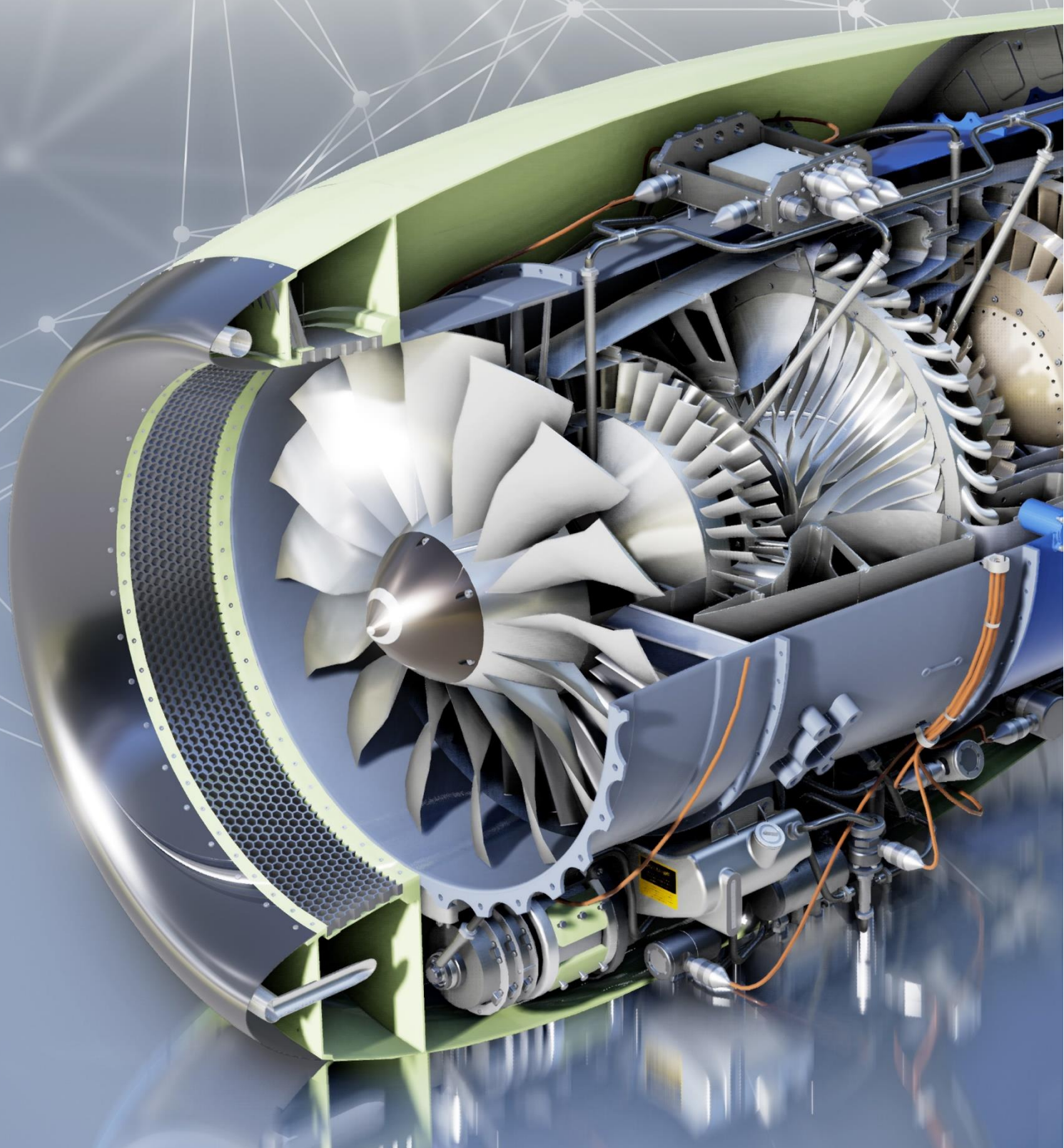


T·FLEX CAD

Планирование и оптимизация порядка
построения 3D модели



Содержание

Введение в CAD системы	2
Основные принципы моделирования	4
Теория планирования	10
Пример построения модели	13
Инструменты моделирования T-FLEX CAD.....	16
Использование альтернативных способов построения.....	22

В данной работе рассмотрены базовые принципы работы в CAD системах и способы оптимизации процесса 3D моделирования. Показана возможность планирования альтернативных вариантов построения на примере модели из машиностроительной области. Данная информация будет особенно полезна новым пользователям T-FLEX CAD. В дополнение рекомендуем загрузить [учебную версию T-FLEX CAD](#) и изучить [учебное пособие](#).

