

ЗАО «Топ Системы»

## 3D-пространство

Возможности системы параметрического трехмерного моделирования T-FLEX CAD, разрабатываемой российской компанией «Топ Системы», уже не раз обсуждались на страницах журнала. Мы неоднократно подчеркивали, что функциональные возможности системы позволяют сопоставлять ее с лучшими системами трехмерного моделирования. T-FLEX CAD — полнофункциональная система автоматизированного проектирования, обладающая всеми современными средствами разработки проектов любой сложности. Она объединяет в себе 3D-функциональность уровня систем среднего класса с полным набором средств создания конструкторской документации, присущим аналогичным российским системам. Помимо богатой функциональности она обладает дружественным к пользователю интерфейсом.

Среди главных достоинств системы:

- единое пространство 3D- и 2D-проектирования;
- уникальная параметризация и полная ассоциативность моделей и чертежей;
- полная поддержка российских стандартов при оформлении конструкторской документации;
- доступная цена — T-FLEX CAD 3D, включающая все возможности 3D-моделирования и оформления конструкторской документации, стоит гораздо дешевле зарубежных систем 3D-моделирования того же уровня. Особенно если учесть, что в большинстве случаев к такой зарубежной системе приходится покупать российский комплект, позволяющий оформлять документацию по отечественным стандартам. Система T-FLEX CAD 3D постоянно развивается, и уже пора в очередной раз рассказать пользователям, что же они получают, выбрав T-FLEX CAD в качестве основной системы для проектирования. Начнем наш рассказ с описания 3D-функциональности T-FLEX CAD.

## Геометрическое ядро Parasolid

Система T-FLEX CAD построена на геометрическом ядре Parasolid фирмы UGS, которое сегодня считается лучшим для трехмерного моделирования. На данный момент системы на ядре Parasolid установлены на более чем 1 млн рабочих мест по всему миру. Компания «Топ Системы» является официальным пользователем ядра Parasolid, поэтому в T-FLEX CAD применяются новейшие версии ядра.

## Единое рабочее пространство

Документ T-FLEX CAD может содержать любые типы объектов, с которыми работает конструктор:

- 3D-модели и сборки;
- конечно-элементные задачи;

- задачи динамического анализа;
- 2D-чертежи деталей и сборочных конструкций;
- спецификации;
- различные текстовые документы.

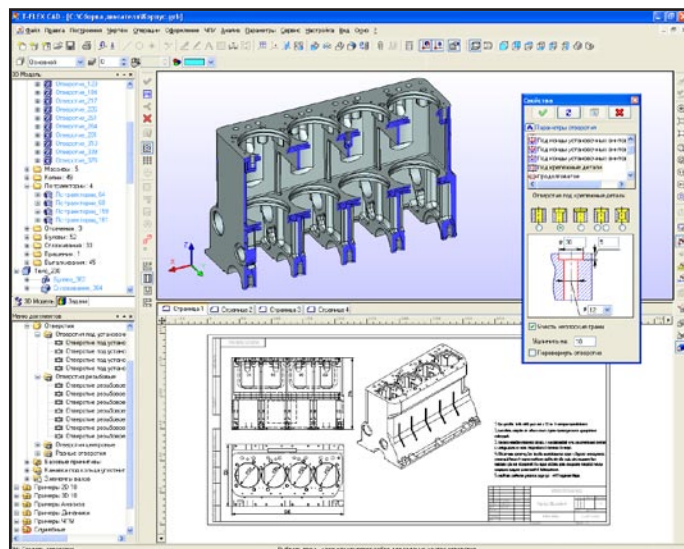
Формат всех файлов системы одинаков. В одной 3D-модели T-FLEX CAD могут сочетаться как твердые тела, так и поверхности. Модель может содержать любое количество тел и поверхностей, между которыми возможны булевы операции. При этом для создания и тел, и поверхностей используются одни и те же средства T-FLEX CAD.

Единство модельного пространства, многотельность 3D-сцены, единообразие работы с твердотельными моделями и поверхностями, управление телами — все это создает уникальные возможности для решения самых сложных задач и выгодно отличает T-FLEX CAD от других систем среднего класса.

## Удобный интерфейс

Интерфейс T-FLEX CAD обеспечивает удобство работы пользователя. Множество инструментальных панелей, расположить которые можно в любом месте окна T-FLEX CAD, возможность настройки состава стандартных панелей и создание новых, различные варианты размещения служебных окон (объединение нескольких окон в одно с закладками, режим всплывающих окон и т.п.) — все это позволяет пользователю оформить рабочее окно T-FLEX CAD так, как ему удобно.

Любые настройки можно сохранить, а затем быстро применить с помощью механизма Окружений — именованных наборов пользовательских настроек окна T-FLEX CAD. На одном рабочем месте



Документ T-FLEX CAD может содержать любые типы объектов

может быть создано любое количество Окружений (например, с настройками разных пользователей или для разных задач проектирования). Созданные Окружения можно сохранять во внешние файлы (для переноса на другое рабочее место, например) и загружать из внешних файлов.

Работа во всех командах T-FLEX CAD организована таким образом, чтобы минимизировать количество действий пользователя и облегчить ему выбор элементов и задание параметров. При выборе каких-либо элементов (и внутри команд, и вне их — в режиме ожидания команды) используется динамическая подсветка элементов. Контекстно зависимые меню в любой ситуации подскажут пользователю возможные дальнейшие действия. Внутри 3D-команд система подсказывает пользователю требуемые действия с помощью декораций и всплывающих подсказок.

Для задания параметров 3D-операций можно применять не только текстовые поля в окне параметров операции, но и манипуляторы в 3D-окне. Для визуализации 3D-модели можно использовать различные режимы: в виде реберной модели, в виде твердотельной модели с учетом назначенных материалов (рендеринг), в виде твердотельной модели с учетом только назначенных цветов (шейдинг), с рассечением плоскостью обрезки и т.п.

При создании новых документов T-FLEX CAD применяются различные шаблоны документов. Они содержат разные наборы базовых построений (например, различные рабочие плоскости). В зависимости от решаемых задач пользователь может создавать собственные шаблоны, включая в них необходимые базовые построения и даже операции.

### **Построение 3D-модели**

Система T-FLEX CAD допускает разные способы создания 3D-модели:

- проектирование «от 2D к 3D»;
- проектирование «от 3D к 2D»;
- комбинация методов «от 2D к 3D» и «от 3D к 2D».

При создании модели «от 2D к 3D» трехмерная модель строится на основе готовых 2D-чертежей или вспомогательных 2D-построений. Метод «от 3D к 2D» подразумевает, что большинство построений модели осуществляется прямо в 3D-окне с использованием 3D-элементов построения. Оба метода можно комбинировать.

При любом способе создания модели можно применять следующие возможности T-FLEX CAD:

- многотельное моделирование;
- булевы операции;
- параметрическое моделирование;
- комбинирование поверхностного и твердотельного моделирования.

### **Параметрическое моделирование**

Система T-FLEX CAD хранит в 3D-модели ее полную иерархическую структуру, всю историю ее создания, в том числе все взаимосвязи между 3D-элементами, всю последовательность выполнения операций, участвовавших в создании и модификации тел модели. Это позволяет значительно упростить процедуру редактирования модели. При изменении параметров или положения любого базового 3D-объекта (лежащего в основании дерева 3D-модели) необходимые изменения автоматически распространяются по всей модели. Практически каждый параметр любой операции T-FLEX CAD можно изменять в любое время. Каждый объект модели может быть связан с любым другим объектом. Вместо численных или текстовых значений параметров команды можно задавать переменные. Они могут, например, определять длину выталкивания, угол вращения, видимость любого 3D-объекта, название детали или имя материала. Управляющие переменные могут быть добавлены на любом этапе работы с моделью. Переменные могут быть связаны в математические или логические выражения. Значения переменных можно изменять, непосредственно перемещая элементы модели или чертежа, либо задавая их значения в редакторе переменных, либо считывая их из внешних/внутренних баз данных.

T-FLEX CAD позволяет осуществлять динамический отбор значений из баз данных при параметрическом изменении модели.

### **Дерево 3D-модели**

Для удобства пользователя структура 3D-модели T-FLEX CAD представлена в виде дерева, которое отображает полную историю создания всех тел модели. Отдельные папки для каждого типа операций и 3D-элементов построений позволяют легко отследить, какие 3D-элементы и операции созданы в текущей модели.

Для отображения 3D-элементов построения и операций в дереве 3D-модели используются различные цвета, по которым можно быстро определить состояние данного объекта (видим, невидим, подавлен и т.п.). Дерево 3D-модели и 3D-окно ассоциативно связаны через подсветку элементов. Дерево модели можно применять для редактирования, удаления, задания параметров 3D-операций, перемещения операций и выполнения булевых операций.

### **3D-элементы построения**

3D-элементы построения T-FLEX CAD — это рабочие плоскости, рабочие поверхности, 3D-узлы, 3D-профили и пути, локальные системы координат (ЛСК), 3D-сечения. Они используются для создания трехмерных контуров, задания ориентации в пространстве, определения направлений, векторов, осей, траекторий и т.д.

На **рабочих плоскостях** в T-FLEX CAD обычно чертятся контуры (3D-профили) для операций выталкивания или вращения. На одной рабочей плоскости можно создавать сразу несколько независимых контуров. Стандартные шаблоны для создания 3D-моделей T-FLEX CAD уже содержат различное количество базовых рабочих плоскостей.

**Рабочие поверхности** позволяют работать в цилиндрической, сферической и тороидальной системах координат. Основное назначение рабочих поверхностей — построение вспомогательных объектов (3D-профилей, 3D-путей, 3D-узлов) для создания деталей с поверхностями двойной кривизны: лопаток турбин, гребных винтов, корпусов кораблей, фюзеляжей летательных аппаратов. Использование рабочих поверхностей позволяет наиболее естественным образом работать над 3D-обводами судов по теоретическим чертежам или проектировать гребной винт в цилиндрической системе координат, а так же решать другие задачи. **3D-узлы** применяются в качестве точек привязки, с их помощью можно задавать векторы и оси. T-FLEX CAD предлагает множество способов создания 3D-узлов. Например, можно в режиме построения 3D-узла в центре масс создать узел, ассоциативно связанный с центром масс всей модели или отдельных тел.

**Локальные системы координат (ЛСК)** используются для привязки 3D-объектов в пространстве и 3D-фрагментов в сборке. Для ЛСК привязки фрагмента можно указывать разрешенные степени свободы движения фрагмента относительно данной ЛСК, благодаря чему можно моделировать движение различных механизмов.

**3D-профиль** — исходный контур для многих 3D-операций T-FLEX CAD, который можно просто начертить на рабочей плоскости/поверхности (используя штриховки, линии изображения или тексты) или создать на основе уже существующего 3D-профиля (копированием, проецированием на грань и т.п.). Любому 3D-профилю можно задать толщину, автоматически скруглить углы и т.п. T-FLEX CAD поддерживает работу с многоконтурными профилями. Классическим примером многоконтурного профиля является 3D-профиль, созданный на основе текста.

Применение различных типов **3D-путей** позволяет решить многие специальные задачи, для которых недостаточно функциональности 3D-профилей. Например, можно создать 3D-путь в виде линии очерка 3D-тела или как эквидистанту к 3D-кривой на поверхности с неравномерным смещением от исходной кривой. При работе с ЧПУ для построения траекторий движения инструмента с учетом коррекции на его радиус можно использовать построение 3D-пути как 3D-эквидистанты к произвольной 3D-кривой. Для создания сложных пространственных траекторий применяется создание

3D-пути с параметрическим изменением 3D-точки, когда пространственная кривая пути получается в результате движения 3D-точки по произвольной или специально заданной пространственной траектории.

**3D-сечение** используется при создании 2D-проекций (для получения разрезов и сечений), при визуализации объектов 3D-сцены и т.п.

### Управление телами

Система T-FLEX CAD позволяет пользователю в течение всего процесса моделирования работать с постоянными элементами структуры 3D-модели — телами. Тело появляется в структуре модели при создании в 3D-сцене нового твердотельного или листового 3D-объекта. Оно присутствует в структуре 3D-модели до тех пор, пока существует его 3D-объект (тело или поверхность), и хранит в себе параметры своего геометрического объекта: имя, материал, цвет, способ представления (плотность сетки, реберное изображение), а также полную историю его создания. Каждому телу автоматически или вручную присваивается уникальное имя, которое остается неизменным при его дальнейшей модификации. Таким образом, пользователь получает один структурный объект, который он впоследствии может модифицировать при помощи различных операций. Количество тел в одной 3D-модели неограниченно.

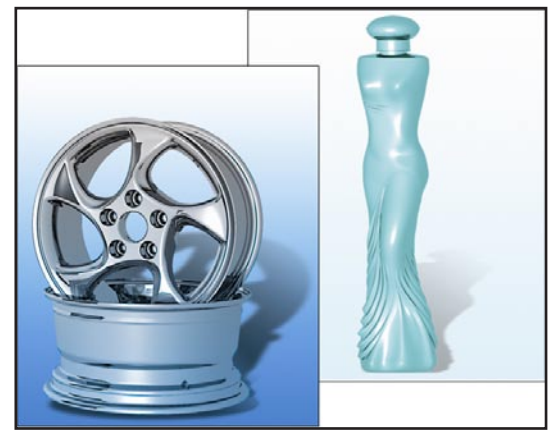
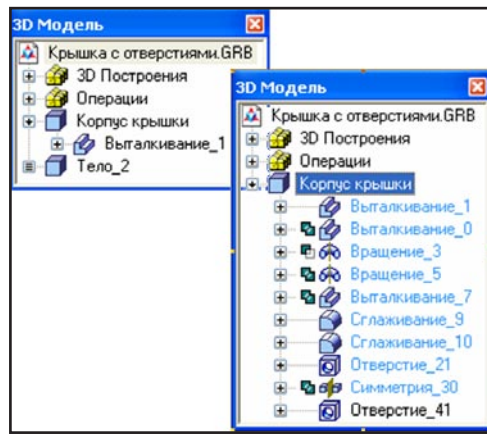
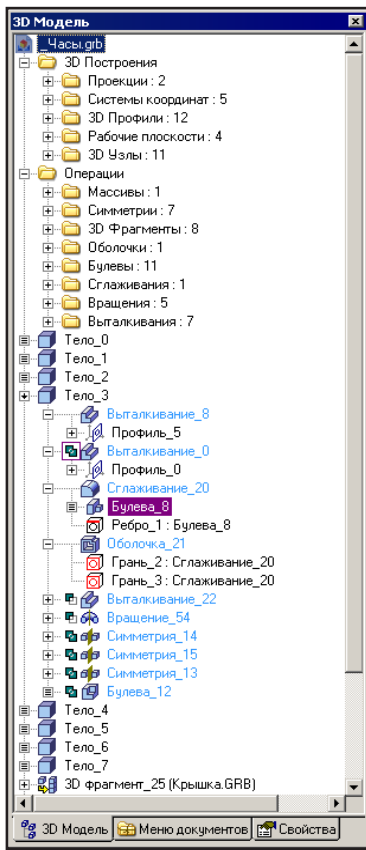
Тела могут использоваться в некоторых командах как самостоятельные элементы. Например, при создании проекции для проецирования можно выбрать конкретное тело. Это удобно, когда при проектировании сначала оформляется чертеж какой-либо детали или набора деталей, а потом производится их последующая модификация при помощи новых операций. Чертеж в этом случае будет отображать все последующие изменения.

### 3D-операции

#### Твердые тела и поверхности

Система T-FLEX CAD позволяет применять в одной модели твердотельное и поверхностное моделирование. Для создания тел и поверхностей используются одни и те же инструменты T-FLEX CAD. Для создания базовых элементов изделий в T-FLEX CAD применяется широкий набор трехмерных операций: выталкивание, вращение, тело по сечениям, оболочка, тело по траектории, уклон, различные типы сглаживания, создание линейных и круговых массивов, отсечение, пружины, спирали, создание отверстий, нанесение резьбы и т.д. Кроме того, в T-FLEX CAD существуют специализированные группы команд для работы с листовым материалом, трубопроводом и гранями модели. В качестве исходного элемента для базовых операций, например «Выталкивание», «Вращение», «Тело по сечениям» и т.п., можно использовать любой элемент системы. Таким образом, можно при-

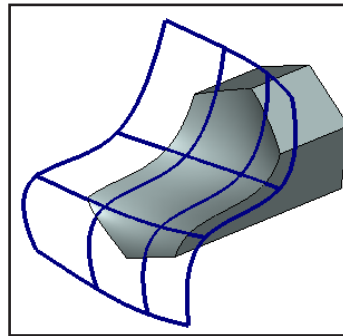




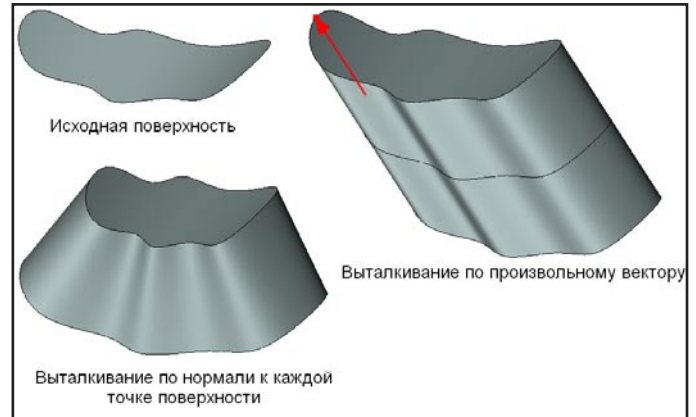
*Дерево 3D-модели отображает историю создания всех тел модели*

*Примеры твердотельного и поверхностного моделирования в T-FLEX CAD*

*Дерево 3D-модели отображает историю создания всех тел модели*



*Ограничение выталкивания листовым телом*



*Выталкивание неплоского контура по нормали к каждой точке поверхности и по произвольному вектору*

менять не только 3D-профили или 3D-пути, но и грани существующих тел, границы граней, наборы ребер, замкнутые циклы ребер и т.п. Независимо от типа исходного элемента T-FLEX CAD позволяет создавать тела со стенками нулевой толщины.

### Выталкивание

Операция выталкивания — одна из наиболее часто используемых при создании 3D-модели в T-FLEX CAD. Система T-FLEX CAD позволяет выталкивать по нормали, по произвольному направлению (по вектору выталкивания), по нормали к каждой точке неплоского контура (выталкивание в виде эквидистанты). Выталкиванием можно создавать твердые и листовые тела. Для создания объемного тела в качестве исходного контура можно использовать поверхность (чаще всего это 3D-профиль или грань). Для получения поверхности можно вытолкнуть, например, границу грани, набор ребер или 3D-путь. В качестве контура выталкивания можно использовать 3D-профиль на основе текста. Независимо от типа исходного контура можно создавать тела со стенками нулевой либо заданной толщины, а также донышко или крышку определенной толщины. Длина выталкивания может задаваться численным значением или переменной, длиной вектора выталкивания или граничными условиями. T-FLEX CAD позволяет использовать граничные условия следующих типов:

- отступ от плоскости исходного контура;
- ограничение поверхностью;

- ограничение гранью;
- ограничение твердым телом;
- ограничение ближайшей в заданном направлении гранью тела;
- по габаритам тела;
- по габаритам тела в заданном направлении;
- ограничение листовым телом.

