатых зонах для лёгких тонкостенных конструкций типа гибких стержней, пластин и оболочек. Явления потери устойчивости весьма разнообразны: появление качественно новых форм равновесия; исчезновение устойчивых форм равновесия и др.



Модуль анализа устойчивости предназначен для решения задачи т.н. начальной устойчивости конструкции. Результатом расчёта является коэффициент критической нагрузки, при действии которой конструкция может скачкообразно перейти в новое равновесное состояние, и соответствующая этой нагрузке форма нового равновесного состояния. В этом случае возможна ситуация, когда критическая нагрузка, при которой произойдёт потеря устойчивости, может быть значительно меньше нагрузки, при которой произойдёт потеря прочности конструкции по критериям линейного статически-напряжённого состояния. Т.е. напряжения в материале конструкции могут не достигнуть предельных значений, но деформации из-за потери устойчивости могут привести к разрушению конструкции. Таким образом, условие устойчивости по критерию критических нагрузок может быть сформулировано так: Фактические нагрузки, приложенные к конструкции, с учётом назначаемого коэффициента запаса, должны быть меньше расчётных критических нагрузок: $F \cdot K < F$

5. Частотный анализ

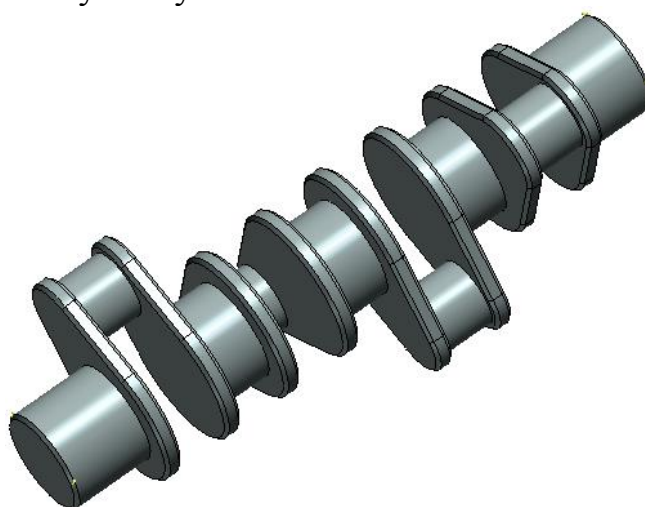
Модуль частотного анализа предназначен для расчёта собственных (резонансных) частот колебаний конструкций и соответствующих им форм колебаний. Задача расчёта собственных частот и соответствующих им форм колебаний возникает во многих практических случаях анализа динамического поведения конструкции под действием переменных нагрузок. Наиболее распространена ситуация, когда при проектировании возникает необходимость убедиться в малой вероятности возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс.

Как известно, суть резонанса заключается в значительном (в десятки раз и более) усилении амплитуд вынужденных колебаний на определённых частотах внешних воздействий – т.н.

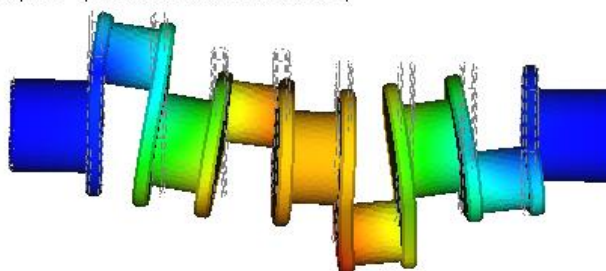
резонансных частотах. В большинстве случаев возникновение резонанса является нежелательным явлением с точки зрения обеспечения

надёжности изделия. Проверка спектральных свойств конструкции на возможность резонансов в рабочем диапазоне частот внешних воздействий на стадии проектирования позволяет внести в конструкцию изменения, способные изменить спектр собственных частот. Это позволит избежать или значительно уменьшить вероятность появления резонансов в процессе эксплуатации.

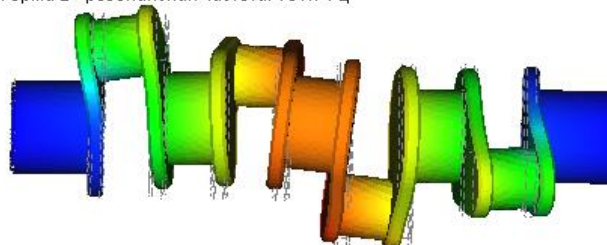
Оценив спектр собственных частот колебаний конструкции на стадии проектирования, можно оптимизировать конструкцию с целью достижения условия частотной виброустойчивости. Для увеличения собственных частот необходимо придать конструкции больше жёсткости и (или) уменьшить её массу. Например, для протяжённого объекта можно повысить жесткость, уменьшив длину или увеличив толщину объекта. Для уменьшения собственной частоты изделия необходимо, напротив, прибавить массу или уменьшить жёсткость объекта.