Материал подготовил Черанёв Иван, ведущий инженер-конструктор Отдела технологической подготовки производства ВСЗ. Вы можете ознакомиться с [предыдущей статьёй](#) автора – «Автоматизация проектирования в судостроительном производстве с помощью САПР T-FLEX CAD на опыте Выборгского судостроительного завода».

Введение в CAD системы

CAD системы как часть технологии трёхмерного компьютерного моделирования в настоящее время стали неотъемлемой частью нашей жизни. Они охватили практически все отрасли промышленного производства, а также архитектуру, строительство и дизайн (но тут уже своя специфика и свои специализированные системы, их трогать не будем). В арсенале CAD систем имеется множество различных инструментов с разнообразными опциями, что даёт пользователю широкие возможности в проектировании самых разнообразных моделей: от гаек до межгалактических кораблей. И большая часть специалистов (конструкторов, технологов и т. д.) уже освоили ту или иную CAD систему и используют её в своей работе. Кто-то овладел ей в совершенстве и дальше ему читать будет неинтересно, но наверняка ещё многие находятся на разных этапах изучения трёхмерного моделирования — от освоения базовых приёмов работы до программирования и написания своих приложений.

Зачастую у пользователя нет возможности пройти хорошее обучение по работе с системой, изучать её приходится самостоятельно по различным книжкам и видеоурокам или методом собственных проб и ошибок. Порой пользователь ограничивается освоением некоторого относительно небольшого набора инструментов, которого он для себя считает достаточным. Но на практике этого набора может оказаться недостаточно для эффективной работы. Кроме того, в процессе обучения, по мнению автора и на основании личного опыта, мало уделяется внимания планированию моделирования – выбору оптимального порядка построения модели. Порой это приводит к лишним построениям и переделкам модели. В отдельных случаях при необходимой корректировке плохо продуманной модели оказывается легче начать строить её заново, чем редактировать. Мало знать, как начертить профиль и как построить плоскость или выталкивание, нужно ещё определить порядок их построения, чтобы в итоге получить оптимальную модель. При изучении системы пользователю необходимо также научиться планировать процесс моделирования, то есть выбирать наиболее оптимальные операции и порядок их использования.

Попробуем вместе (автор такой же моделист-самоучка) разобраться в теории и практике планирования процесса создания модели на примере системы твердотельного параметрического моделирования [T-FLEX CAD 17](#). При этом все приведённые здесь рассуждения в той или иной степени также применимы к любой САПР с учётом их особенностей.

Как завещали нам классики, практика без теории не сулит ничего хорошего, поэтому прежде чем заниматься многократным построением и перестройкой одной и той же модели, отсчитывая затраченные минуты и нажатия клавиш в поисках самого быстрого способа,

начнём именно с теоретической подготовки и выясним, в чём же заключается моделирование, и какую модель можно считать оптимальной.

Под теорией при этом не имеется в виду знание языков программирования и специфических инженерных познаний (они тоже очень нужны), в данном случае речь идёт о знании используемой CAD системы, её принципов, логики и правил, которые придётся понять и использовать нам. Общие сведения о системе, интерфейсе и способах работы здесь подробно рассматривать не будем — об этом можно узнать (что настоятельно рекомендуется сделать) из имеющейся в программе справочной системы, штатного учебного пособия, разных книг-самоучителей и различных видео в Интернете (сейчас это можно найти практически для любой CAD системы). На Рис. 1 приведён общий вид интерфейса T-FLEX CAD. Для тех, кто только начинает осваивать моделирование, стоит изучить основные элементы: 3D и 2D окна, дерево построения (окно «3D модель»; обратите внимание на порядок и логику отображения в нём различных элементов модели), панели инструментов. Для начала полезно будет просмотреть их все, понажимать кнопки и разобраться, что с их помощью можно получить. Кнопка F1 в помощь, при запущенной команде получить краткую справку можно просто наведя курсор на кнопку, если такая опция включена в настройках (Рис. 1).