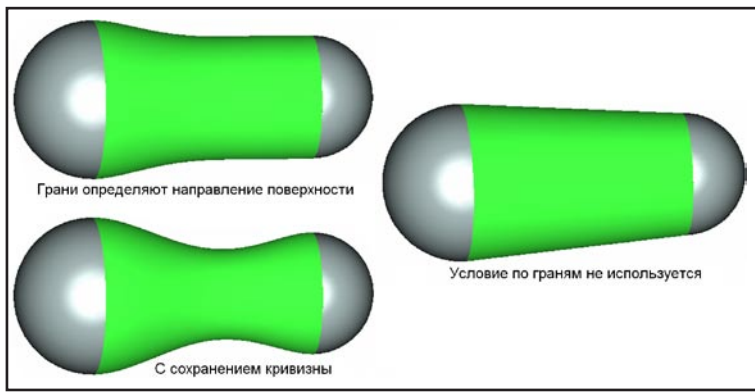
При выталкивании можно задавать угол наклона образующей (литейный уклон). Операция предусматривает возможность автоматического сглаживания боковых ребер, ребер исходной или целевой поверхности.

### Вращение

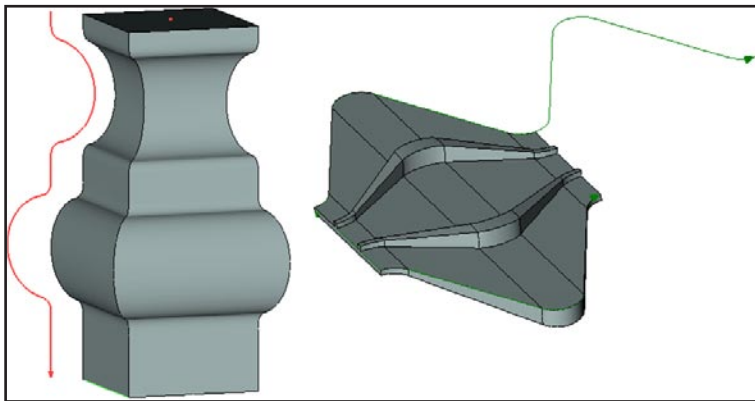
Операция вращения создает тело вращением исходного контура вокруг оси на заданный угол. В качестве исходного элемента может использоваться любой элемент системы (3D-профиль, грань, набор ребер или пространственные кривые). Угол вращения можно задавать числовым значением, переменной, а также привязкой к 3D-узлам. Результатом создания операции может быть как твердое, так и листовое тело.

### Тела и поверхности по сечениям

Операция предназначена для создания твердых тел или поверхностей со сложной геометрией. В качестве базовых элементов могут служить практически любые элементы модели, имеющие в своей основе геометрию одного из трех типов: «точка», «прово-



Применение граничных условий по границам



Примеры использования операции «Тело по траектории»

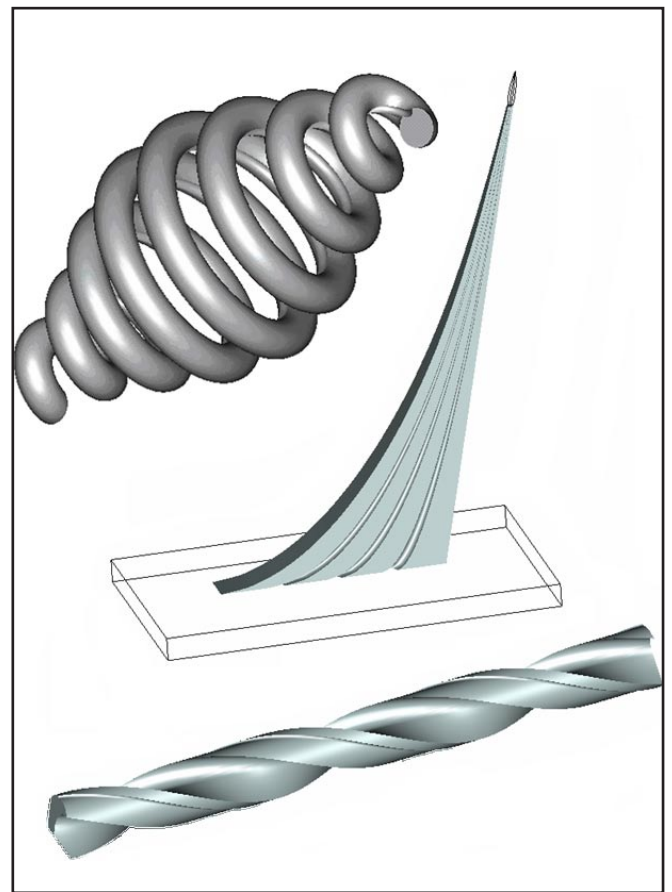
лока», «лист». В зависимости от типа геометрии исходных элементов результат может быть получен как в виде твердого тела, так и в виде набора поверхностей. Сплайновые результирующие поверхности формируются на основе заданного набора сечений и направляющих с учетом выбранных граничных условий. Набор допустимых граничных условий зависит от типа исходного сечения, его положения и выбранных направляющих. Например, для всех сечений и направляющих могут быть заданы следующие граничные условия:

- грани — задается первая производная (направление) в каждой точке ребра сечения и в сегменте направляющей или вторая производная (кривизна) для ребра сечения;
- векторы — задается первая производная (направление) результирующей поверхности в произвольной точке контура сечения или направляющая.

Для первого и последнего сечений можно использовать следующие граничные условия:

- по нормали наружу (поверхность строится перпендикулярно к плоскости сечения);
  - по касательной (поверхность строится по касательной к плоскости сечения);
  - тело (с тела берутся касательные условия);
- по вектору-нормали к плоскости сечения (для сечений-точек).

Среди настроек операции есть оптимизационный модуль, позволяющий формировать, где это возможно, простые аналитические поверхности.



Примеры применение операции «Тело по параметрам»

### Тела и поверхности по траектории (sweep)

Операция «Тело по траектории» позволяет получать 3D-тело путем перемещения исходного контура вдоль пространственной траектории. В зависимости от типа геометрии исходного контура результат операции может представлять собой листовое или твердое тело. В процессе движения контура по траектории можно управлять его кручением относительно оси траектории и масштабированием. Законы кручения контура относительно оси траектории и масштабирования контура определяются табличным способом или при помощи дополнительной геометрии — второй направляющей или поверхности.

Для ориентации перемещаемого контура можно выбрать один из трех вариантов:

- перпендикулярно траектории — промежуточное сечение ориентируется всегда перпендикулярно пути;
- параллельно исходному — оси системы координат каждого промежуточного сечения ориентируются так же, как и оси исходной системы координат;
- по направляющим — контур движется по траектории и направляется на точки дополнительных направляющих. Одновременно одна из направляющих задает закон масштабирования контура.

### Тела и поверхности по параметрам (параметрический sweep)

Операция «Тело по параметрам» представляет собой разновидность операции «Тело по траекто-

рии». Она служит для создания тел со сложной геометрией поверхностей. Конечное тело получается в результате движения профиля по произвольной или специально заданной пространственной траектории. Система позволяет задать зависимость изменения параметров профиля от параметров его перемещения. Движение профиля осуществляется за счет многократного копирования исходного профиля. По полученному набору профилей формируется конечное тело.

Определение положения и ориентацию каждой копии можно задавать, указав законы изменения параметров системы координат и используя 3D-пути либо поверхности других тел. Результирующее тело может быть замкнутым. В зависимости от типа геометрии профиля (лист или проволока) оно может быть как твердым, так и листовым.

### Отверстия

Для быстрого создания стандартных отверстий (в том числе и некруглого сечения) в T-FLEX CAD используется специальная операция «Отверстие». Она позволяет создавать как одиночные отверстия в одном теле, так и наборы отверстий. Отверстия могут пробиваться сразу через несколько тел (в том числе тел-фрагментов сборочной модели). Создаваемые отверстия можно ориентировать относительно элементов модели, например создавать отверстия, соосные цилиндрическим граням. При создании резьбовых отверстий автоматически наносится косметическая резьба.

Операция «Отверстие» работает вместе со специальной параметрической библиотекой отверстий, согласованной с современными отечественными стандартами. Библиотека отверстий открыта для расширения стандартными средствами T-FLEX CAD.

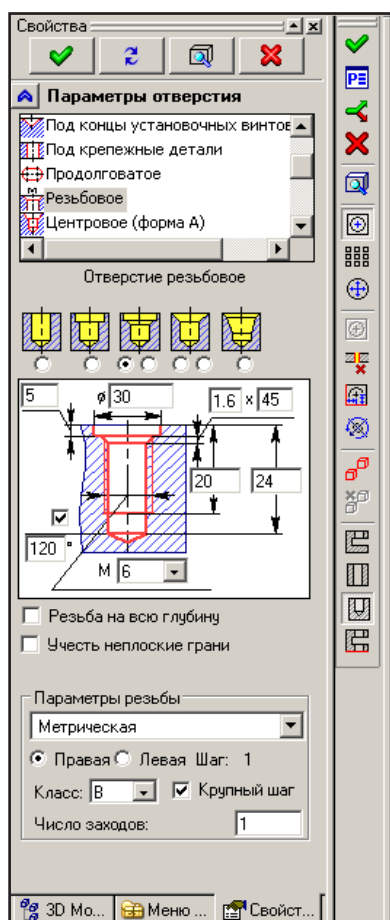
### Косметические резьбы

Система T-FLEX CAD позволяет создавать косметические резьбы на любых цилиндрических и конических гранях. Косметическая резьба представляет собой специальную текстуру, наложенную на выбранную грань и отображающую шаг, направление и границы резьбы. Косметическая резьба подходит для решения большинства задач, связанных с моделированием резьб, требуя значительно меньше вычислительных ресурсов, чем точное моделирование резьбы.

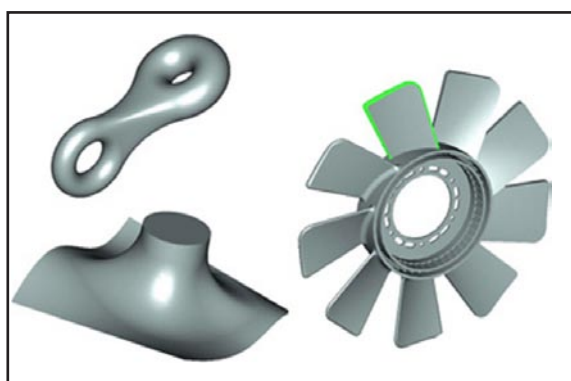
Косметические резьбы создаются на основе специальной базы данных стандартных резьб, открытой для расширения. Нестандартные резьбы можно создавать напрямую в T-FLEX CAD, без использования базы данных. При создании проекций детали, содержащей косметические резьбы, на чертеже автоматически формируется обозначение резьбы в соответствии с требованиями ГОСТ. Размеры, проставляемые по линиям резьбы на проекции, автоматически «подхватывают» обозначение резьбы.

### Фаски и сглаживания

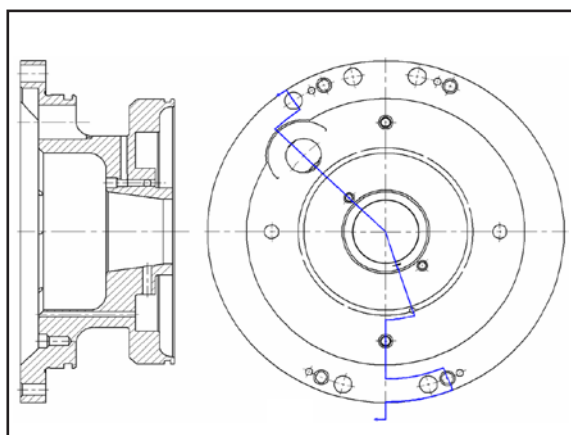
Для создания различных видов сглаживаний и фасок в T-FLEX CAD используются такие операции,



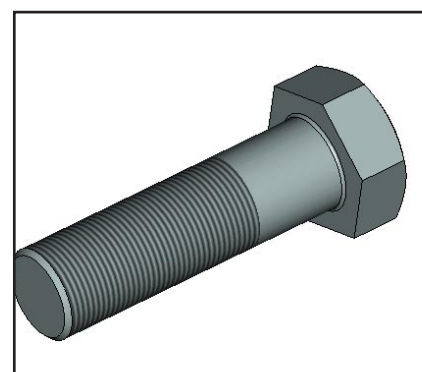
Диалог операции «Отверстие»



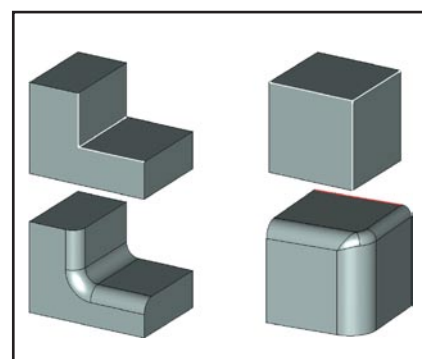
Сглаживание ребер, двух и трех граней



Отображение резьбового соединения на чертеже



Косметическая резьба на болте



Автоматическое скругление вершин



как сглаживание ребер, сглаживание граней («Поверхность — поверхность»), сглаживание трех граней. Каждая из этих операций предоставляет широкие возможности, позволяющие удовлетворить все потребности пользователей.

Посредством сглаживания ребер можно:

- создавать сглаживание с постоянным радиусом;
- производить сглаживание с переменным круговым радиусом (изменение радиуса может описываться как линейным, так и нелинейным законами);
- осуществлять сглаживание с переменным эллиптическим радиусом (форма сечения может быть эллиптической, параболической и гиперболической);
- строить фаску с заданием смещений;
- строить фаску с заданием длины и угла;
- автоматически скруглять вершины, то есть скруглять все ребра, сходящиеся в одной вершине;
- сглаживать два ребра из трех, сходящихся в одной вершине;
- сглаживать вершины с ребрами разной выпуклости;
- сглаживать группы ребер с отступом от вершины;
- сглаживать вершины с созданием Y-формы;
- автоматически удалять топологию, перекрываемую сглаживанием;
- автоматически обрабатывать перекрытия поверхности скругления с элементами геометрии тела, не являющимися гранями, которые образуют скругляемое ребро.

Система использует следующие специальные опции обработки таких перекрытий:

- гладкие перекрытия;
- на острое ребро;
- обработка вырезов;

- обработка зоны с малой кривизной: «Только сглаживание», «Искривление на границе», «Искривление внутри грани».

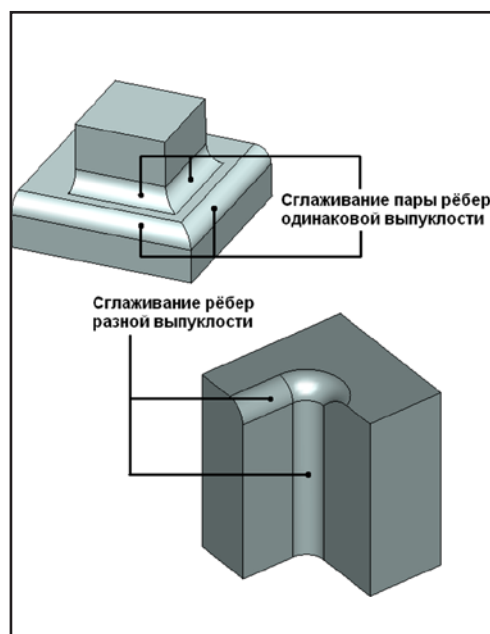
Фаски и сглаживания могут строиться на ребрах различной геометрической формы.

**Сглаживание граней** («поверхность — поверхность») позволяет строить поверхность перехода от одного набора гладко сопряженных граней к другому. Наборы сглаживаемых граней не обязаны иметь общие ребра. Команда имеет много настроек для управления формой поверхности перехода, задания условий обрезки, ограничений и др.

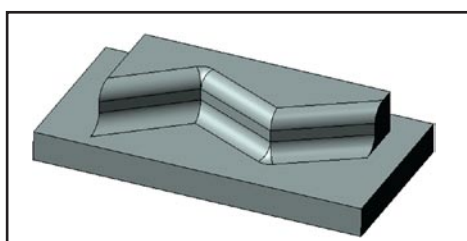
Операция позволяет создавать три типа сглаживания: сферическое, дисковое и изопараметрическое. При создании сглаживания можно использовать следующие режимы сглаживания: «Постоянный радиус», «Переменный радиус» и «Постоянная ширина». Форма поверхности сглаживания может быть трех видов: коническая, фаска, непрерывная по кривизне форма.

Предусмотрены также специальные возможности сглаживания граней:

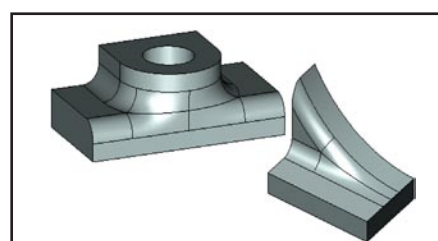
- обработка вырезов;
- продолжение по касательной (продление сглаживания на смежные грани);
- обрезка плоскостями;
- обработка торцов:
  - нет обработки,
  - укороченная обрезка,
  - удлиненная обрезка,
  - обрезка по всем стенкам;
- обрезка стенок;
- выбор варианта конечной топологии:
  - в виде отдельного листового тела (поверхность сглаживания),
  - в виде трех листовых тел (две обрезанных стенки и одна поверхность сглаживания),



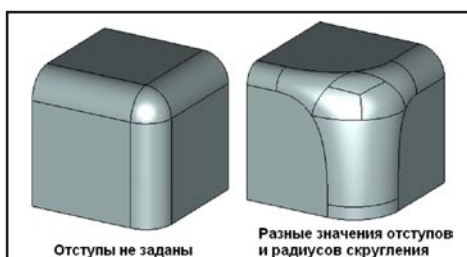
Сглаживание двух ребер, сходящихся в одной вершине



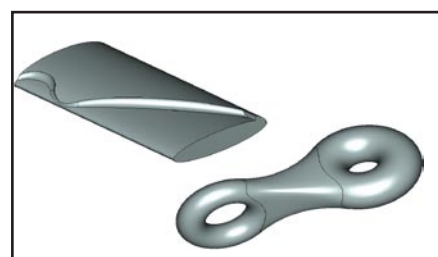
Сглаживание вершины с ребрами разной выпуклости



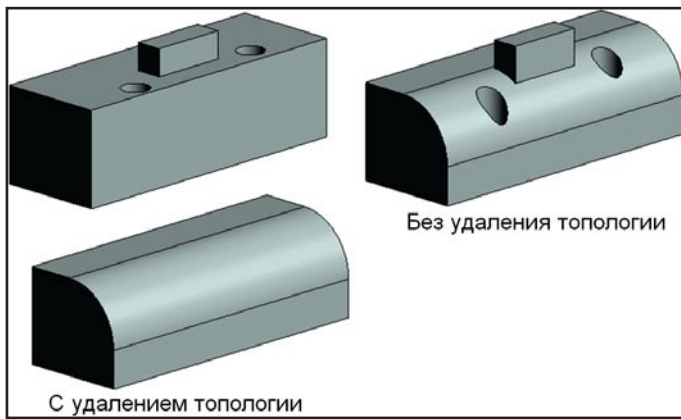
Сглаживание вершины с созданием Y-формы



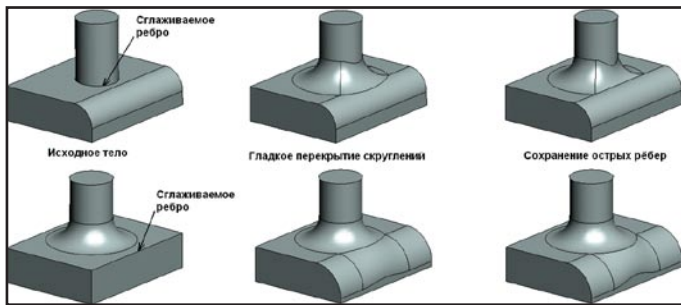
Сглаживание группы ребер с отступами от вершины



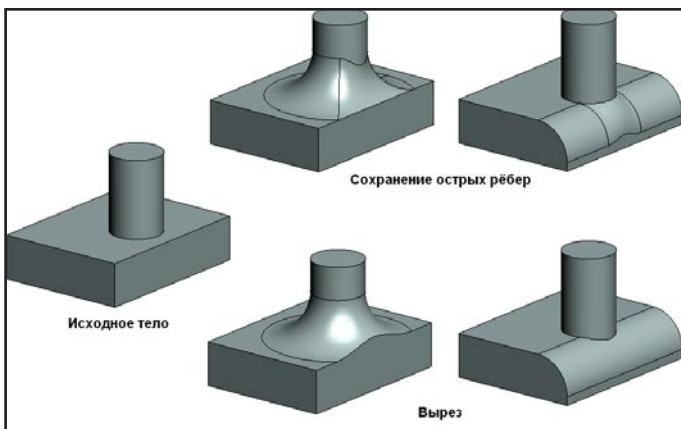
Сглаживание «поверхность — поверхность»



Удаление топологии при сглаживании ребер



Обработка перекрытий при сглаживании ребер



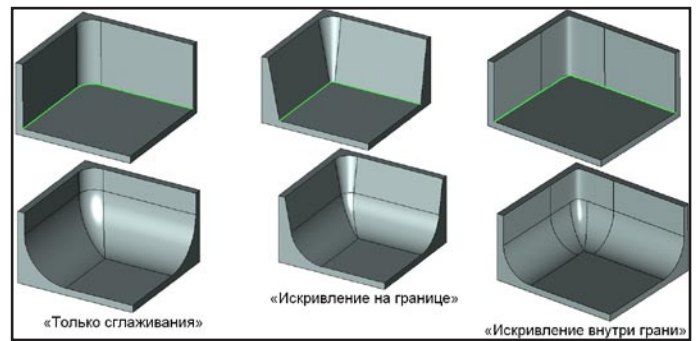
Обработка перекрытий при сглаживании ребер

- как модификация исходного тела или одного из исходных листовых тел,
- как модификация исходного тела или одного из исходных листовых тел с принудительным преобразованием в твердое тело;
- решение по узлу;
- обработка искривленных зон.