Форма 1 - резонансная частота: 104.6 Гц



Форма 2 - резонансная частота: 151.7 Гц

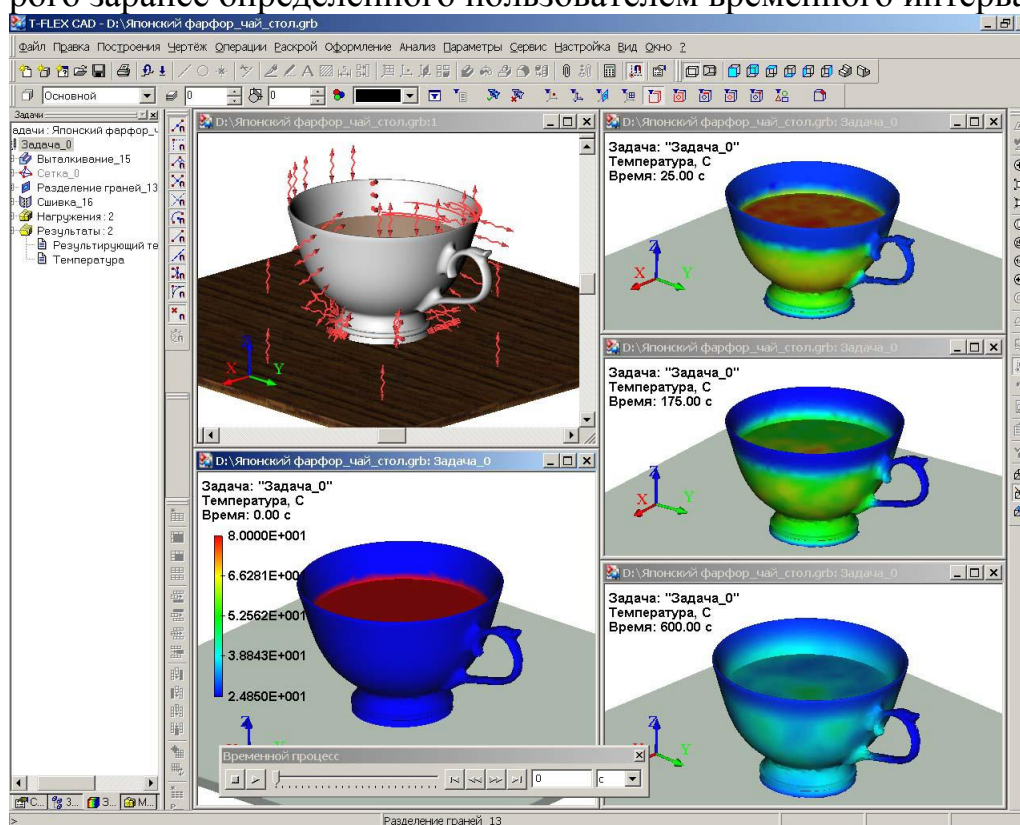


6. Тепловой анализ

Модуль теплового анализа предназначен для решения задач теплопроводности и теплопередачи. Целью осуществления тепловых расчётов обычно является определение температурных полей, а также тепловых потоков в объёме изделия. В T-FLEX Анализе возможны две постановки задачи

теплового анализа:

- Установившиеся тепловые процессы – расчёт распределения температурных полей и тепловых потоков в предположении бесконечно-длительного периода времени, прошедшего после приложения тепловых нагрузок. В установившемся режиме температура тела не изменяется с течением времени, и в каждую единицу времени элементарный объем тела отдаёт в окружающую среду столько же энергии, сколько получает извне или от внутренних источников тепла.
- Нестационарные тепловые процессы – расчёт температурных полей осуществляется в функции времени. Источники тепловой энергии, температуры, а также термо- физические свойства системы могут изменяться во времени. В анализируемой физической системе происходит изменение распределения температурных полей с течением времени и в результате расчёта мы получаем поля температур в каждый момент времени некоторого заранее определенного пользователем временного интервала.