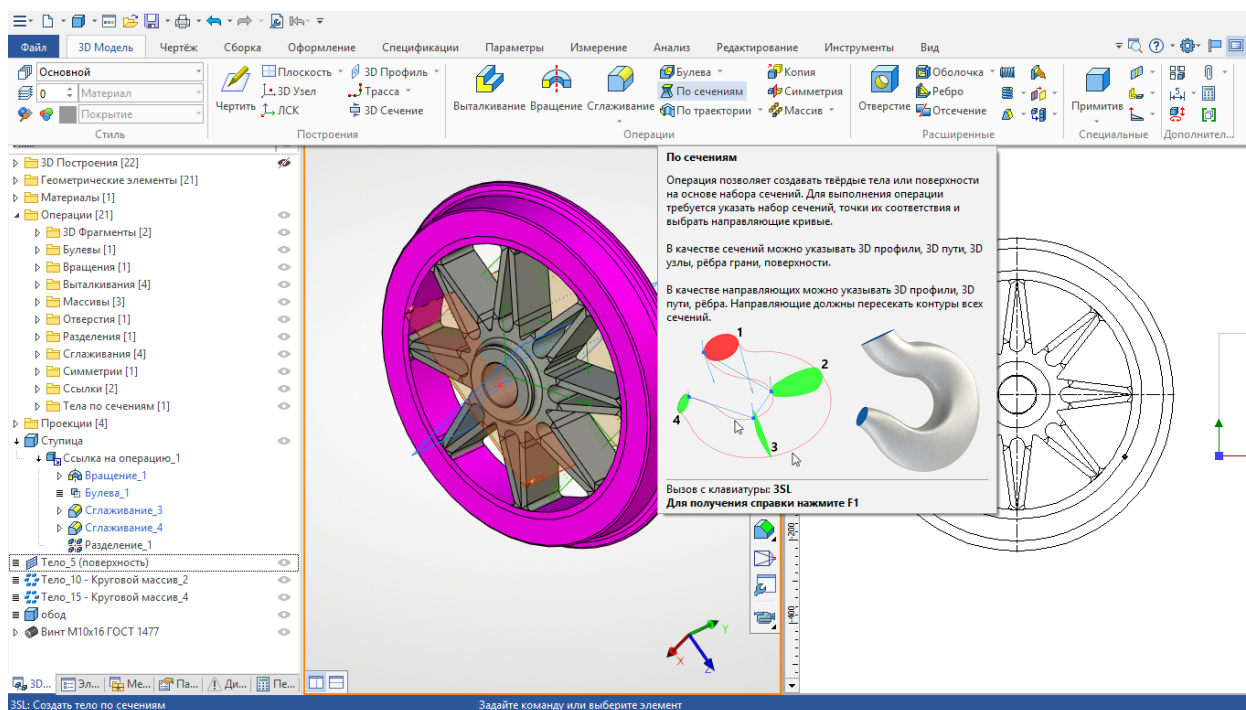


Рис.1 - Интерфейс T-FLEX CAD 17

Оставим изучение интерфейса и основ работы с системой на самостоятельное изучение. Используйте для этого [учебное пособие](#) T-FLEX CAD 17.

Основные принципы моделирования

Попробуем сформулировать и кратко пояснить основные принципы, на которых можно основать методику планирования моделирования. Понимание этих принципов позволит добиться более эффективной работы с CAD системой.

1. Модель – это многообразие элементов. 3D модель – это не просто объёмная картинка в трёхмерном пространстве. Хотя нередко случаи, когда модель строят по готовым чертежам именно с целью простой визуализации. Это уместно в процессе начального обучения моделированию, но при проектировании новых изделий приводит лишь к выполнению двойной работы и потери времени. 3D модель является довольно сложной системой из множества разных элементов, параметров, атрибутов и прочего. В дереве построения (окно «3D модель», рис. 1) как раз и отображаются все элементы модели. Основная их часть связана с геометрией модели, при этом возможно провести разделение на две основные группы — 3D построения и операции, формирующие тела.

3D построения — это «теоретическая» геометрия, ненаполненная материалом - 3D узлы, линии (оси, прямые и кривые пути, профили), плоскости, системы координат. Зачастую они малозаметны и, не являясь частью тел модели - элементов моделируемой конструкции, составляют каркас, на который опирается вся модель. Практически невозможно построить модель без использования 3D построений, они могут задавать геометрическую форму, размеры, относительное пространственное положение других элементов. В моделях со сложной геометрией поверхностей (основанных на пространственных кривых, а не на просто большом наборе простых форм) подавляющая часть времени будет тратиться именно на эти построения. На рис. 2, а показано отображение 3D построений в дереве модели.