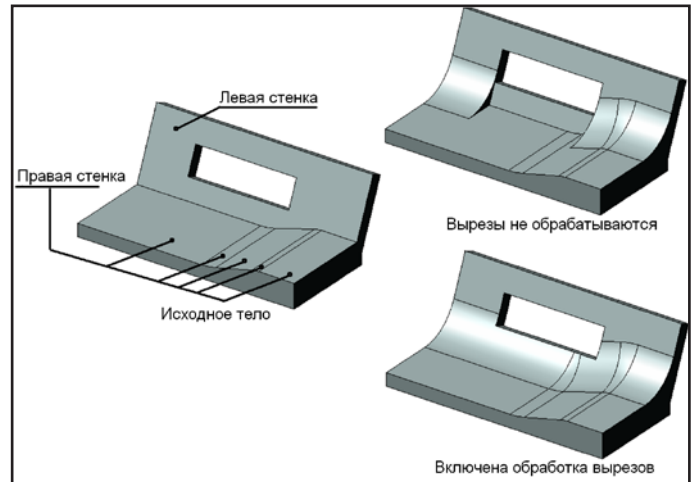
Для случаев, когда поверхность сглаживания выходит за пределы сглаживаемых граней, можно задать следующие граничные условия:

- касание граней;
- обратное касание граней;
- обрезка (обработка «на острое ребро» с несоблюдением касания к граничному ребру).

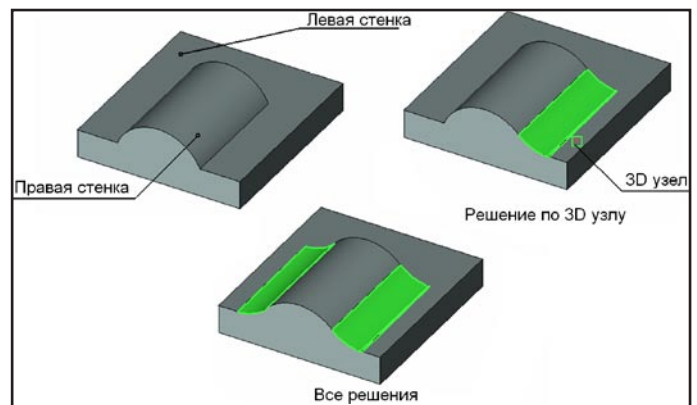
**Операция сглаживания трёх граней** строит поверхность перехода от одного набора гладко сопряженных граней к другому. При этом поверхность сглаживания будет построена по касательной к третьему набору граней. Наиболее типовая задача,



Обработка зон с малой кривизной при сглаживании ребер



Обработка вырезов при сглаживании граней



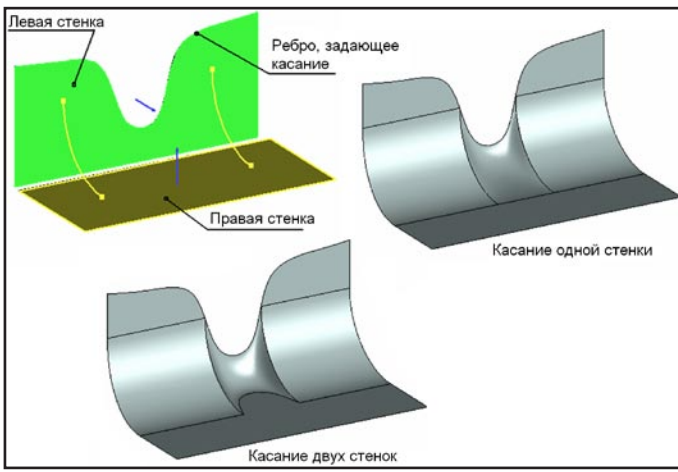
Выбор решения по узлу (сглаживание граней)

решаемая при помощи данной операции, — формирование гладкой поверхности перехода на торцевой стороне плоской детали. При выполнении сглаживания трех граней имеется возможность продолжить поверхность сглаживания на смежные с выбранными стенками грани.

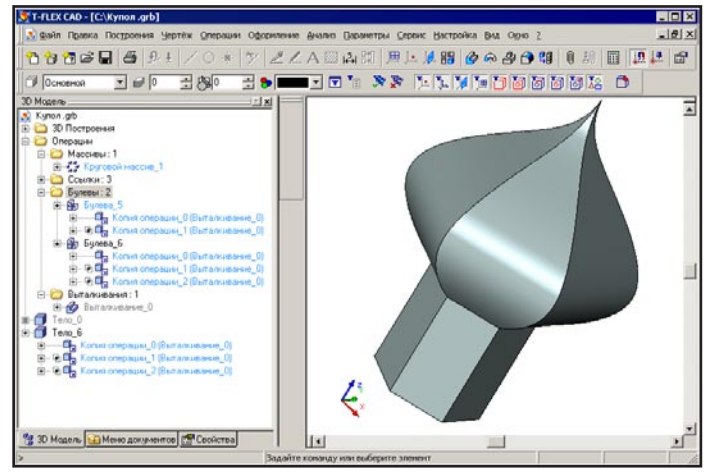
### Булевы операции

Булева операция (сложение, вычитание, пересечение) — одна из самых старых возможностей системы T-FLEX CAD. Она поддерживается начиная с самой первой 3D-версии системы, вышедшей в 1996 году. Булевы операции могут выполняться между наборами различных тел: твердых, листовых и их сочетаниями. При гибридном моделировании T-FLEX CAD позволяет явно указывать тип результирующего тела (твердое или листовое). При выполнении булевых операций над листовыми

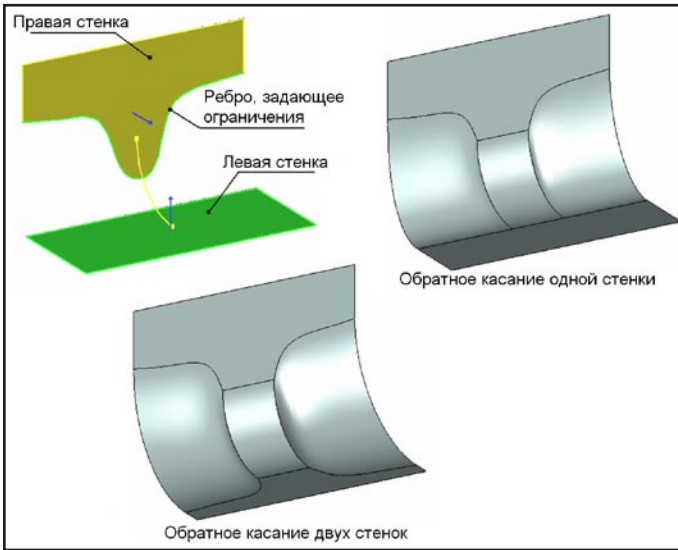




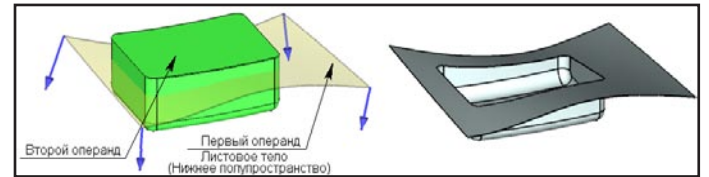
*Сглаживание граней с условием касания грани*



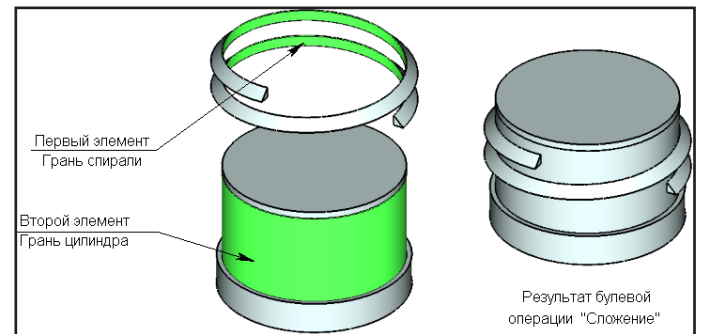
*Купол построен с помощью булевых операций пересечения*



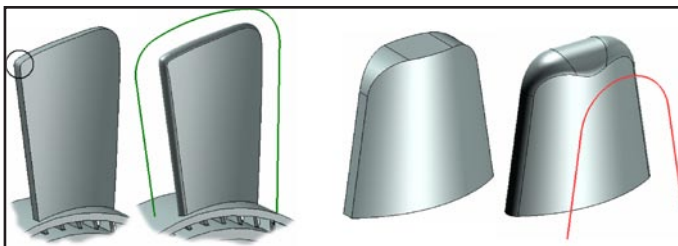
*Сглаживание граней с условием обратного касания грани*



*Пример сложения листового и твёрдого тела*



*Создание резьбы с помощью булевой операции сложения*



*Сглаживание трех граней*

ми телами или над твердыми и листовыми телами листовые тела могут интерпретироваться как «полупространства». Над ними возможно выполнение операций вычитания и пересечения для образования новых твердых тел.

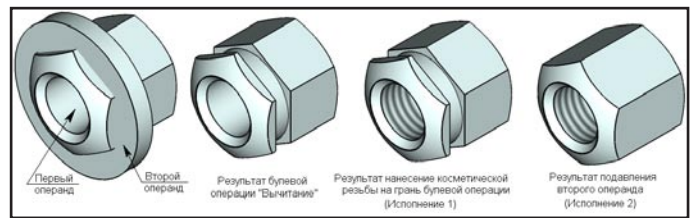
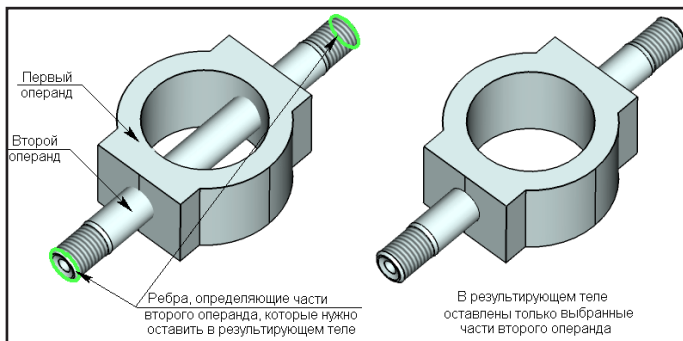
При выполнении булевой операции можно явно указать соответствие элементов (граней операндов), по которым происходит контакт. Примером этого может служить операция приклеивания спиральной нитки резьбы к цилиндрической поверхности (в данном случае имеется контакт сплайн-поверхности с точной аналитической). При создании булевой операции можно указать части операндов, которые будут оставлены в результирующем теле или, наоборот, исключены из него.

В тех случаях, когда операнды имеют совпадающие

участки, в команде предусмотрена возможность дополнительного определения топологического соответствия областей этих операндов:

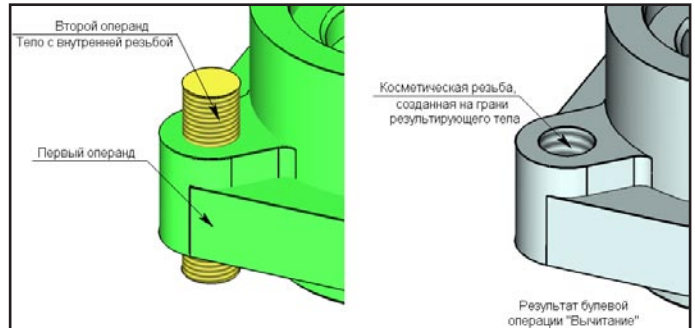
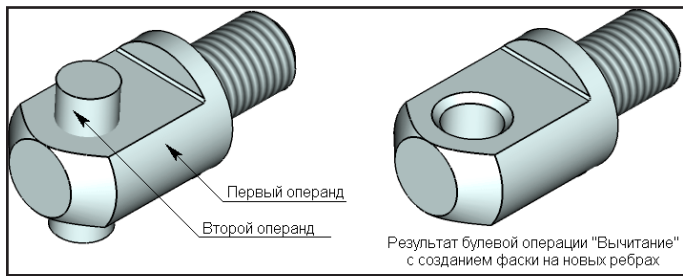
- полное совпадение;
- включение;
- частичное совпадение;
- проецирование.

При создании булевой операции система может автоматически сгладить ребра, полученные в результате пересечения граней операндов. Сглаживание может быть двух типов: скругление или фаска. При изменении геометрии операндов, уменьшении или увеличении числа новых ребер система будет автоматически это отслеживать и формировать сглаживание. В качестве операндов булевой операции допускается использовать 3D-фрагменты. При вставке 3D-фрагмента в сборку можно автоматически создавать булеву операцию с телами сборки. T-FLEX CAD позволяет создавать и пересчитывать без возникновения ошибок булеву операцию при отсутствии одного из операндов. Этот прием часто применяется в параметрических моделях, когда для определенного исполнения модели нужно ис-



Реализация различных исполнений при помощи булевой операции

### Исключение частей операндов при создании булевой операции



Автоматическое создание косметической резьбы при выполнении булевой операции

### Автоматическое создание сглаживания при выполнении булевой операции

ключить один из элементов. Например, таким образом можно реализовать разные исполнения гайки. T-FLEX CAD позволяет автоматически создать косметическую резьбу на грани результирующего тела, если резьба была нанесена на грани одного из операндов.

### Оболочки и эквидистантные тела

Для существующих в 3D-модели твердых тел можно создавать оболочки и эквидистантные тела. При построении оболочек часть граней исходного твердого тела можно удалять. Возможность создания эквидистантного тела можно использовать, например, для учета величины усадки при литье.

### Уклоны поверхностей и тел

Для создания разнообразных уклонов в T-FLEX CAD используются такие операции, как уклон граней и уклон тел.

**Уклон граней** позволяет отклонять выбранные грани на заданные углы с автоматической коррекцией смежных граней. В операции предусмотрены различные методы формообразования уклоняемой грани: стандартный, по смещению, по кривой, по поверхности.

При создании уклона грани можно использовать следующие дополнительные режимы:

- уклон всех граней, смежных с неподвижной;
- совместный уклон выбранной грани и смежной с ней грани скругления с обеспечением плавного сопряжения граней;
- создание уклона относительно нескольких неподвижных граней или ребер;
- обработка стыка между уклоняемой гранью и смежной с ней;

- с созданием вспомогательной промежуточной грани,
- с сохранением гладкого сопряжения между этими гранями;
- обработка стыка между двумя уклоняемыми гранями (аналогично предыдущему случаю);
- ступенчатый уклон;
- разбиение грани (при создании уклона криволинейной грани).

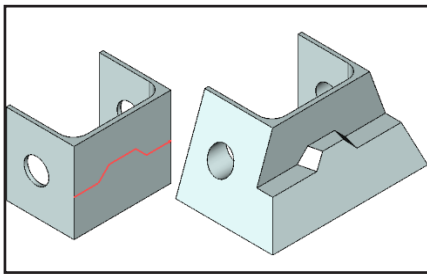
**Уклон тела** позволяет получать 3D-тела путем уклонения граней выбранного тела на заданные углы относительно выбранных ребер этого тела. За одну операцию можно произвести разрезание исходного тела на части и выполнить уклон боковых граней образовавшихся частей. Использование уклона тела значительно упрощает процесс проектирования литейных форм и пресс-форм. В отличие от операции «Уклон граней», эта операция позволяет создавать двусторонние уклоны, а также уклонять грани тела, не имеющие явного «неподвижного» ребра. В команде предусмотрены следующие методы формирования уклона: стандартный, по кривой, по поверхности.

При создании уклона тела можно использовать ряд дополнительных режимов для улучшения и коррекции результата:

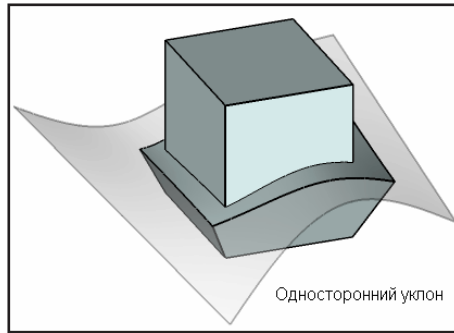
- регулировка углового соединения;
- исправление вогнутых углов;
- обработка стыков уклоненных граней;
- замена ребер.