7. Вынужденные колебания

Анализ вынужденных колебаний проводится для предсказания поведения конструкции под действием внешних воздействий, изменяющихся по гармоническому закону. Внешние воздействия включают в себя силовое и/или кинематическое возбуждение. Кроме того, может учитываться влияние демпфирования системы.

Целью анализа вынужденных колебаний является получение зависимости отклика системы от частоты вынуждающих воздействий. Результатами расчёта являются амплитуды перемещений, виброускорения и

виброперегрузки на заданной вынуждающей частоте. По результатам расчёта для диапазона частот могут быть получены зависимости амплитуд и виброускорений от частоты вынуждающих воздействий, что важно при оценке виброустойчивости системы в заданном диапазоне частот.

Модуль «Вынужденные колебания» системы конечно-элементного моделирования T-FLEX Анализ может использоваться для анализа установившихся вынужденных колебаний следующих типов:

- Вынужденные колебания системы без учёта демпфирования под действием гармонической вынуждающей силы. Эти колебания для системы со многими степенями свободы описываются следующей системой линейных дифференциальных уравнений:

$$[M]\{U\} + [K]\{U\} = \{F \cos(\omega t + \phi)\}$$

где:

M - симметричная квадратная матрица массы,

K - симметричная квадратная матрица жёсткости системы,

F - вектор амплитуд вынуждающего воздействия,

ω - частота вынуждающего воздействия,

U, \dot{U} - векторы координат точек системы, изменяющих свои положения во времени t и их ускорений,

ϕ - начальная фаза возбудителя.

Вынужденные колебания системы с учётом демпфирования под действием гармонической вынуждающей силы. Эти колебания описываются следующей системой линейных дифференциальных уравнений:

$$[M]\{U\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F \cos(\omega t + \phi)\}$$

где:

C – симметричная квадратная матрица демпфирования,

\dot{U} - вектор скорости точек системы. В системе принято демпфирование по Рэлею, т.е. оно является пропорциональным и определяется выражением $[C] = a[M] + b[K]$, где

a – коэффициент пропорциональности масс; b – коэффициент пропорциональности жёсткости (оба коэффициента скаляры).

- Вынужденные колебания системы обоих указанных типов, возникающие от движения оснований по гармоническому закону, т.е. приведения в колебательные движения одной или нескольких опор системы.

8. Анализ усталости

Некоторые детали машин, механизмов, а также элементы сооружений в процессе эксплуатации подвергаются действию нагрузок, меняющихся во времени. Сопротивление материалов действию таких нагрузок существенно отличается от сопротивления тех же материалов статическому и ударному действию нагрузок.

Для изучения прочности материала при действии переменных нагрузок в T-FLEX Анализ используется модуль Анализ усталости.

9. Динамический анализ

Модуль динамического анализа системы конечно-элементного моделирования T-FLEX Анализ предназначен для расчёта изменяющегося во времени напряжённого состояния объёмных конструкций в среде T-FLEX CAD. Модуль работает непосредственно с трёхмерными моделями T-FLEX CAD и обычно не требует отдельных дополнительных построений для расчёта трёхмерной модели.

В динамическом анализе механическая система рассматривается под действием изменяющихся во времени внешних воздействий - приложенных к системе сил, давлений, ускорений и т.п.

Примерами задач динамического анализа силы может служить раскрутка вала или шпинделя, проезд автомобиля по мосту, сейсмические колебания, насыпание бункера песком и т.д. При этом напряжённое состояние механической системы также будет изменяться во времени и во многих практических случаях анализ таких ситуаций имеет важное значение, т.к. динамические напряжения и силы инерции могут оказывать значительное влияние на общую работоспособность механической системы. В результате решения динамической задачи мы получаем в основном те же самые результаты расчёта, как и в статическом анализе (перемещения, напряжения, коэффициент запаса), но каждый результат представлен для определенного момента времени, соответствующего заданному временному интервалу и конкретному временному шагу. У пользователя системы есть возможность увидеть изменение деформаций и напряжений системы во времени и предсказать поведение системы под действием сложной системы изменяющихся во времени внешних воздействий.

4. T-FLEX Динамика

1. Структура задачи динамического расчёта

Команды динамического расчёта доступны в ленте «Анализ». Пользователь создаёт задачу «Анализ движения». Задача формируется из следующих компонентов:

- свойства и настройки задачи;
- тела задачи;
- шарниры;
- датчики;
- нагрузки;
- результаты

Шарниры. Шарниры определяют связи и взаимодействия между отдельными телами в задаче. Они создаются в задаче автоматически на основе заданных в модели степеней свободы и сопряжений.