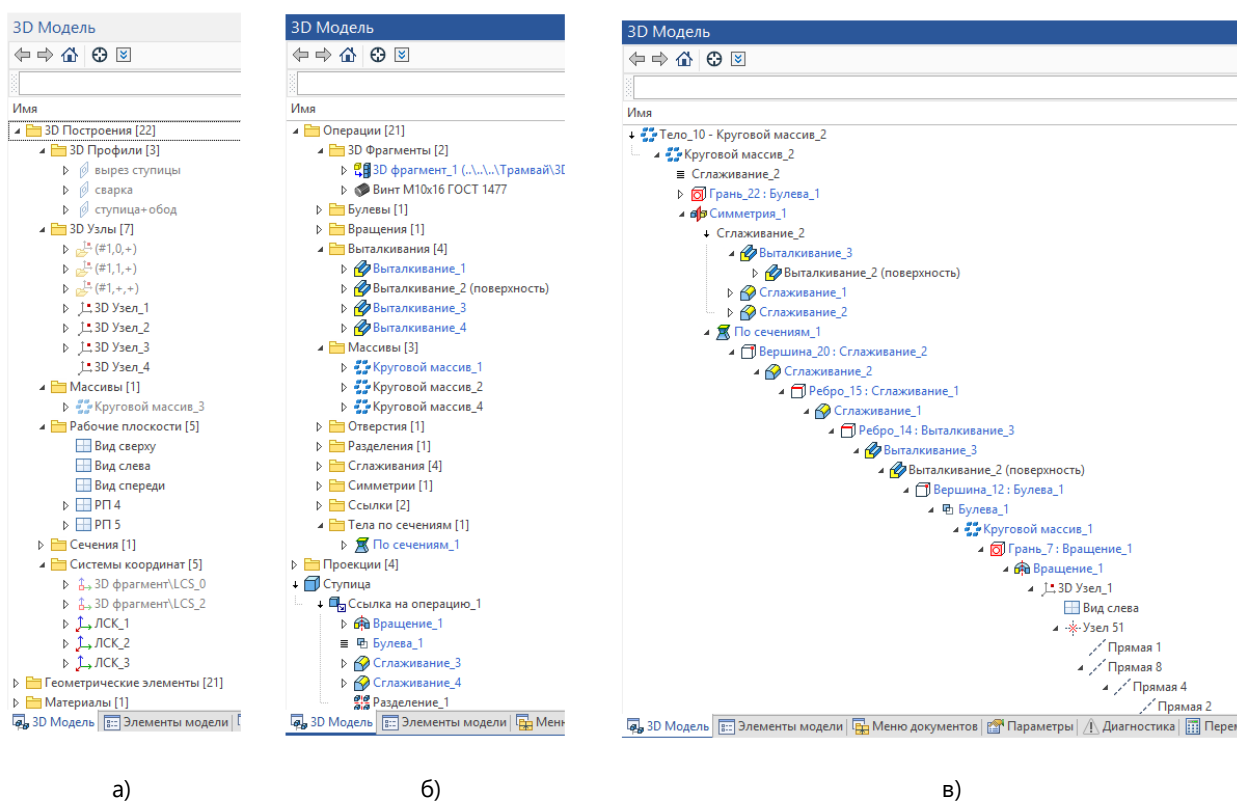


Рис. 2 - Элементы модели в дереве построения: а) 3D построения; б) операции и тела; в) раскрытие дерева построения тела

Вторая большая группа элементов, которую можно назвать «формообразующими», создает внешний вид модели. Здесь операции образуют тела и поверхности, формирующие проектируемую деталь. Они могут добавлять или удалять «материал» в модели, изменять форму тел (деформируют тело), размещать в модели другие модели (фрагменты) и т. д. На рис. 2, б показано отображение операций и тел в дереве построений. При этом тела показаны отдельно от списка операций, а каждое тело отображает историю своего создания.