### Отсечение

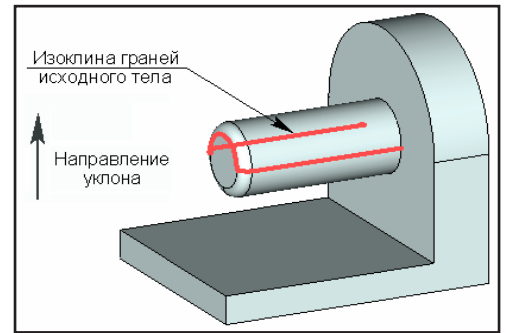
Операция отсечения позволяет разделить существующее тело (как твердое, так и листовое) на две части или отсечь от него лишнюю часть. В качестве секущей поверхности могут использоваться наборы связанных граней, сечения и рабочие плоскости.



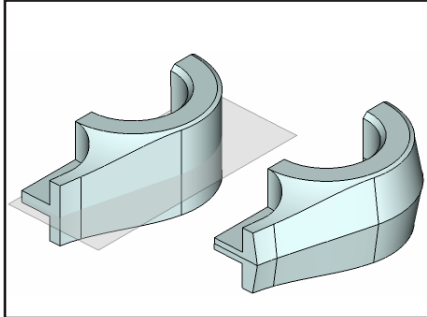
Уклон граней



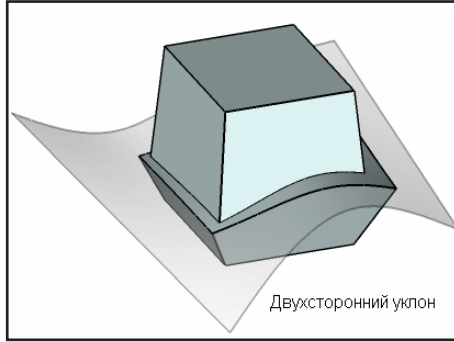
Односторонний уклон



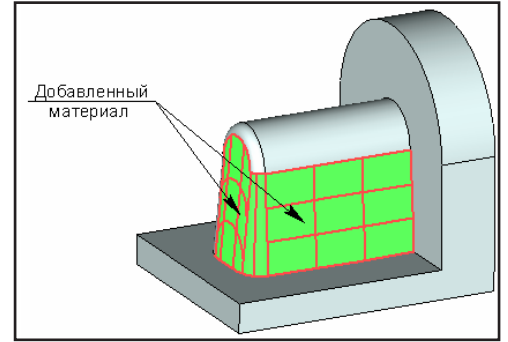
Изоклина граней  
исходного тела  
↑  
Направление  
уклона



Уклон тела



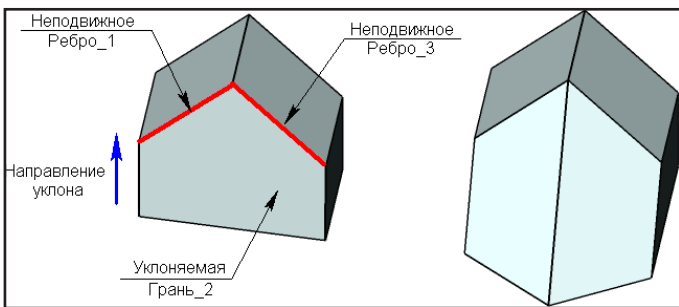
Двухсторонний уклон



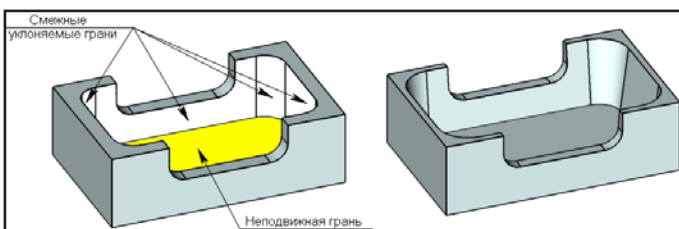
Добавленный  
материал

Уклон тела. В качестве разделяющего  
объекта может быть использовано  
исходное тело

В качестве исходных ребер для создания  
уклона была выбрана изоклина граней  
исходного тела



Уклон всех граней, смежных с неподвижной



Уклон всех граней, смежных с неподвижной

T-FLEX CAD позволяет создавать массивы следующих видов:

- линейный массив с созданием копий вдоль одного или двух направляющих векторов;
- круговой массив с созданием копий в одном направлении — по окружности вокруг заданной оси; возможно также создание копий во втором направлении — вдоль оси или по радиусу;
- массив по точкам (с заданием положения копий набором 3D-точек);
- массив по пути (с созданием копий вдоль одной или двух пространственных кривых с различными способами размещения копий относительно кривых);
- параметрический массив (положение в пространстве и параметры копий определяются заданным параметрическим законом).

В качестве исходных объектов для создания массивов могут служить:

- 3D-тела — операции (массив операций);
  - 3D-элементы построения (массив построений) — таким образом, например, можно размножить рабочие плоскости или 3D-узлы;
  - грани тел (массив граней) — используются для добавления к телам отверстий и выступов, повторяющих уже имеющиеся в них конструктивные элементы;
  - тела (массив тел) — при дальнейшей доработке копируемого тела массив будет пересчитываться с учетом новых операций, вошедших в историю его создания.
- Количество создаваемых копий может быть переменным (например, может задаваться переменной).

### Копии и массивы

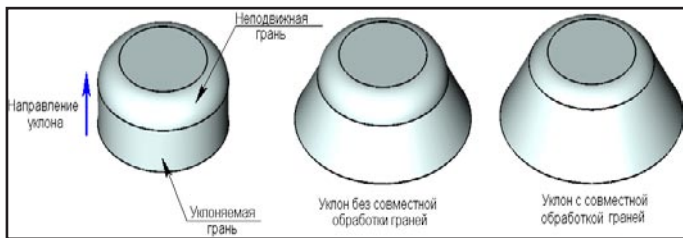
Для создания копий T-FLEX CAD предоставляет пользователю множество различных механизмов, в том числе операции копирования, симметрии и создания 3D-массивов.

**Симметрия** дает возможность быстро отразить тело относительно любой плоскости симметрии.

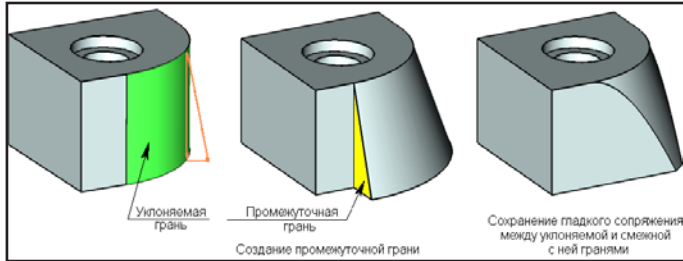
**Копирование** позволяет создать копию исходного тела с различными параметрами преобразования. Параметры переноса определяются двумя системами координат: исходной и целевой. Обе операции позволяют иди переместить исходное тело, или создать новое — копию исходного.

С помощью **3D-массивов** можно получить неограниченное количество копий исходных 3D-элементов.

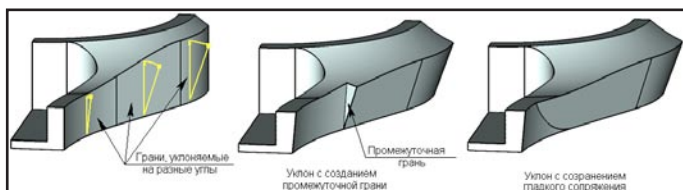




Совместный уклон выбранной грани и смежной с ней грани скругления



Обработка стыков между уклоняемой гранью и смежной с ней



Обработка стыка между двумя уклоняемой гранями

T-FLEX CAD позволяет исключить любую копию из массива с помощью следующих механизмов:

- задание ограничений (области 3D-пространства, в которой должны находиться создаваемые копии);
- задание исключений (задаются указанием номера строки и столбца исключаемой копии):
  - исключение отдельных элементов массива (по номеру строки и столбца);
  - исключение целой строки/столбца;
  - исключение копии с циклическим повтором.

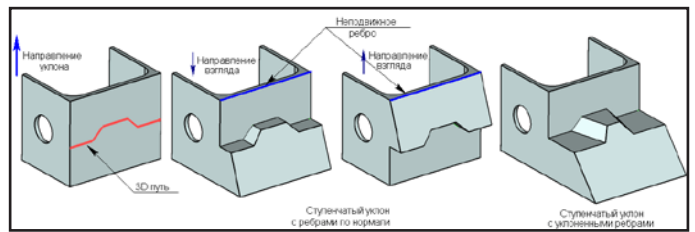
Для 3D-массивов тел и операций доступны следующие дополнительные режимы:

- автоматическое разбиение массива на отдельные 3D-тела;
- объединение всех копий массива в одно тело (с помощью булевой операции сложения).

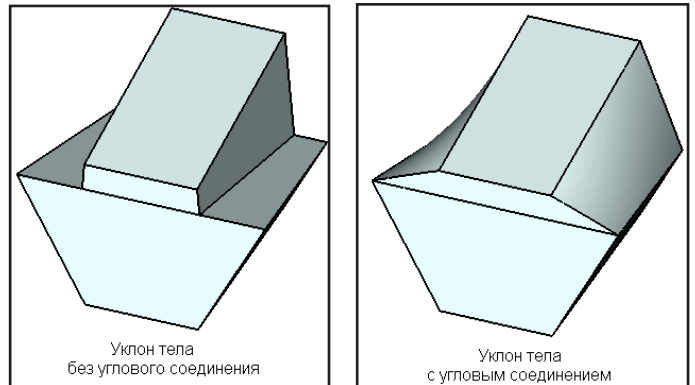
### Спирали, пружины, резьбы

В T-FLEX CAD существуют специальные команды для создания спиралей, пружин и резьб произвольного сечения. Операция «Спираль» позволяет создавать тела в виде спирали на основе замкнутого контура произвольной формы. С ее помощью можно получить винтовую коническую или цилиндрическую пружину произвольного профиля, создать точную модель резьбы.

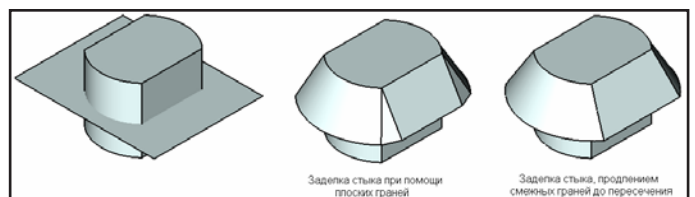
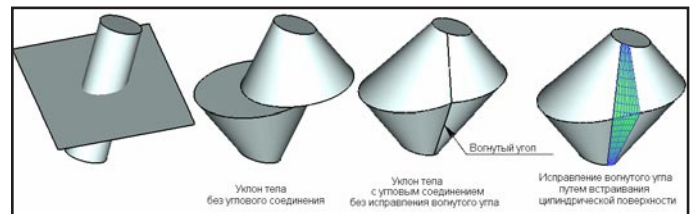
При создании спирали можно использовать различ-



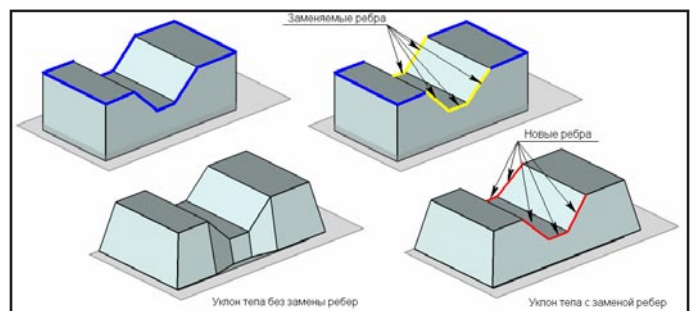
Ступенчатый уклон граней



Регулировка углового соединения при уклоне тела



Исправление вогнутых углов при создании уклона тела



Замена ребер при создании уклона тела

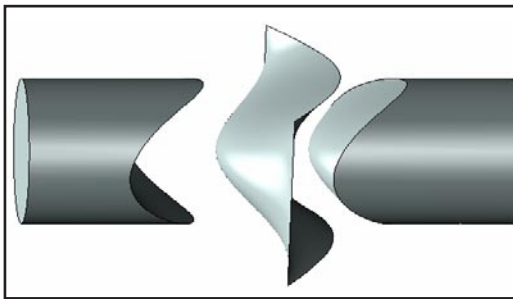
ные способы ориентирования исходного контура:

- перпендикулярно винтовой кривой;
- перпендикулярно оси;
- параллельно оси.

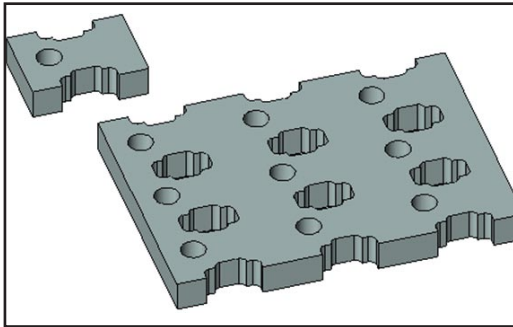
### Спирали и пружины в T-FLEX CAD

На конечных витках создаваемой спирали может быть автоматически выполнено сглаживание с различной степенью затухания. Данная возможность существует для задания сбег резьбы при создании резьбовых тел.

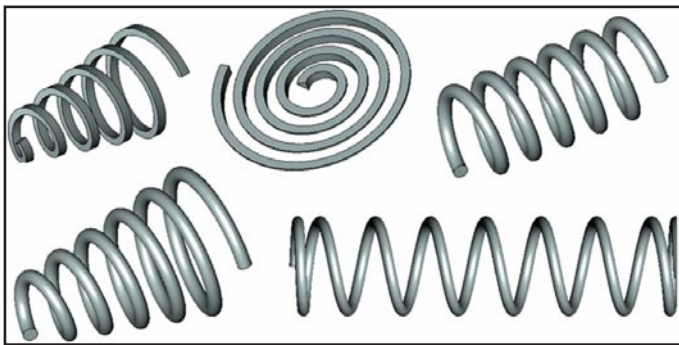
Операция «Пружина» позволяет создавать пруж-



Рассечение тела (операция «Отсечение»)



Линейный массив с объединением копий



Спирали и пружины в T-FLEX CAD

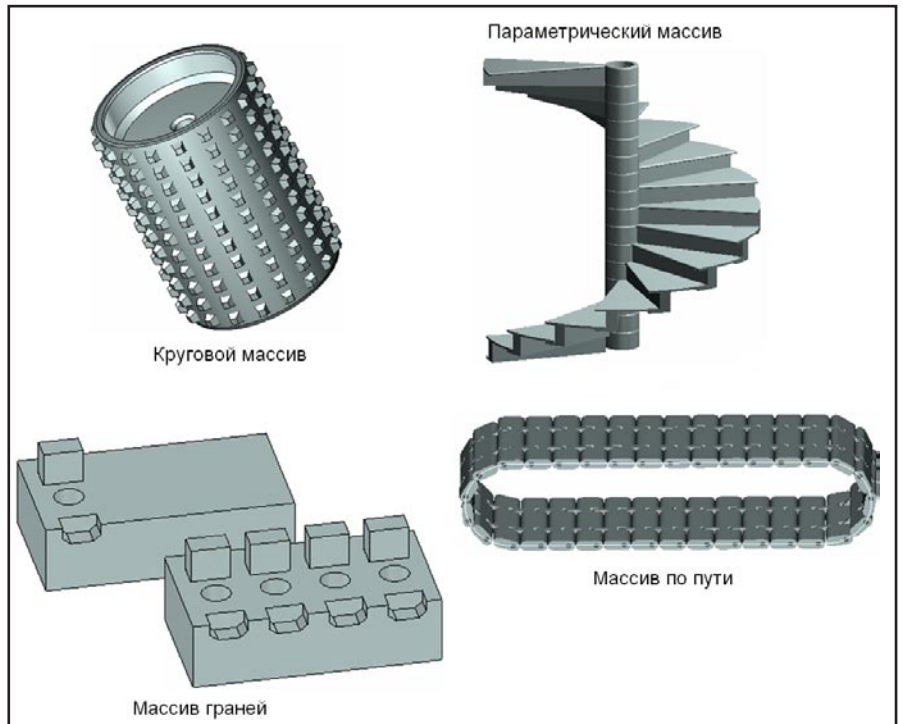
жины круглого сечения. При создании пружины может быть автоматически выполнено поджатие и зашлифовка концевых витков.

### Операции для работы с гранями

Система T-FLEX CAD поддерживает прямое редактирование геометрии 3D-моделей. При этом сохраняется история всех изменений, и впоследствии все они будут участвовать в общем пересчете модели. Это полезно при работе с импортированными моделями, когда нет доступа к исходным операциям. Например, можно изменить параметры граней с аналитической геометрией (цилиндр, конус, сфера, тор) или поверхности скругления. Команды изменения граней также можно использовать при специализированном моделировании (например, разделение граней бывает нужно при создании линий и поверхностей разъема пресс-форм); при подготовке 3D-модели к анализу методом конечных элементов.

Для работы с гранями в T-FLEX CAD существует набор специальных команд:

- сшивка граней;
- разделение граней;



Примеры 3D-массивов T-FLEX CAD

- удаление граней;
- отделение граней;
- замена граней;
- изменение граней;
- перемещение граней;
- расширение поверхностей;
- заполнение области.

**Сшивка** — создает твердые тела или тонкостенные конструкции из набора разрозненных соприкасающихся поверхностей (граней, 3D-профилей, листовых тел). При сшивке набора в твердое тело могут автоматически достраиваться недостающие простые поверхности.

**Разделение граней** — формирует на уже существующих гранях новые участки заданной формы. Формирование нового участка производится на основе либо разделяющего элемента (грань, ребро, 3D-профиль, операция), либо геометрии разделяемого элемента.

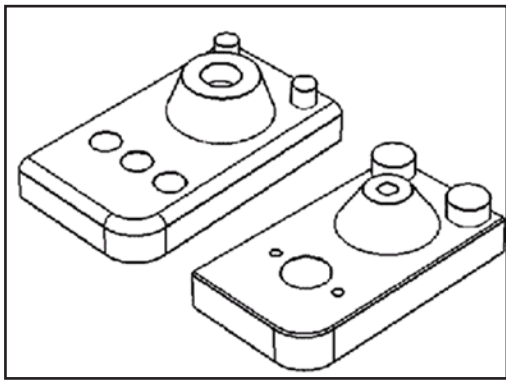
Разделение граней может производиться разными способами:

- проецированием разделяющего объекта по направлению;
- проецированием разделяющего объекта по нормали;
- пересечением;
- проецированием очерковой линии;
- созданием изоклины.

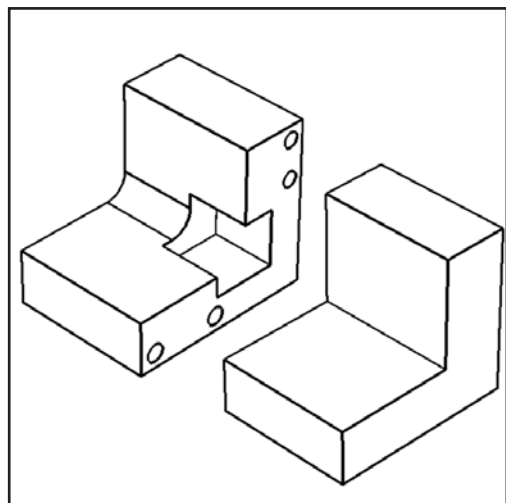
**Удаление граней** — удаляет одну или несколько выбранных граней.