В основных типах шарниров система позволяет моделировать трение, а в односторонних контактах также задавать параметры удара. В системе

реализованы следующие типы шарниров:

- Сферический шарнир. Разрешены повороты во всех направлениях и запрещены все перемещения.
- Вращательный шарнир. Разрешено только вращение вокруг определённой оси. Остальные перемещения и направления поворотов запрещены. Имитирует дверную петлю.
- Цилиндрический шарнир. Разрешено вращение вокруг определённой оси и перемещение вдоль неё.
- Поступательный шарнир. Разрешено только перемещение в определённом направлении.
- Винтовой шарнир. Имитирует винтовое соединение. Создаётся на основе передаточных связей. Разрешён поворот вокруг одной оси с одновременным перемещением вдоль неё.
- Контактный шарнир. Контактные шарниры задают отношение между парой элементов тел, связанных другими шарнирами. Контактные пары могут быть различными: точка-точка, точка-кривая, прямая-плоскость, плоскость-тело, плоскость-плоскость и т.д. Отношение может быть касанием, расстоянием, либо расстоянием с неравенством (в последнем случае контактный шарнир является односторонним).
- Неопределённый шарнир. Все остальные сочетания связей, которые система не смогла определить как известные ей шарниры она все равно в учитывает задаче и превращает в неопределённый шарнир. Такие связи считаются идеальными. Для них нельзя задавать параметры трения или геометрические свойства.

Каждый тип шарнира имеет определённые свойства, которые пользователь может регулировать, например, геометрические размеры, параметры трения и т.д.

Контакты. Одной из главных особенностей системы является реалистичное моделирование контактов между телами сборки. Пользователь избавлен от необходимости задавать точки контакта вручную. В задаче динамического анализа имеется возможность задания расчёта контактов отдельных пар тел, а также параметров удара и трения отдельно для каждой пары тел.

Все расчёты производятся в системе автоматически. В приложении реализованы два метода определения контактов.

Первый из методов основан на использовании набора функций анализа контактов и пересечений тел на основе ядра Parasolid, что позволяет производить точный анализ геометрии в области (или нескольких областях) контакта, что даёт системе возможности для реалистичного моделирования контактов и ударов тел.

Второй – основан на анализе сеточного представления геометрии, что позволяет повысить производительность и стабильность расчётов по сравнению с проверкой пересечений тел средствами Parasolid.

Нагрузки – это специальные объекты, создаваемые пользователем

перед выполнением расчёта.

В качестве нагружений можно задавать силы, моменты и вращения. Для отдельных тел можно задавать линейную и угловую скорости, которые они имеют в начальный момент. Особый вид нагружения – пружины. Благодаря возможности задания жёсткости при помощи графика этот вид нагружения позволяет задавать в общем случае не только простейшие пружины с линейной зависимостью, но и биполярные силы с произвольными законами.

- Гравитация. Система позволяет учесть в расчёте любое значение ускорения свободного падения в произвольном направлении.
- Начальная скорость. Пользователь имеет возможность задать начальную скорость для любых тел задачи (скорость центра масс тела и угловую). По умолчанию скорости тел в начале моделирования равны нулю.
- Сила. Создаёт точечную силу, действующую в заданном направлении. Сила может быть задана значением или графиком. В последнем случае можно задать переменное значение, зависящее от времени или параметра датчика.
- Пружина (биполярный силовой элемент). Позволяет создавать пружины, демпферы, или произвольные биполярные точечные силы, задаваемые графиком. Также при помощи данного нагружения можно моделировать линейный привод, толкающий два тела с заданной скоростью или ускорением. Это позволяет моделировать, например, работу гидроцилиндра.
- Вращение. Позволяет создать привод, вращающий тело вокруг заданной оси с заданной угловой скоростью. Максимальный крутящий момент, развиваемый приводом, по желанию пользователя, может быть ограничен.
- Крутящий момент. Позволяет задать вектор внешнего момента, действующего на тело.

Параметры трения и удара. Система может моделировать свойства взаимодействия между элементами системы.

Для шарниров:

- Коэффициенты трения покоя, трения движения и вязкого трения.
- Натяг. Для некоторых типов шарниров можно учесть соединение деталей с натягом.

Это означает, что соединение деталей производится с некоторым дополнительным усилием и упругими деформациями, вызванными несовпадением посадочных размеров. Параметр имеет размерность силы. Он определяет дополнительную реакцию в шарнире, которая будет учитываться при расчёте сил трения.