Есть ещё третья группа элементов, они не геометрические, их можно назвать информационными — сведения о материалах, структуре сборки и спецификации, базах данных, переменных, элементах оформления и прочее. Они также имеют большое значение, особенно переменные, с помощью которых можно полностью управлять моделью — её геометрией, составом, отображением. Для эффективной работы при изучении системы следует уделить особое внимание этой составляющей модели.

Всё описанное выше многообразие элементов объединяется в одну целую систему — 3D модель благодаря второму принципу.

2. Все элементы модели взаимосвязаны. Элементы модели не создаются сами по себе. В процессе моделирования между ними возникают связи. На Рис.2, в показано раскрытое дерево построения одного из тел — история его создания в виде цепочки операций, геометрических элементов и 3D построений. Эта последовательность операций и элементов построения и отображает цепочку взаимосвязей «родитель» - «потомок». «Родитель» - это элемент, на основе которого построена текущая операция. Элемент «потомок» эту операцию использует.

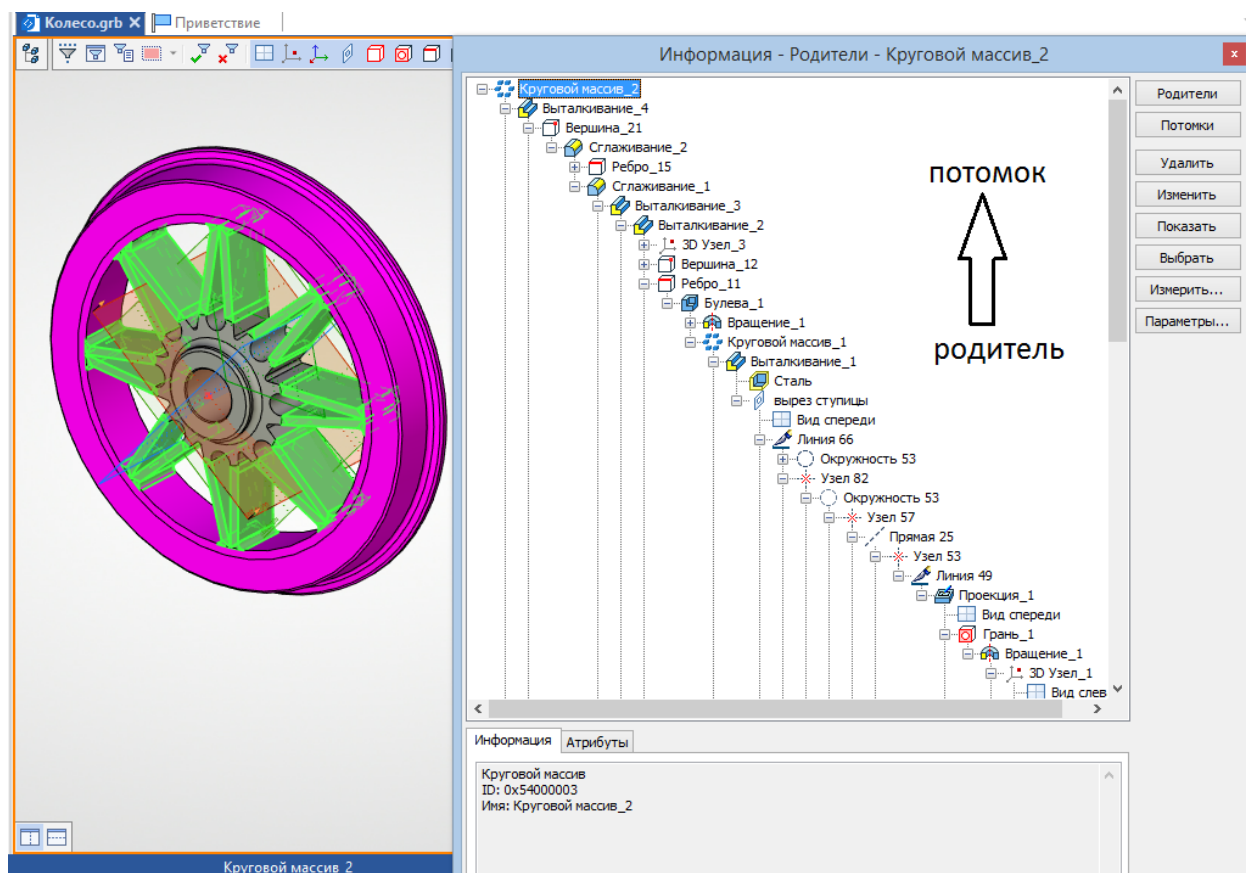


Рис.3 - Связи «родитель» – «потомок» между элементами в модели

И «родителей», и «потомков» может быть много. Для каждого элемента в цепочке их можно посмотреть через команду «Информация» в контекстном меню, выделив

операцию/построение (Рис.3). Это окно позволяет понять, как и в каком порядке модель строилась, например, если над ней работал кто-то другой. Так же можно узнать, что вызовет попытка изменения/удаления одного из элементов.