При возникновении пустот в твердом теле (в результате удаления граней) система может попытаться ликвидировать их различными методами:

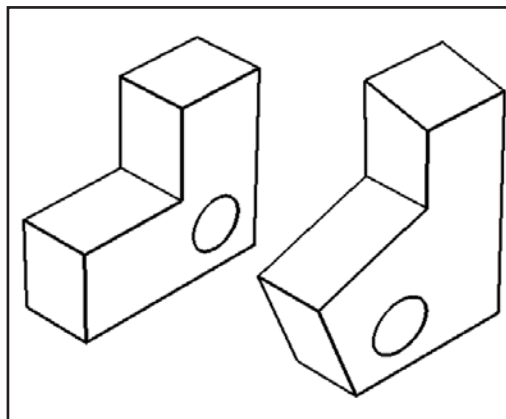
- только удалить;
- удалить с затягиванием;
- удалить с расширением родителей;



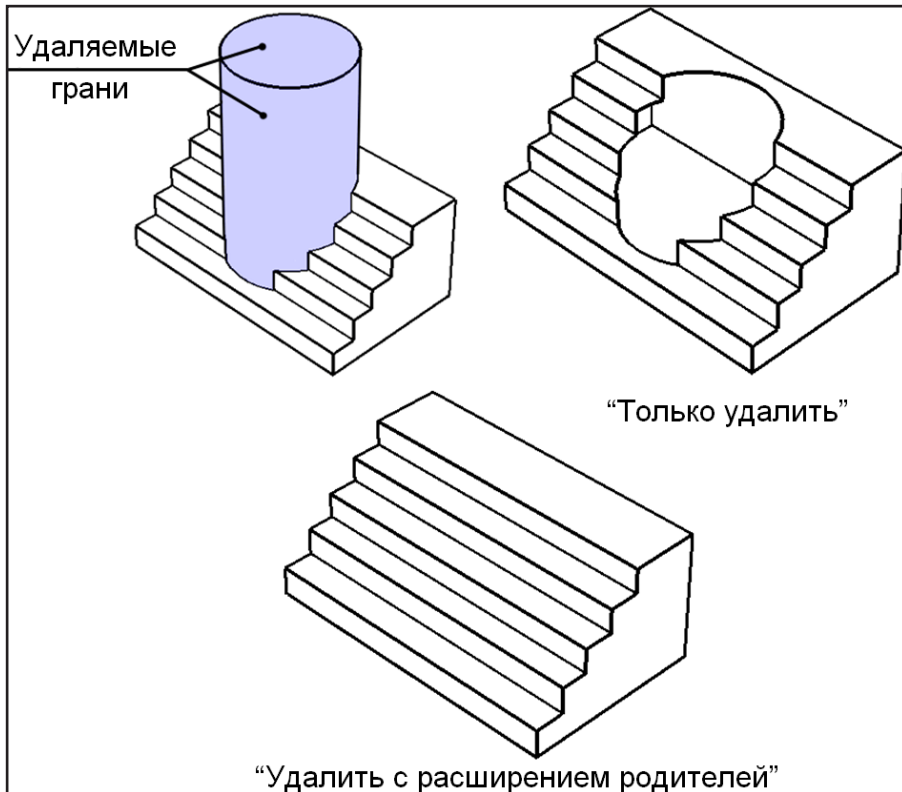
*Изменение граней внешней модели*



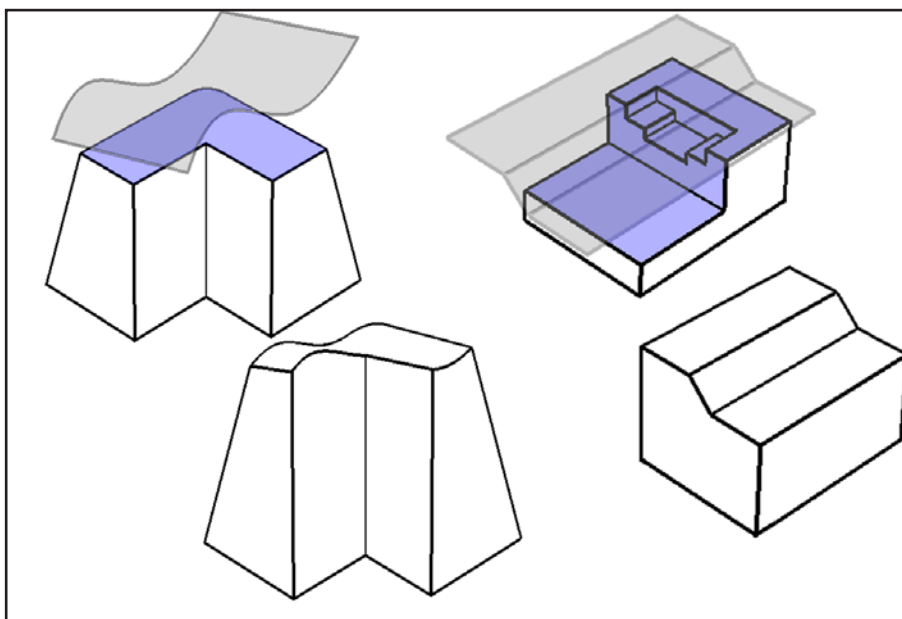
*Удаление граней*



*Перемещение граней*



*Ликвидация пустот при удалении граней*



*Замена граней*

- удалить с усадкой.  
 При удалении граней можно использовать следующие дополнительные режимы:

- независимая обработка циклов;
- удаление сглаженных граней:
  - только выбранные грани;
  - цепочки без граней ветвления
  - цепочки с гранями ветвления;
  - максимальные цепочки;
  - только зависимые грани.

**Отделение граней** — исключает выбранные грани из уже существующего тела, создает на их основе новое тело.

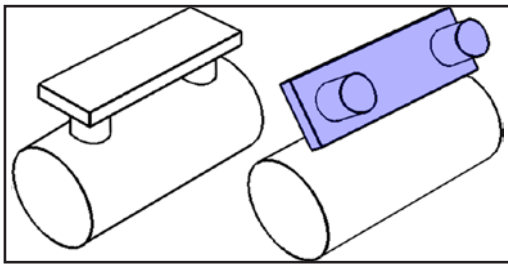
Получившиеся пустоты в телах могут быть замкнуты различными способами:

- не обрабатываются;
- обрабатываются с затягиванием;
- обрабатываются с расширением родителей/потомков.

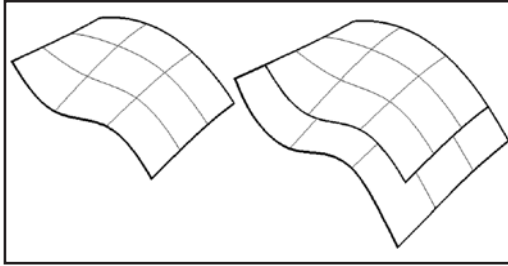
**Замена граней** — заменяет геометрическую поверхность под выбранными гранями другими поверхностями. Ограничивающие заменяемые грани смежные грани продлеваются или обрезаются до пересечения с заменяющей поверхностью. В качестве заменяющей поверхности можно использовать листовое тело.

**Изменение граней** — изменяет параметры граней, в основе которых лежат аналитические поверхности (цилиндр, конус, сфера и тор), а также параметры граней, полученных с помощью операции сглаживания.

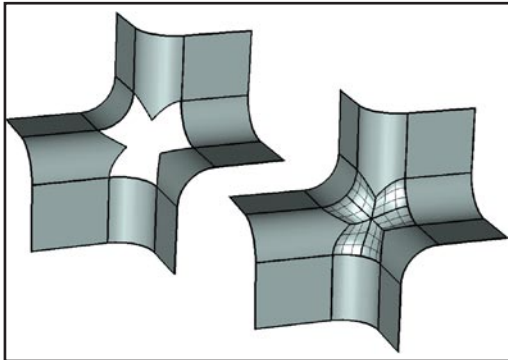




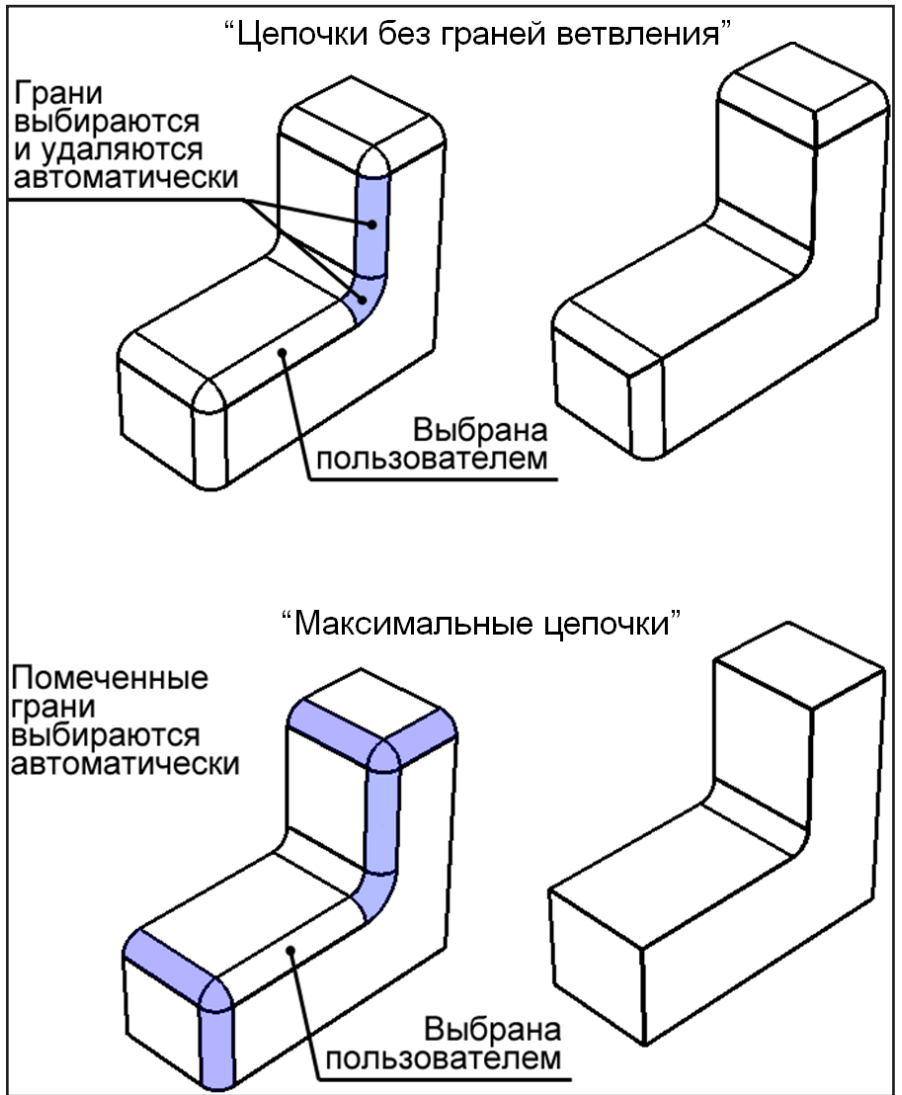
Отделение граней



Расширение поверхности



Заполнение области



“Цепочки без граней ветвления”

Грани  
выбираются  
и удаляются  
автоматически

Выбрана  
пользователем

“Максимальные цепочки”

Помеченные  
границы  
выбираются  
автоматически

Выбрана  
пользователем

Варианты удаления сглаженных граней

**Перемещение граней** — позволяет применить преобразование к одной или к нескольким выбранным граням. Выбранные грани перемещаются на новое место, продлеваются (или укорачиваются) до пересечения с поверхностями смежных граней. Смежные грани также продлеваются (или укорачиваются) до пересечения с перемещаемыми гранями.

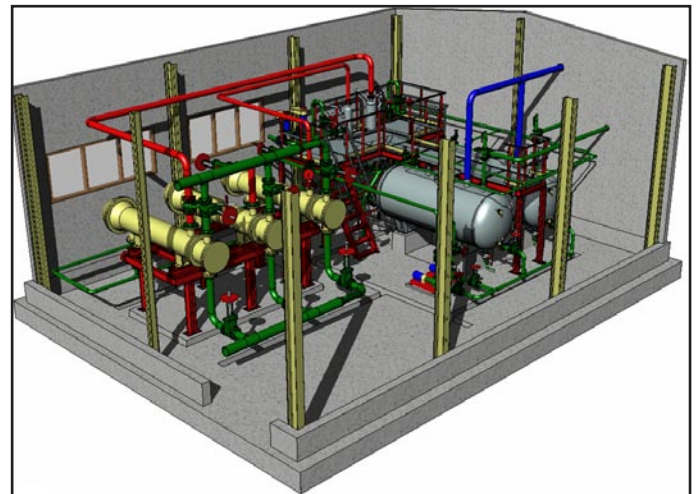
**Расширение поверхности** — позволяет увеличить размеры выбранной грани (или нескольких граней, принадлежащих листовому телу) в заданном направлении на заданную длину. Направление увеличения грани задается выбором боковых ребер на увеличиваемых гранях. При выполнении расширения система может обеспечить гладкость внутренних ребер.

Форма новой грани, создаваемой при расширения поверхности, задается выбором одного из следующих вариантов:

- линейная;
- исходной поверхности;
- подобная.

Дополнительные режимы команды:

- «Изменить исходную поверхность» (при расширении изменяется исходная грань, а не создается дополнительная);
- «Оставлять исходное тело» (позволяет ос-



Построение трубопроводов в T-FLEX CAD

тавить в структуре модели исходное тело).

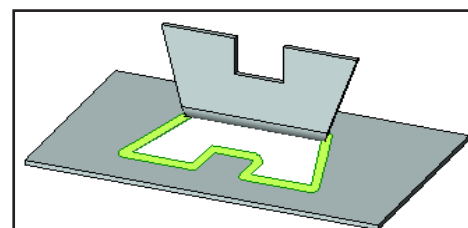
**Заполнение области** — предназначена для заполнения пустых областей контуров в листовом теле. Заполнение осуществляется путем создания одной или нескольких граней, затягивающих указанные области. В зависимости от исходной геометрии программа может заполнить область на основе аналитической, линейчатой поверхности или непосредственно указанного листового тела. Заполнение области полезно при работе с импортированными



*Расширение поверхности с разной формой поверхности*



*Пример применения операций гибки и выштамповки в T-FLEX CAD*



*Отгибание по профилю*

моделями, в телах которых есть пустоты, полученные потерей некоторых граней при некачественном экспорте/импорте.

### Создание трубопроводов

В T-FLEX CAD имеются специализированные средства для непараметрических трехмерных построений через плоскость черчения. Главное их предназначение — построение сетей трубопровода или электрической разводки. Однако построения с помощью плоскости черчения можно применять и для многих других функций, например для быстрого расположения источников света в 3D-сцене. Операция создания трубопровода позволяет получить 3D-тело-трубу заданного диаметра по пространственной траектории (3D-пути, 3D-профилю, ребру, циклу и т.п.). Трубу можно строить как по всей траектории, так и по отдельному участку, ограниченному двумя 3D-точками. В качестве исходной кривой при построении трубопровода можно использовать специальный тип 3D-пути T-FLEX CAD — путь трубопровода. Путь трубопровода создается специальной командой из прямолинейных участков, автоматически сопрягаемых дугами окружностей.

### Листовой металл

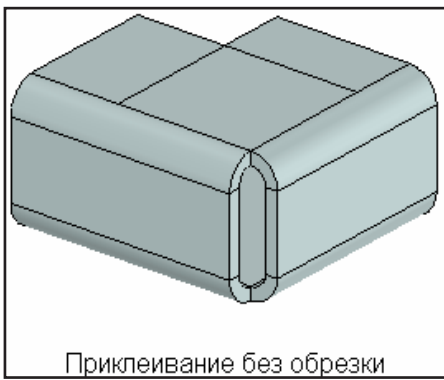
Для облегчения моделирования тонкостенных деталей в T-FLEX CAD имеется специальная группа команд:

- задание параметров листового металла;
- гибка;
- разгибание;
- повторная гибка;
- выштамповка.

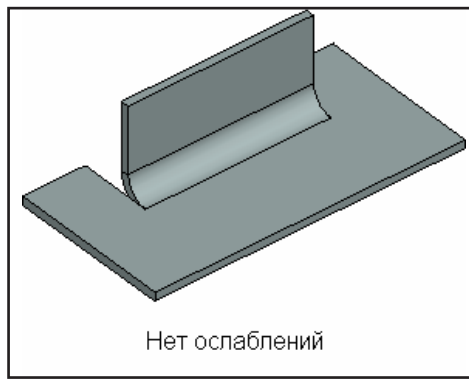
При проектировании листовых конструкций, наряду со специализированными командами, можно использовать и команды общего назначения (выталкивание, булевы операции, создание отверстий и т.п.). Моделируя процессы гибки и штамповки, пользователь может создавать сложные модели листовых деталей и получать исходные заготовки для их изготовления. Команды работы с листовым металлом позволяют создавать исходные заготовки детали заданной толщины и выполнять над ними различные формоизменяющие операции: сгибать их относительно выбранной линии, «приклеивать» к заготовке отгибы, делать вырезы.