- Геометрические размеры шарнира учитываются при расчёте трения в шарнире.

Для контактов:

- Коэффициенты трения покоя, движения, качения и верчения.

- Коэффициент восстановления при ударе характеризует степень сохранения механической энергии тел после соударения.
- Минимальную скорость, с которой начинает действовать упругое соударение (слабый удар считается неупругим).

Датчики – специальные объекты задачи, предназначенные для считывания и передачи результатов расчёта на средства отображения результатов. Датчики могут быть нескольких типов, в зависимости от объекта измерения:

датчик в точке;

- датчик на теле;
- датчик в шарнире;
- датчик «Силовой элемент»;
- датчик для измерения расстояний между двумя точками;
- датчик «Пара тел». Датчик используется для измерения силы реакции и трения в области контакта между телами.

Результаты записываются на основе считанных датчиками показаний или отображаются в виде графических знаков (стрелок) непосредственно во время выполнения расчёта. Результаты обычно хранятся в виде графиков. Расчёт выполняется методом вычисления состояния системы по кадрам. Для каждого кадра запоминается информация о состоянии системы. Для расчёта каждого кадра записи система совершает некоторое количество шагов моделирования. Это может быть один шаг на каждый кадр, а может быть тысяча. Пользователь может задать штатное количество шагов, которое система будет использовать. В случае если штатного количества шагов в кадре не хватает для обеспечения точности, система будет их увеличивать вплоть до максимального значения, также указываемого пользователем.

Методические рекомендации для студентов по усвоению практических занятий по дисциплине «Современные системы CAD/CAE в машиностроении»

№	Название практической работы	Разделы тематического плана	Литература	Кол-во часов
1	Окно приветствия и элементы управления T-FLEX CAD	1.1	6.4.1	2
2	Основные понятия чертежа T-FLEX CAD	1.2	6.4.1	2
3	Методы построения чертежа	2	6.4.2	5
4	Основные принципы и понятия 3D моделирования	3	6.4.2	12
5	Сборочные 3D модели	3	6.4.2	5
6	Подготовка конечно-элементной модели	4	6.4.3	2
7	Правила выполнения динамического расчёта	5	6.4.4	2

При подготовке к практической работе студенту необходимо повторить лекционный материал, используя вопросы для самоподготовки по соответствующим разделам тематического плана дисциплины, а также ознакомиться с ходом выполнения практической работы, используя методические указания, согласно разделу 6 рабочей программы дисциплины.

Методические указания к самостоятельной работе

по дисциплине «Современные системы CAD/CAE в машиностроении»

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется без участия преподавателя. К самостоятельной работе относится:

- самостоятельное изучение теоретического материала;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к текущему, промежуточному и итоговому контролю (экзамену), самоконтроль;

Самостоятельная работа по дисциплине «Современные системы CAD/CAE в машиностроении» осуществляется в соответствии с разделами тематического плана, приведенного в рабочей программе дисциплины.

Виды СРС	Разделы тематического плана дисциплины, по которым эти работы выполняются
Усвоение текущего материала	1-5
Подготовка к практическим занятиям	1-5
Подготовка к рейтинговому контролю	1-5
Подготовка к зачёту или к экзамену	1-5

Литература

6.4.1		T-FLEX CAD Трёхмерное моделирование Руководство пользователя	Топ Системы	2016	Интерактивное учебное пособие		ftp://ftp.topsystem.s.ru/Free/TFManual_3D_15.pdf	Свободный доступ с любой точки доступа для авторизованного пользователей
6.4.2		T-FLEX CAD Основы. 2D проектирование и черчение	Топ Системы	2016	Интерактивное учебное пособие		ftp://ftp.topsystem.s.ru/Free/TFManual_2D_15.pdf	Свободный доступ с любой точки доступа для авторизованного пользователя

6.4.3		T-FLEX АНАЛИЗ	Топ Системы	2016	Интерактивное учебное пособие		ftp://ftp.topsystem.s.ru/Free/TFManual_Analysis_15.pdf	Свободный доступ с любой точки доступа для авторизованного пользователя
6.4.4		T-FLEX ДИНАМИКА	Топ Системы	2016	Интерактивное учебное пособие		ftp://ftp.topsystem.s.ru/Free/TFManual_Dynamics_15.pdf	Свободный доступ с любой точки доступа для авторизованного пользователя