Взаимосвязи между элементами модели возникают разными способами, чаще всего при непосредственном участии пользователя: при выборе грани для рисования профиля (на грани создается рабочая плоскость, а уже на ней профиль, к тому же грань автоматически проецируется на плоскость), при проецировании граней и 3D узлов при рисовании профиля, при указании границ и направления выталкивания, оси массива, плоскости симметрии и т. д. Кроме того, все операции, которыми было создано тело, естественно связаны между собой принадлежностью к этому телу, с учётом последовательности их создания. Например, если в теле сначала создать отверстие, а затем геометрически несвязанный с ним выступ (не имеющий привязок к поверхностям самого отверстия и примыкающих к нему), то операция, создавшая отверстие, всё равно будет среди «родителей» выступа. Зачастую такие связи проявляются (иногда неожиданно) в процессе редактирования модели, и особенно при удалении элементов. В этом случае система предлагает выбрать, что сделать с «потомками» (зависимыми элементами) — удалить или переопределить, разрывая связи. Система может переопределить некоторые связи (выступ в примере выше может быть легко сохранён при удалении отверстия) или просто разорвать их. Правда не все, если в теле удалить отверстие, в котором была создана фаска, то сохранить эту фаску естественно будет невозможно. На Рис.4 показан пример вариантов удаления булевой операции из модели. Каждый из вариантов предполагает разный набор удаляемых и переопределяемых элементов.

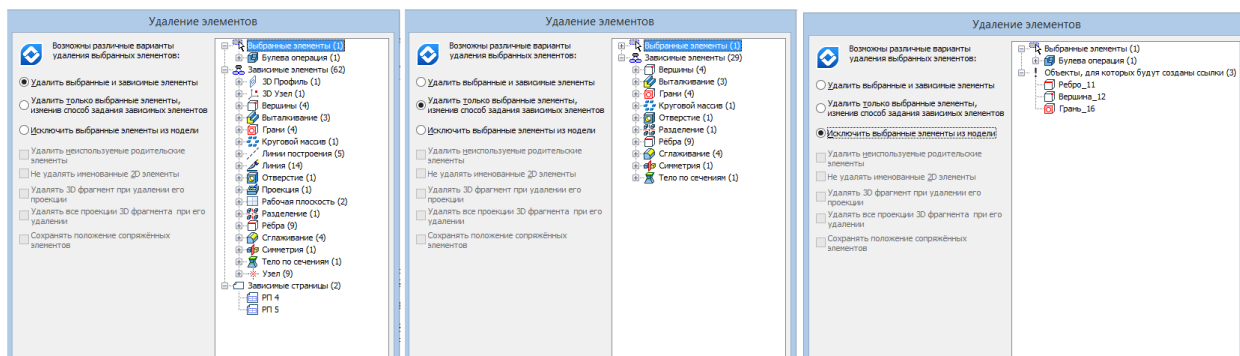


Рис. 4 - Способы удаления элементов модели

Связать операции и построения между собой можно и другими способами, например, с помощью переменных. Они позволяют управлять не только геометрией модели (размерами и относительным положением в пространстве), но и составом модели, то есть исключать из неё отдельные тела, фрагменты. К примеру, в зависимости от величины зазора между двумя деталями можно включать или подавлять в сборке шайбу между ними. Наличие этих взаимосвязей позволяет задать в модели не только необходимые размеры, но и другие правила и ограничения, по которым модель должна изменяться или сохранять свою конфигурацию в процессе её создания и редактирования. Знание и грамотное использование таких взаимосвязей позволяет добиться, например, высокой гибкости модели - способности сохранять заданную геометрию без сбоев при изменении исходных заданных параметров в широких пределах (параметрические библиотеки типовых моделей) либо наоборот практически полностью перестраиваться с изменением одного-двух параметров.