При создании гибки можно задавать:

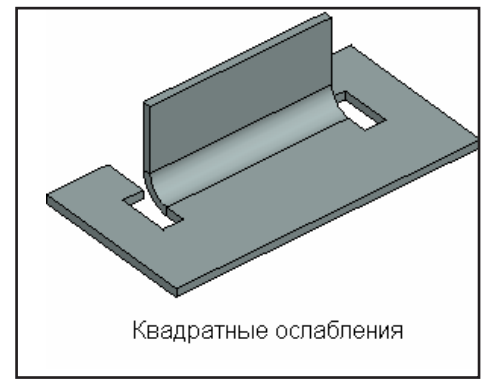
- тип гибки:
  - сгибание,
  - отгибание,
  - отгибание по профилю,
  - приклеивание;
- положение линии сгиба (для всех типов гибки):
  - в начале сгиба;
  - посередине сгиба;
  - в конце сгиба;
- смещение линии сгиба от исходного положения (для всех типов гибки);
- отступы от краев базовой линии гибки (кроме сгибания);
- режим расчета длины приклеиваемого язычка (только для приклеивания):
  - по нейтральному слою,



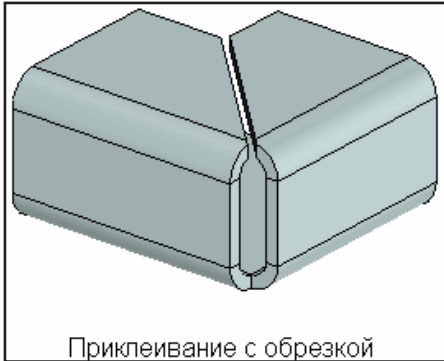
Приклеивание без обрезки



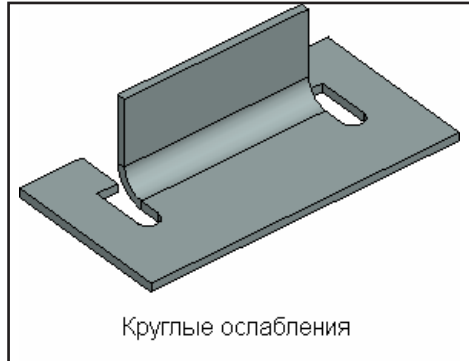
Нет ослаблений



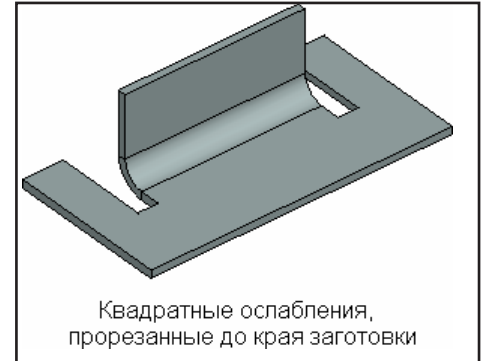
Квадратные ослабления



Приклеивание с обрезкой



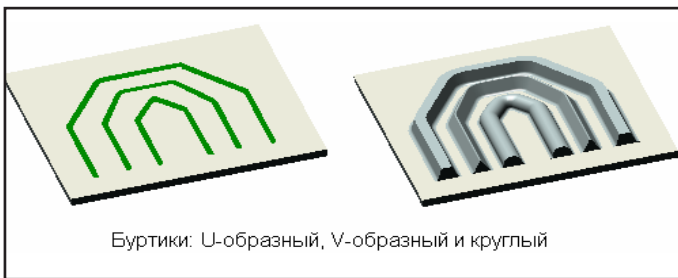
Круглые ослабления



Квадратные ослабления, прорезанные до края заготовки

*Автоматическая обрезка соприкасающихся краев при приклеивании*

*Автоматическое создание пазов для снятия напряжений при гибке*

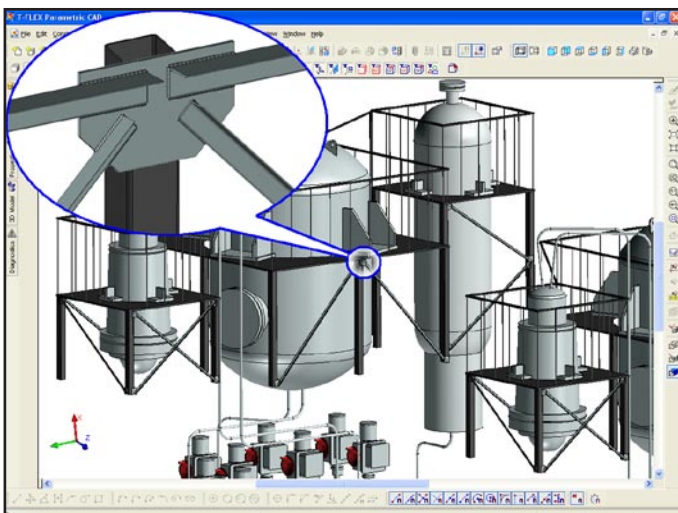


Буртики: U-образный, V-образный и круглый



Карман, Лювер круглый, Загиб

*Примеры элементов штамповки в T-FLEX CAD*



*Создание сварочных швов в T-FLEX CAD*

- по внешней стороне,
- по внутренней стороне,
- по прямой части.

Дополнительные возможности операции гибки:

- уменьшение приклеиваемого/отгибаемого язычка;
- обрезка соприкасающихся краев приклеиваемых язычков;
- создание специальных пазов для снижения напряжений в металле (ослаблений).

После завершения процесса моделирования можно разогнуть деталь (операция «Разгибание») и получить листовую заготовку, создать ее чертеж, а затем вернуться к прежнему виду детали (операция «Повторная гибка»). Специализированная команда выштамповки, входящая в группу команд работы с листовым материалом, позволяет создавать различные часто встречающиеся элементы штамповки: разного рода буртики, канавки, загибы, люверы, карманы. При работе команды используется библиотека элементов штамповки, открытая для самостоятельного дополнения.

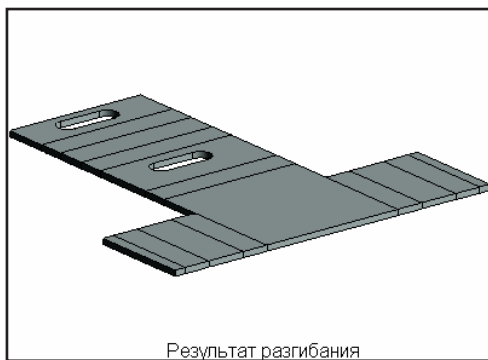
### **Сварные швы**

С помощью специальной группы команд «Сварка» в T-FLEX CAD можно создавать любые виды сварных швов как на 2D-чертеже, так и на 3D-модели. Для созданных сварных швов можно автоматически наносить обозначения и получать таблицы сварных швов в соответствии с российскими и международными стандартами. Имеется возможность экспортировать список швов во внешний файл и, наоборот, получать данные для таблицы из внешнего источника. На 3D-модели сварные швы обозначаются специальным «декоративным» те-

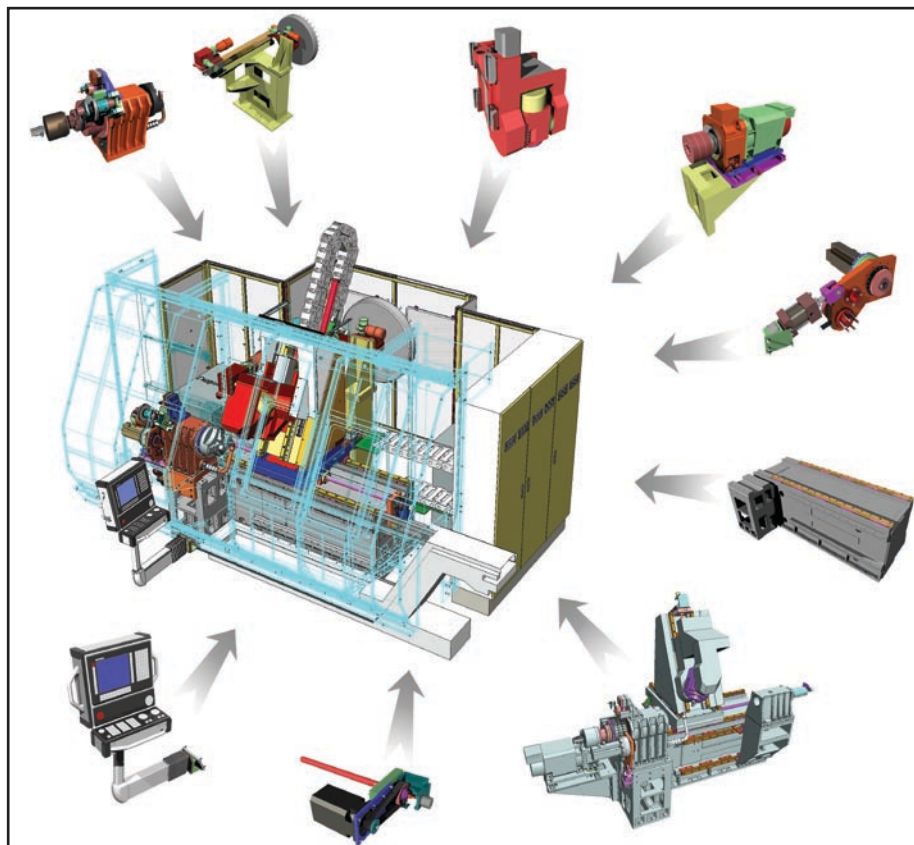




Исходная деталь

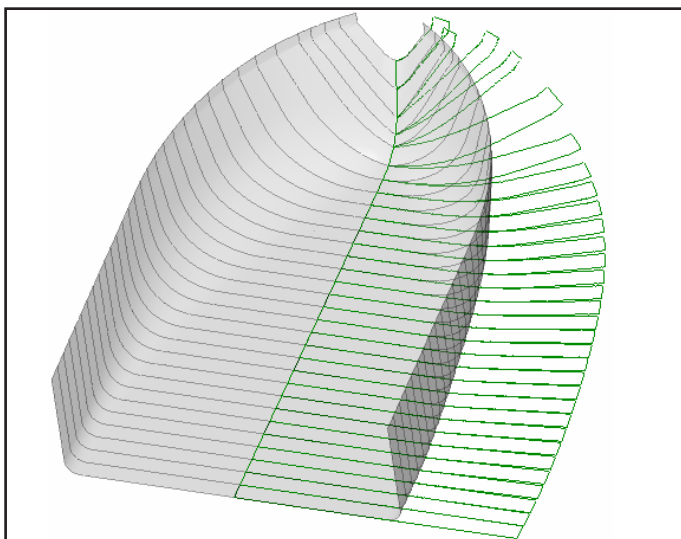
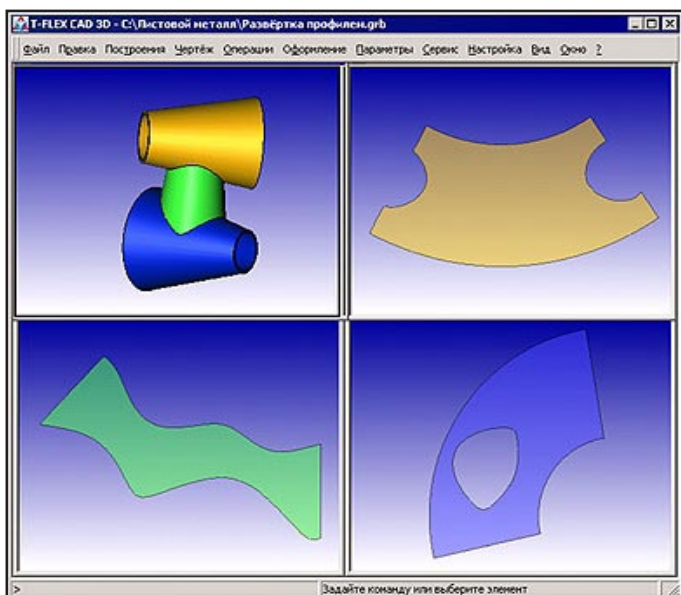


Результат разгибания



Разгибание листовой детали

Проектирование сборочных 3D-моделей методами «снизу-вверх» и «сверху-вниз»



Построение разверток в T-FLEX CAD

лом с характерной текстурой. При создании чертежа с помощью проекции детали, содержащей 3D-сварные швы, система автоматически «подхватит» с 3D-модели обозначение сварного шва.

### Развертки

T-FLEX CAD позволяет создавать развертки аналитических и произвольных линейчатых граней и наборов поверхностей. Результат создания развертки представляет собой 3D-профиль.

### 3D-сборки

T-FLEX CAD поддерживает следующие методы работы со сборками:

- проектирование от детали к сборке («снизу-вверх»);
- проектирование в контексте сборки («сверху-вниз»);
- сочетание проектирования «снизу-вверх» и «сверху-вниз»;
- создание параметрических сборок;
- использование сопряжений;
- использование конфигураций;
- применение адаптивных фрагментов;
- поддержка структурных изменений сборок (сборки с переменным составом);
- создание детализовок;
- работа с большими сборками;
- сборка – разборка;
- анимация сборок с генерацией AVI-файлов;
- проверка собираемости;
- перенос сборок без потери фрагментов.

Компонентом 3D сборки T-FLEX CAD может служить 3D-модель, созданная в T-FLEX CAD, либо

модель другой системы, переданная в T-FLEX CAD в одном из поддерживаемых обменных форматов. В сборочном документе всегда сохраняется связь с документом элемента сборки (фрагмента). При работе со сборкой система следит за состоянием используемых файлов. В случае изменения файла компонента сборки данный компонент заново пересчитывается и загружается в сборку. Файлы-фрагменты, участвующие в сборке, являются самостоятельными документами, и в свою очередь также могут являться сборкой. T-FLEX CAD может работать со сборками не ограниченными ни количеством деталей, ни иерархией их организации.

### Привязка фрагментов

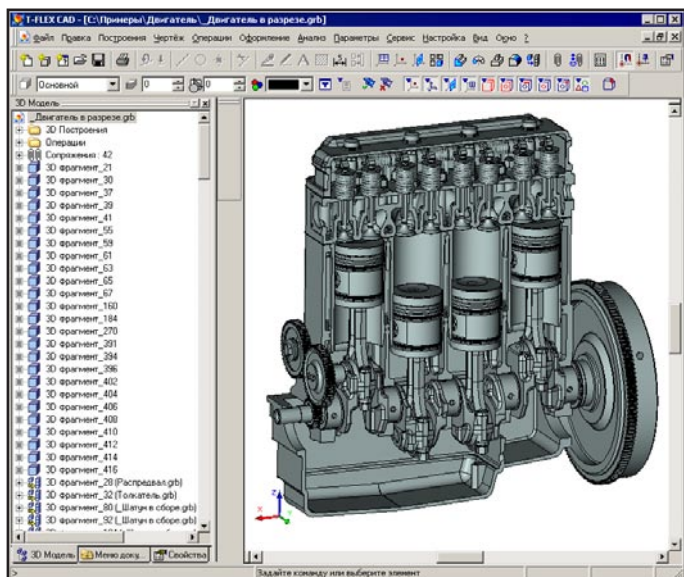
Задание положения 3D-фрагментов в сборке T-FLEX CAD может осуществляться:

- по локальным системам координат (ЛСК), с возможностью задания степеней свободы фрагмента;
- с использованием геометрии сборки (например, привязка фрагмента-болта по ребру отверстия);
- с помощью сопряжений;
- по 2D-фрагменту (планировка).

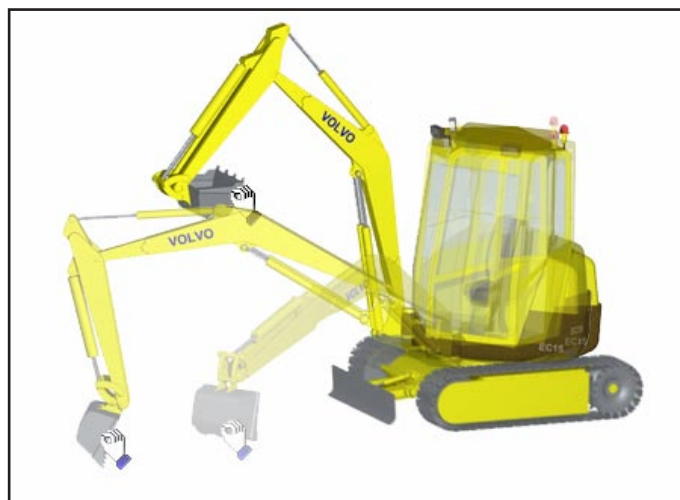
T-FLEX CAD позволяет совместное использование различных способов привязки 3D-фрагментов. Модель механизма, спроектированную при помощи сопряжений и ЛСК с заданными степенями свободы, можно заставить двигаться в специальной команде, перемещая её детали с помощью курсора.

### Параметрические 3D-фрагменты и сборки с переменным составом

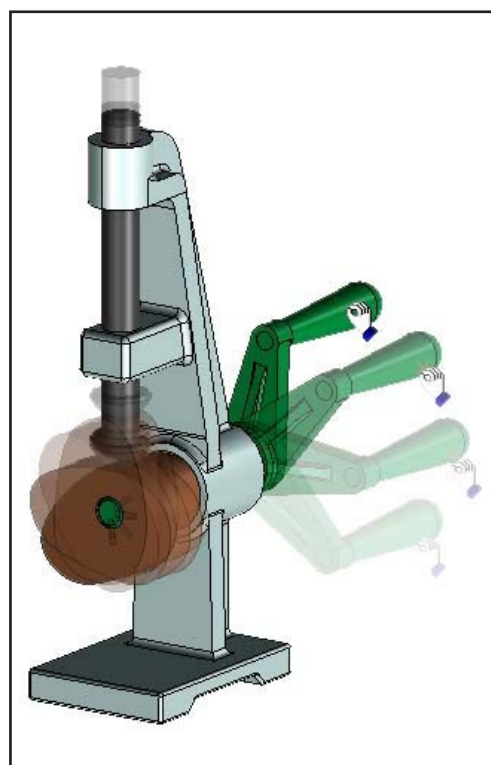
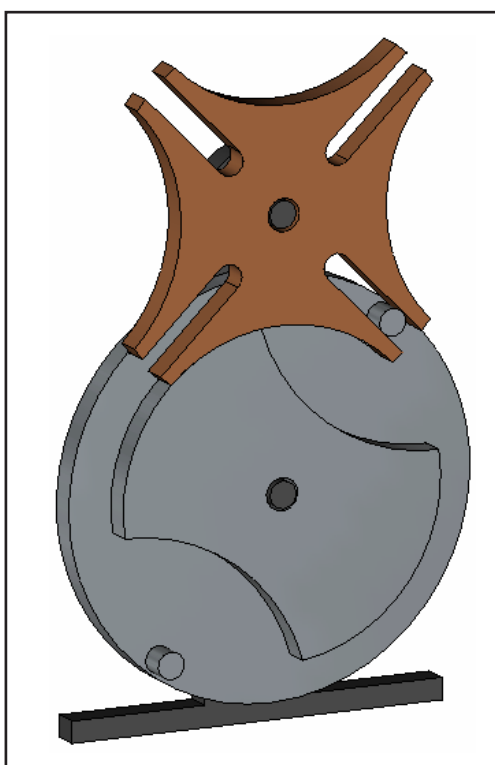
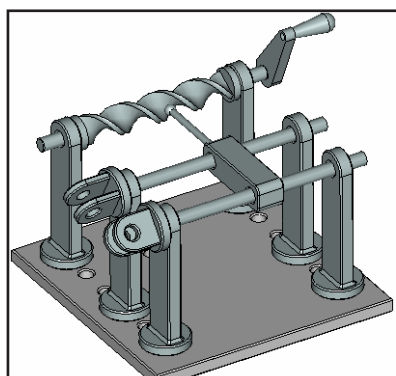
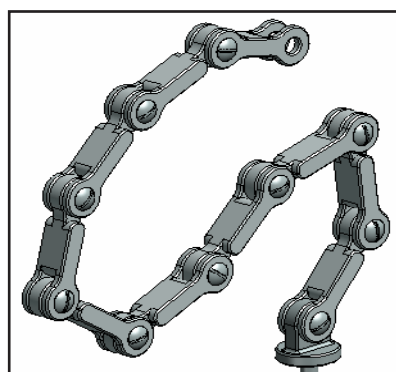
Любую модель 3D-фрагмента T-FLEX CAD можно построить таким образом, что её можно будет изменять при помощи внешних переменных. Это даёт



3D-сборка двигателя, выполненная в T-FLEX CAD



Анимирование движения механизмов



Привязка 3D-фрагментов с помощью сопряжений

Анимирование движения механизмов



значительные преимущества при использовании такой модели много раз в одной или нескольких сборках с различными вариантами значений внешних переменных. Один и тот же файл параметрической детали может обеспечивать сразу несколько сборок. Управление параметрическими компонентами сборки может осуществляться из сборочного документа.

Наряду с параметрическими фрагментами T-FLEX CAD позволяет создавать сборки с переменным составом. Структура такой сборки (т.е. набор входящих в неё фрагментов) будет меняться динамически при изменении параметров сборки.

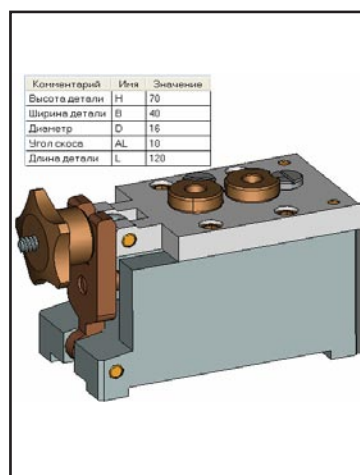
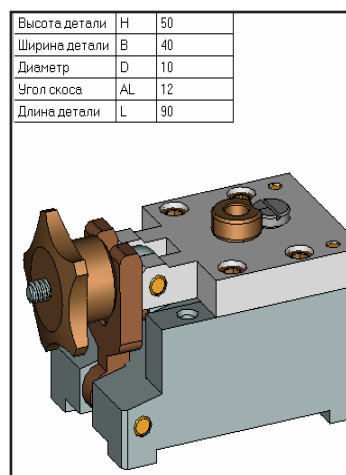
### Адаптивные фрагменты

T-FLEX CAD поддерживает механизм адаптивных (автоматически изменяемых) деталей, который обеспечивает связь между элементами сборки посредством геометрических параметров. Использование геометрических связей упрощает редактирование и управление сборочной моделью. В качестве геометрического параметра могут использоваться любые элементы модели (твёрдое тело, 3D-узел, 3D-путь, 3D-профиль, рабочая плоскость, ЛСК, вершина, ребро, грань, цикл).

При вставке данного фрагмента в 3D-модель в структуру его модели вместо исходной геометрии внешнего параметра подставляется соответствующая геометрия сборки. Таким образом, 3D-фрагмент как бы «адаптируется» к объектам сборочной модели. Этот механизм может значительно снизить время проектирования, позволяя пользователям создавать свои собственные операции, а также библиотеки операций для специализированных приложений. Например, на основе адаптивных 3D-фрагментов выполняются операции вставки отверстия и создания выштамповки в соответствующих командах системы.

### Конфигурации

Для ускорения процесса проектирования сборок в T-FLEX CAD используется механизм конфигураций. Механизм сокращает время пересчёта 3D- сборки за счёт исключения фазы пересчёта модели фрагмента.



В обычном режиме работы при пересчете сборки или при вставке нового 3D фрагмента со значениями внешних переменных, отличных от значений внутри файла фрагмента, система вынуждена заново пересчитать модель 3D фрагмента для расчета актуальной геометрии.

T-FLEX CAD позволяет сохранять внутри файла фрагмента варианта геометрии для каждого нужного сочетания значений внешних переменных. При вставке документа как 3D-фрагмента в сборку, вместо того ввода значений внешних переменных, можно выбрать нужную конфигурацию фрагмента.

### Детализировка

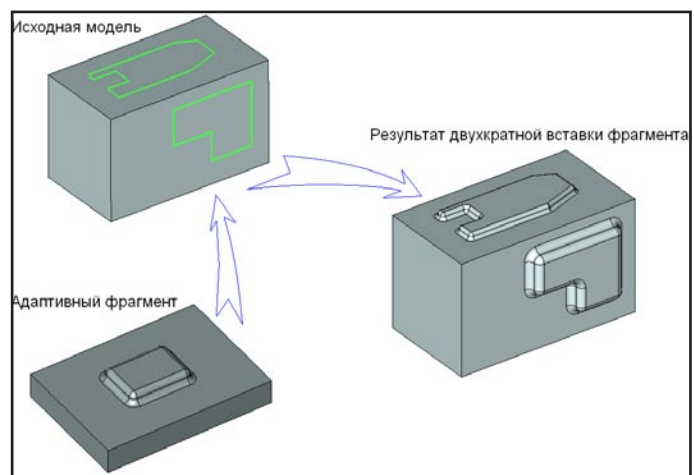
Вид параметрической детали-фрагмента в сборке может существенно отличаться от исходной модели в документе фрагмента. Для получения комплекта документации на текущую модификацию детали в T-FLEX CAD используется операция детализовки. Она позволяет получить 3D-модель и чертёж детали с параметрами их сборки.

### Работа с большими сборками

В целях оптимизации работы со сборочными моделями в системе предусмотрены специальные средства управления большими сборками. Они позволяют проводить работу только с теми узлами сборки, которые этого требуют, экономить в целом количество использованной оперативной памяти, облегчить вращение 3D-сцены при большом её насыщении объектами.

Методы оптимизации работы со сборочными моделями в T-FLEX CAD:

- автоматическая загрузка и выгрузка детальной информации об объектах сборки;
- блокировка отображения косметических резьб и сварных швов;
- запрет на прорисовку мелких деталей, размер которых меньше установленного;
- создание 2D-проекции на основе 3D-модели, находящейся во внешнем файле, с сохранением ассоциативной связи.



Пример параметрической сборки с переменной структурой

Пример адаптивного фрагмента бобышки



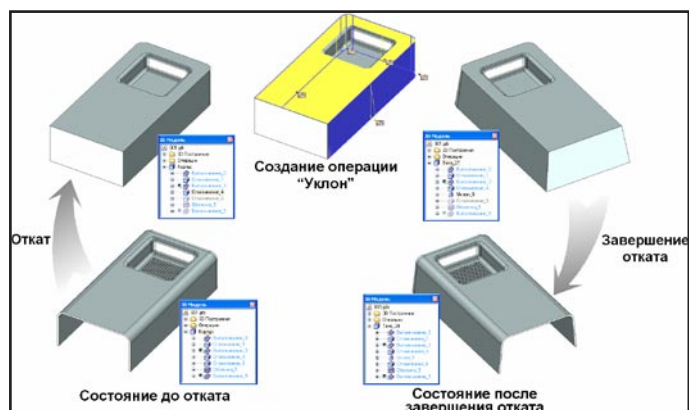
## Перенос сборок

Для удобства переноса больших сборочных документов в другое место в файловой системе или для запаковки сборки в один файл (например, для передачи заказчику) в T-FLEX CAD поддерживается механизм переноса сборок. При его использовании нет необходимости отыскивать все файлы фрагментов, которые могут находиться в разных папках, на разных дисках, в библиотеках и т. д. Достаточно “запаковать” сборочную модель в одну папку или в один файл (с возможностью последующей выгрузки фрагментов в отдельные файлы).

## Редактирование модели

Для изменения 3D-модели пользователю предоставляются следующие возможности:

- возможность отмены/повторения неограниченного количества действий пользователя с помощью Undo/Redo;
- редактирование всех 3D объектов с помощью тех же команд, что и создание;
- возможность входа в режим редактирования из контекстного меню при выборе 3D-элемента в любом месте рабочего окна T-FLEX CAD (в 3D-сцене, в дереве модели, в окне диагностики и т.п.);
- возможность изменения любого параметра любой 3D-операций/элементов построения;
- различные режимы редактирования 3D-объектов (изменение всех параметров, полное перезадание, удаление и т.п.);
- различные режимы удаления элементов:
  - удаление выбранных элементов с потомками,
  - “исключение” выбранных элементов из модели,
  - удаление вместе с родительскими элементами;
- удобный и понятный механизм диагностирования ошибок с помощью сообщений в окне диагностики, пометки проблемных элементов в дереве 3D-модели;
- использование механизм отката 3D-модели на уровень любой операции с возможностью добавления новых операций в середину дерева модели.



Использование механизма отката

## Оформление документации

Для получения конструкторской документации по 3D-модели T-FLEX CAD предоставляет пользователю следующие механизмы:

- создание 3D-чертежей;
- получение точных чертежей по видам и разрезам трёхмерной модели в полном соответствии с ЕСКД и международными стандартами (ISO, DIN, ANSI):
  - построение стандартных и дополнительных видов;
  - построение разрезов, местных разрезов, сечений;
  - возможность разворота сложных сечений;
  - построение видов с разрывами;
  - построение изометрических проекций.
- правильное отображение косметической резьбы и резьбовых соединений;
- автоматическая простановка размеров на проекциях модели;
- двунаправленная ассоциативная связь между 3D-моделью и 2D-чертежом;
- автоматическое создание спецификаций, ассоциативно связанных с 3D-моделью.

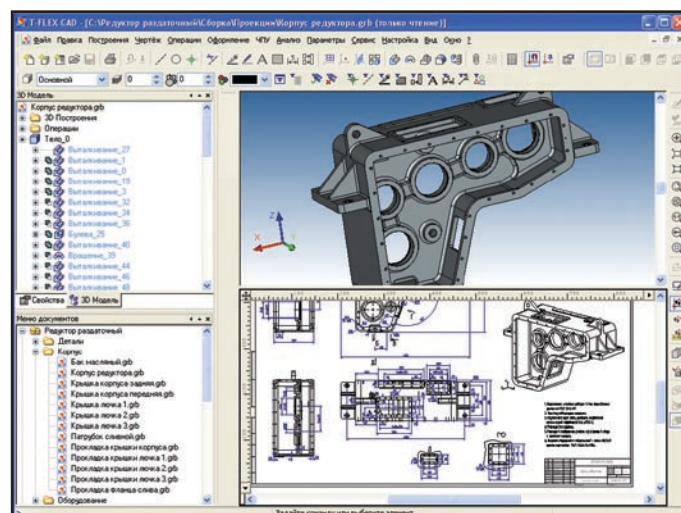
## 3D-чертежи

T-FLEX CAD позволяет проставлять элементы оформления чертежа (размеры, надписи, шероховатости) непосредственно на гранях 3D-модели. Возможность создания трёхмерных элементов оформления позволяет внести в 3D-модель не только геометрическую, но и технологическую и другую информацию.

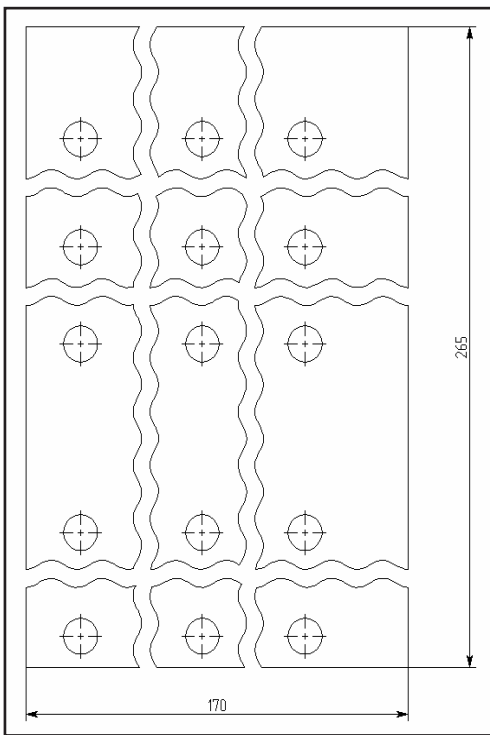
T-FLEX CAD позволяет редактировать 3D-модель, изменяя значения проставленных на ней размеров. Связанная с изменяемыми размерами геометрия будет найдена и перестроена системой автоматически.

## Создание двумерных проекций модели

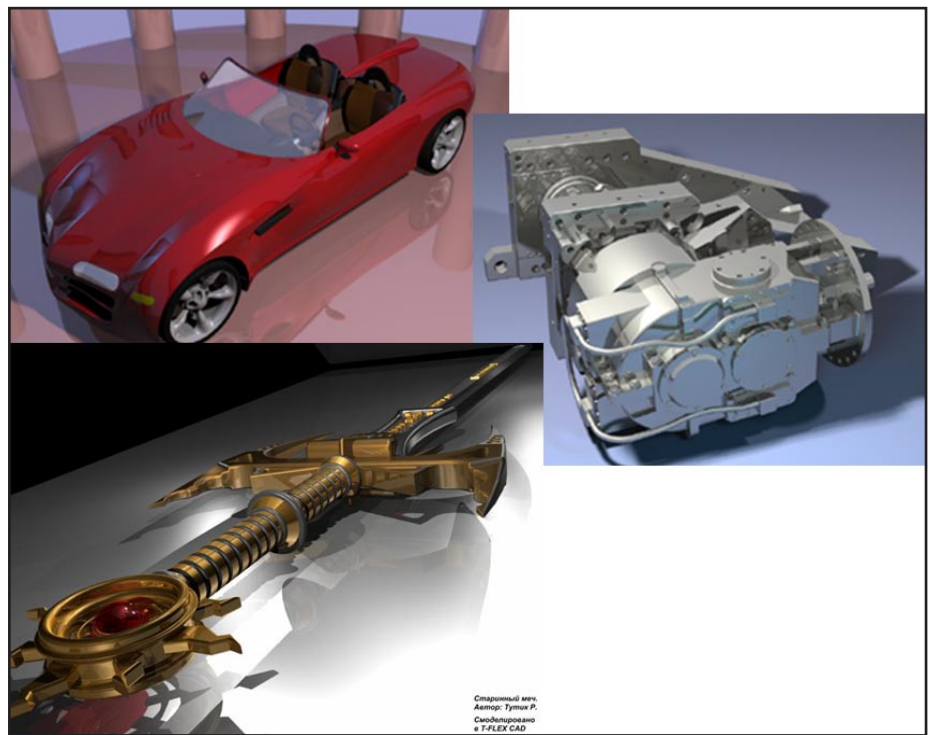
T-FLEX CAD поддерживает оформление чертежей в полном соответствии с ЕСКД и международными стандартами (ISO, DIN, ANSI). Система авто-



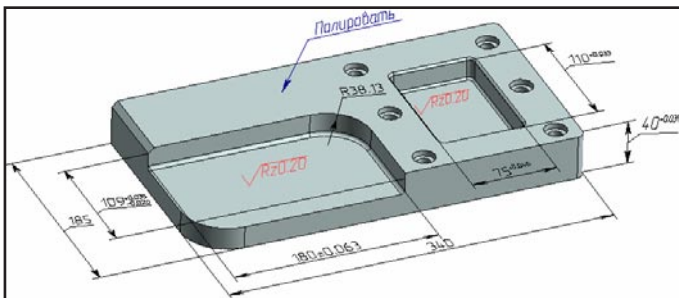
Пример оформления документации в T-FLEX CAD



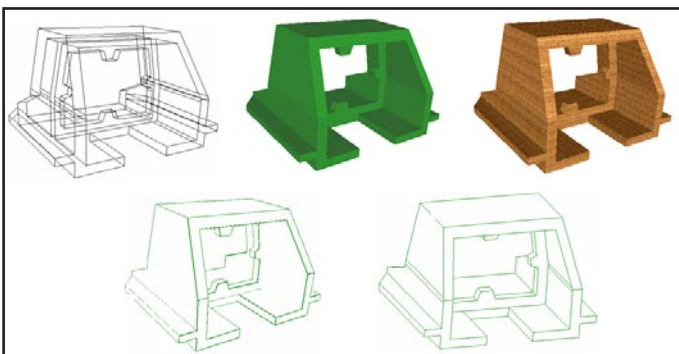
Пример построения вида с разрывами



Создание фотореалистического изображения в T-FLEX CAD



3D-чертёж в T-FLEX CAD



Разные способы визуализации модели

математически обновляет чертежи при изменении 3D-модели, позволяя быстро создавать стандартные и дополнительные виды, разрезы, сечения, виды с разрывами и изометрические проекции. При создании сечений можно управлять как наборами рассекаемых и не рассекаемых объектов модели, так и положением секущей плоскости. Дополнительные возможности, такие, как разрезы резьбовых соединений, создание видов с разрывами для длинномерных деталей, местные разрезы и другие опции могут значительно сократить время создания чертежа. На созданных по 3D-модели проекциях можно автоматически и вручную создавать

осевые линии, проставлять размеры, редактировать линии проекции. При пересчёте 3D-модели с регенерацией проекций все привязанные к ним 2D-построения сохраняются.

### Автоматическая простановка размеров

T-FLEX CAD позволяет значительно сократить сроки подготовки чертежей, используя автоматическую простановку размеров на проекциях модели. Если на 3D-модели проставлены 3D-размеры, то при формировании проекций можно автоматически создавать 2D-размеры на чертёжных видах. Между 2D-размерами и 3D-размерами сохраняется двунаправленная ассоциативная связь, что позволяет менять 3D-модель, просто меняя значение 2D-размера на проекции.

### Визуализация 3D-модели

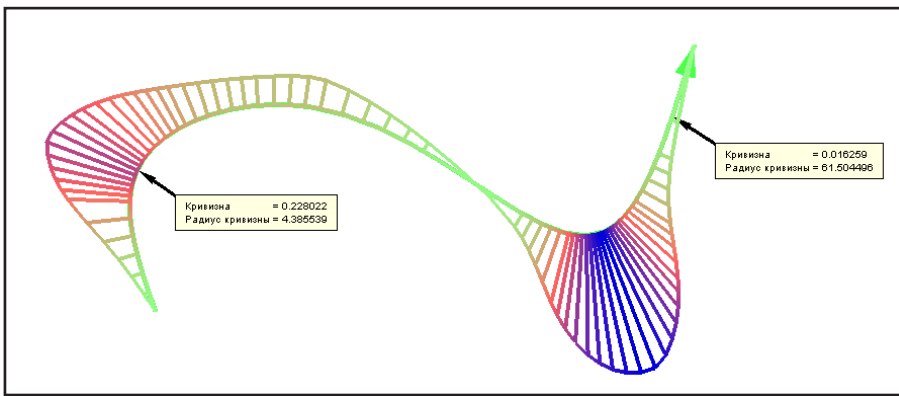
#### Материалы 3D-модели

С каждой 3D-моделью T-FLEX CAD хранится набор материалов, которые назначены на Тела, операции или отдельные грани. Список материалов можно пополнять и редактировать. Характеристики материала влияют на отображение модели, задают параметры материала для формирования фотореалистичного изображения в системе POV-Ray, учитываются при расчёте масс-инерционных характеристик, а также при проведении конструкционных расчётов в модуле анализа. В инсталляцию входит T-FLEX CAD несколько библиотек материалов. При необходимости пользователь может самостоятельно создавать библиотеки материалов.

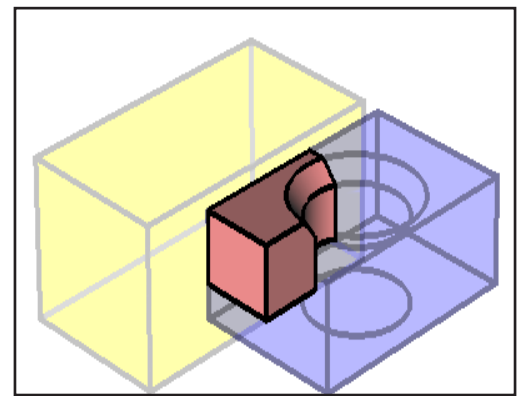
#### Режимы визуализации 3D-модели

Визуализация 3D-модели T-FLEX CAD может осуществляться в виде:

- рёберной модели,



Результат измерения кривизны кривых



Анализ модели на собираемость

- твердотельной модели с учётом назначенных материалов,
  - твердотельной модели с учётом только назначенных цветов,
  - с рассечением плоскостью обрезки и т.п.
- Для отображения модели могут использоваться разные способы проецирования:
- параллельное;
  - перспективное.

**Дополнительные средства визуализации модели**  
Для создания иллюстрационных анимационных роликов и фотореалистических изображений в 3D-модели T-FLEX CAD можно создавать различные источники света и камеры.

Источник света позволяют регулировать освещённость 3D-сцены. По мере необходимости можно создавать различные собственные источники света, управлять их интенсивностью, направленностью, включать или выключать любой из них. Источники света используются при создании фотореалистического изображения.

Камера используются для изменения точки и направления взгляда на 3D-сцену. Созданные камеры можно перемещать по 3D-сцене (добиваясь эффекта облёта сцены) и изменять направление их взгляда. Это можно применять при осмотре внутренних элементов сцены и создании анимационных роликов.

**Получение фотореалистических изображений**  
T-FLEX CAD позволяет создавать фотореалистические изображения проектируемых изделий с учётом материалов, теней, отражения и преломления света, прозрачности и т.п. Для получения фотореалистического изображения использует бесплатное приложение POV-Ray, включаемое в стандартную поставку T-FLEX CAD. В стандартную установку T-FLEX CAD входят прототипы документов, специально предназначенные для быстрого создания фотореалистического изображения.

#### Анализ модели

T-FLEX CAD предоставляет пользователю широкий спектр команд для проведения геометрического анализа моделей. Данные команды позволяют проводить:

- проверку корректности модели, например,

на самопересечение, несогласованность циклов и т.п., пересечения тел.

- измерение характеристик тел, кривизны поверхностей, кривизны кривых, отклонения граней, зазор между гранями, расхождение нормалей граней.

- оценку гладкости модели, разнимаемости формы.

#### Измерения

Специальная команда измерений позволяет определять взаимное расположение объектов в 3D-сцене, проникает ли одно тело в другое, минимальное расстояние между элементами. Для выбранных элементов можно вычислить различные геометрические характеристики – длину ребра, площадь грани, координаты узлов, и т.д.

На основе вычисленных характеристик можно создавать переменные, используемые для дальнейших построений. Значения переменных будут динамически пересчитываться при изменении 3D-модели.

#### Масс-инерционные характеристики

Команда позволяет произвести расчёт масс-инерционных характеристик твёрдых тел, трёхмерных сборочных конструкций, в том числе центра тяжести группы деталей из разнородных материалов.

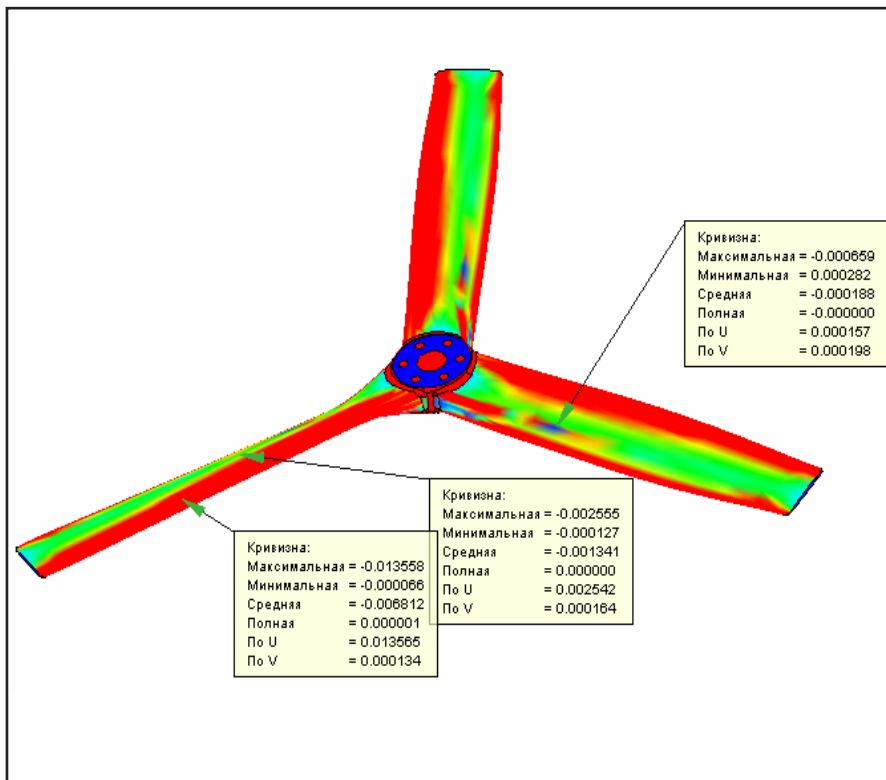
#### Проверка модели

Данная команда предназначена для проведения диагностики выбранного объекта модели на предмет выявления ошибок в его геометрии. Ошибки могут возникнуть, например, вследствие некачественного импорта 3D-модели из других программ.

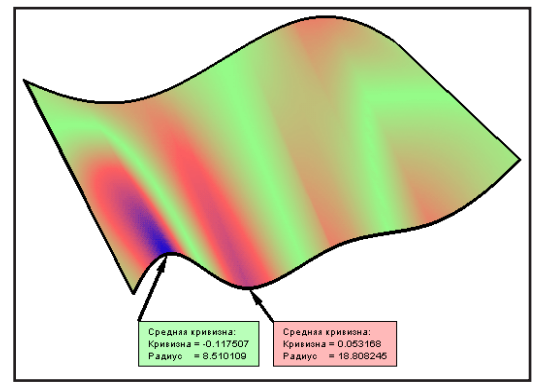
#### Проверка пересечений тел (Анализ на собираемость)

Одна из типовых задач, для решения которой создается сборочная модель – проверить изделие на собираемость, исследовать все тела сборки на предмет взаимных проникновений. Команда проверки пересечений позволяет проверить модель (в том числе сборочную модель) на предмет пересечения и касания между собой выбранных тел. Существует возможность показывать зоны пересечения, считать объём пересечений. При проверке

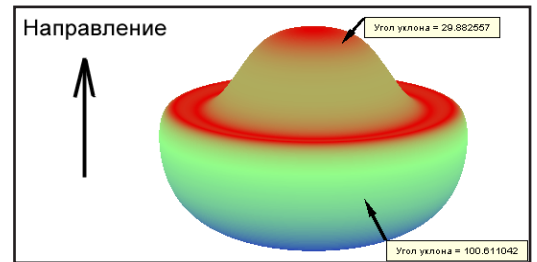




Результат измерения кривизны поверхностей



Результат измерения кривизны поверхностей



Результат измерения отклонения грани от заданного направления

тел на взаимное проникновение можно учитывать резьбовые соединения деталей и случаи касания поверхностей.

### Измерение кривизны кривых

Для измерения кривизны и радиуса кривизны могут быть выбраны рёбра и 3D-пути. Кривизна отображается в виде эпюры кривизны. Кроме цветового отображения кривизны, есть возможность определить кривизну в определённой точке. Также команда позволяет автоматически найти точку максимальной кривизны.

### Кривизна поверхностей

Команда позволяет измерить кривизну и радиус кривизны одной или нескольких выбранных граней. Можно увидеть распределение кривизны целиком по грани (для этого модель соответствующим образом изменяет свой цвет), или узнать значение кривизны в конкретной точке. Возможен автоматический поиск точки максимальной и минимальной кривизны заданного типа.

### Отклонения граней

Команда позволяет определить отклонение нормали выбранной грани от заданного направления. Цветовое отображение грани позволяет увидеть отклонение по всей грани. Также можно измерить отклонение в конкретной точке.

### Зазор между гранями

Данная команда позволяет оценить зазор между двумя или несколькими выбранными гранями. Программа рассчитывает расстояние между рёбрами выбранных граней. Команда используется для анализа моделей, полученных при некачественном импорте/экспорте.

### Расхождение нормалей граней

Команда позволяет измерить расхождение между нормальными соседних граней в указанных рёбрах. Отображаемые в 3D-окне эпюры помогают увидеть расхождение нормалей по всей длине ребра. Также можно измерить угол расхождения нормалей в конкретной точке.

### Оценка гладкости модели

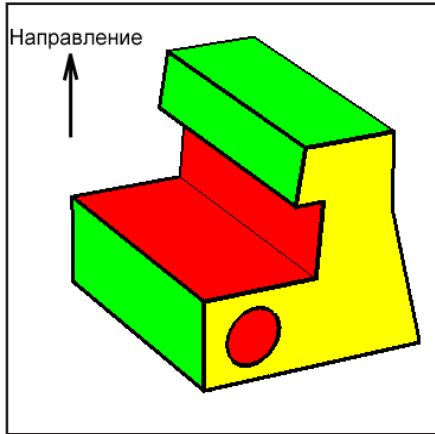
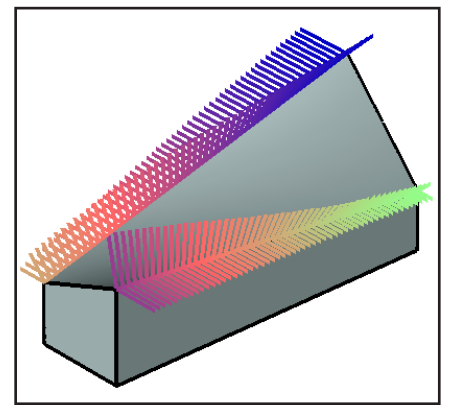
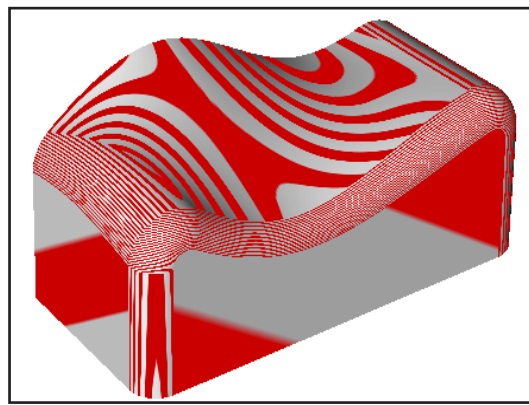
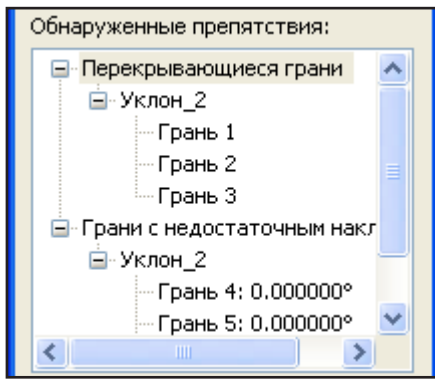
Команда позволяет оценить качество геометрических поверхностей модели путём наложения на грани или тела специальной текстуры (обычно состоящей из светлых и тёмных полос). Текстура накладывается в режиме, имитирующем отражение от выбранных поверхностей. При этом можно оценивать качество одной поверхности («волнистость», складки и т.п.), тип перехода между двумя поверхностями (непрерывность по кривизне или по касательной).

### Оценка разнимаемости формы

Команда позволяет найти грани областей, препятствующих раскрытию литейной или прессформы. Также отображаются те грани, угол наклона которых к выбранному направлению меньше заданного.

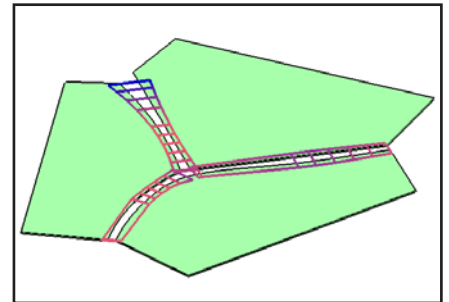
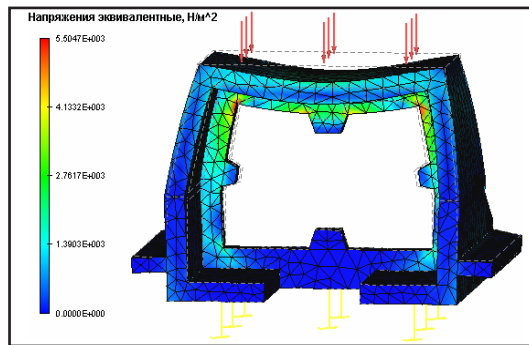
### Инженерный анализ

Стандартная поставка T-FLEX CAD включает в себя бесплатные модули для проведения инженерного анализа “Экспресс-Анализ” и “Динамический экспресс-Анализ”, основанные на собственных алгоритмах разработчиков компании «Топ Системы». Встроенный модуль прочностного экспресс-анализа предлагает удобный в работе набор инструментов для проверки создаваемых моделей



*Оценка гладкости модели*

*Измерение расхождения между нормальными гранями*



*Оценка разнотемности формы*

*Результаты конечно-элементного моделирования*

*Измерение зазора между гранями*

непосредственно в T-FLEX CAD. Он позволяет проектировщику быстро определить расположение концентраторов напряжений, степень деформации, оценить элементы конструкции с избыточным материалом. Результаты расчёта выводятся в графической форме.

Встроенный модуль экспресс-анализа динамики позволяет производить исследование динамического поведения различных пространственных механических систем. Данные для анализа автоматически берутся непосредственно от созданной в системе T-FLEX CAD геометрической модели. При моделировании используются обычные инструменты T-FLEX CAD. Для задания связей между трёхмерными телами используются сопряжения и степени свободы. В качестве нагрузок для тел можно задать начальные линейные и угловые скорости, силы, моменты, пружины, гравитацию и т.д. Результаты анализа выводятся в виде графиков.

Полнофункциональные варианты этих модулей “T-FLEX Анализ” и “T-FLEX Динамика” приобретается отдельно.

Модуль “T-FLEX Анализ” позволяет осуществлять:

- статический анализ;
- частотный анализ;
- анализ устойчивости;
- тепловой анализ.

Модуль “T-FLEX Динамика” позволяет решать следующие задачи:

- анализ траекторий движения, скоростей,

ускорений любых точек компонентов механической системы под действием сил;

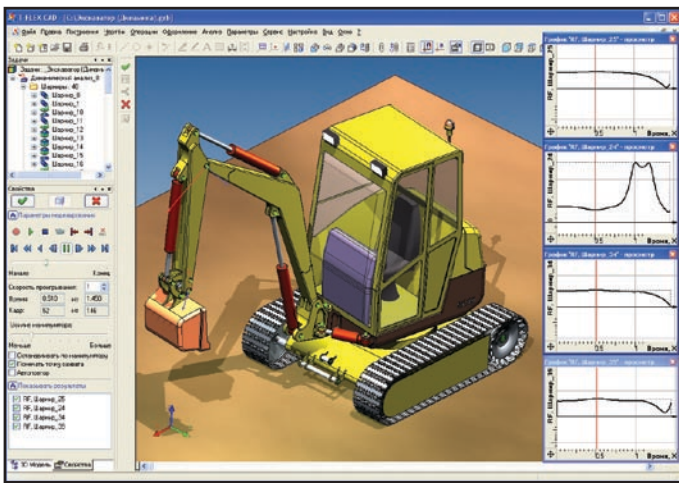
- анализ временных характеристик механической системы (время прихода в целевую точку, время затухания колебаний и т.д.);
- анализ сил, возникающих в компонентах механической системы в процессе движения (силы реакции в опорах, сочленениях и т.д.).

### **Анимация**

Для создания анимационных роликов T-FLEX CAD существует множество механизмов:

- анимация модели при помощи переменных:
  - быстрая анимация с изменением значения одной переменной;
  - создание сценариев анимации (позволяет анимировать модель, изменяя любое количество переменных модели, задавая для них сложные зависимости в виде графиков);
- создание анимационных роликов при моделировании движения механизма с сопряжениями;
- создание анимационных роликов при проведении динамического анализа модели.

Механизмы анимации T-FLEX CAD позволяют анализировать поведение кинематических механизмов, взаиморасположение деталей сборочных конструкций. Создание анимации является логическим продолжением работы с параметрической моделью, позволяет наглядно отобразить влияние изменения параметров на форму и положение объектов 3D-сцены, моделировать работу кинематических механизмов, записывать и анализировать



Результаты динамического анализа

процесс разнесения элементов сборочной конструкции. Анализ параметрической модели с помощью анимации позволяет предотвратить появление ошибок ещё на ранней стадии проектирования изделия.

### Оптимизация

Механизм оптимизации T-FLEX CAD позволяет находить оптимальные параметры 2D-чертежа или 3D-модели в соответствии с некоторыми условиями, накладываемыми на переменные модели, в том числе и с учётом конечно-элементных задач. Решением задачи является подбор значений существующих переменных, наилучшим образом удовлетворяющих поставленным условиям.

### Обмен данными с другими системами

T-FLEX CAD может экспортировать и импортировать файлы более чем 25-ти различных форматов. С наиболее распространёнными CAD-системами обмен данными производится через форматы: Parasolid, IGES, STEP, Rhino, STL, DWG, DXF и т.д. Существует также возможность вывода графических изображений, чертежей и моделей в различных форматах.

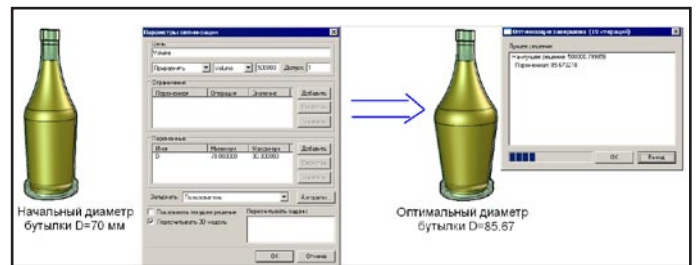
### Библиотеки параметрических элементов

В стандартную поставку T-FLEX CAD входит обширный набор библиотек параметрических элементов: библиотека стандартных элементов, охватывающая более 250 ГОСТов, библиотека конструктивных элементов (отверстия, канавки, элементы валов и т.п.), библиотека элементов схем (гидравлика, пневматика, радиодетали и т.п.), библиотека станочных приспособлений и др.

Пользователь может создавать и редактировать библиотечные элементы, создавать свои библиотеки обычными средствами системы без использования каких-либо программирования. Элементы библиотек представляют собой обычные параметрические модели T-FLEX CAD.

### T-FLEX Open API

Программный интерфейс T-FLEX Open API, использующий технологию Microsoft.NET, позволяет



Решение задачи оптимизации диаметра бутылки

разрабатывать приложения, использующие и расширяющие функциональность T-FLEX CAD. Для создания приложений можно использовать различные языки программирования, поддерживающие эту технологию. T-FLEX Open API может помочь в настройке T-FLEX CAD для часто повторяющихся действий, позволяет создавать пользовательские приложения, автоматизирующие специфические задачи проектирования.

### Использование в интернет-приложениях

При помощи T-FLEX CAD и T-FLEX Open API можно создавать приложения для Интернет, использующие параметрические возможности системы:

- для демонстрации каталогов готовых изделий;
- для реализации специальных приложений проектирования;
- при проведении маркетинга разрабатываемых предприятием изделий.

### Заключение

На этом мы завершим краткое описание возможностей T-FLEX CAD в трёхмерном моделировании. В следующем номере мы продолжим наш рассказ, обратившись к теме другой, не менее важной, части функциональности системы. Мы попытаемся дать представление обо всех возможностях T-FLEX CAD в области 2D-проектирования и оформления конструкторской документации. Ведь не следует забывать, что полная поддержка российских и зарубежных стандартов при оформлении документации вот уже 15 лет является одним из важнейших достоинств T-FLEX CAD с точки зрения российских пользователей.

В заключении хотелось бы еще раз подчеркнуть, что все описанные 3D-возможности системы вкупе с 2D-возможностями, о которых вам ещё предстоит прочитать в следующем номере, входят в стандартную поставку T-FLEX CAD стоимостью 2895 у.е. Выбирая нашу систему T-FLEX CAD, вы избавляетесь от необходимости подбирать целый комплекс средств для решения ваших конструкторских и инженерных задач как в области профессионального 3D-моделирования, так и качественного оформления чертежной документации. T-FLEX CAD – это мощная 3D- и 2D-функциональность и полная поддержка российских стандартов в одной системе!