Как показывает накопленный автором опыт, серьёзное изменение модели в процессе проектирования детали – частое явление. При этих корректировках велика вероятность нарушения геометрии, поэтому правильное формирование связей между элементами в

процессе построения модели может существенно облегчить её дальнейшее использование. А помогает заложить в модели необходимые связи третий принцип.

3. Модель создаётся по частям отдельными операциями. Чтобы правильно сформировать связи в модели, необходимо сначала определиться, какие именно операции и построения в ней необходимы. Редко какую модель можно создать сразу одной операцией, разве что совсем примитивную. Для создания подавляющего числа моделей потребуется создавать несколько последовательных «формообразующих» операций, каждая из которых будет формировать отдельную часть тела модели. А, чтобы понять, какой операцией воспользоваться для построения той или иной части, модель надо «расчлениť». Следует вначале разобраться, из каких частей (деталей, фрагментов, тел, поверхностей) она будет состоять, то есть определить **конструкцию** модели. Для этого надо получить представление о том, как именно будет выглядеть проектируемая деталь и определиться с тем, что должно быть получено в итоге. Поэтому учиться лучше по готовым чертежам, материальным предметам, лежащим на столе, или предварительно делать карандашные эскизы. Конструкцию (планируемую или зарисованную) следует последовательно разобрать сначала на детали и тела, а затем их – на поверхности и элементы (рис. 5, это довольно простой пример, можете взять предмет посложнее из тех, что есть под рукой).

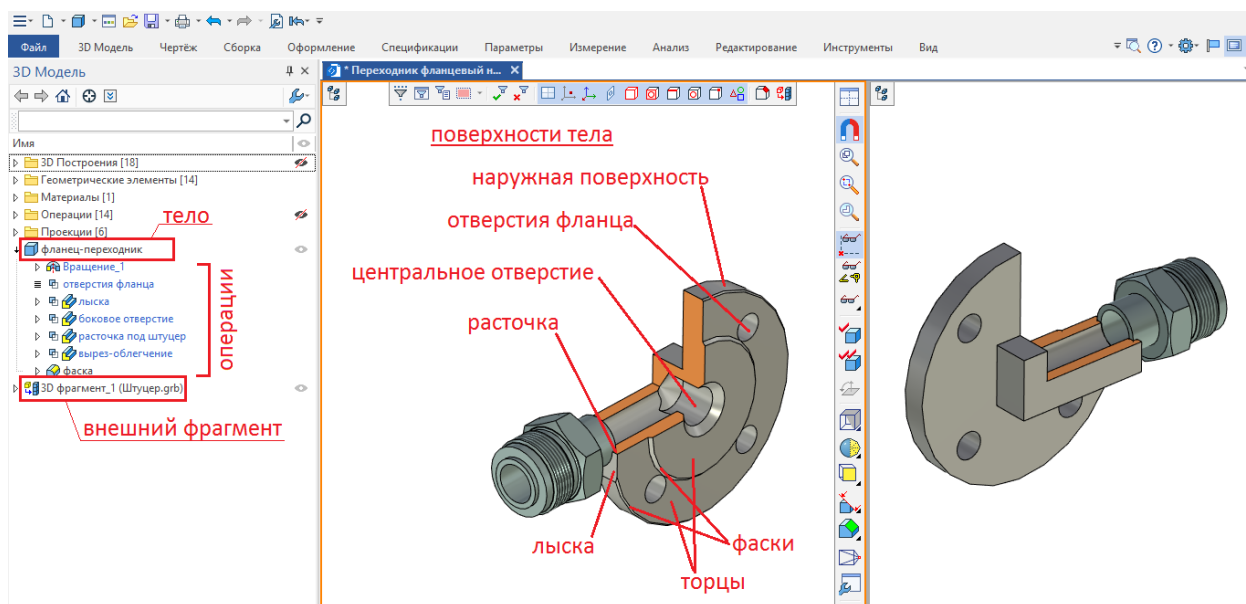


Рис. 5 - Тела и поверхности в модели

Степень разборки модели во многом зависит от её формы и сложности геометрии, а также от навыков пользователя. Естественнo, что при упрощении детали и при накоплении практического опыта необходимость в глубоком анализе геометрии снижается, а выбор операций и их последовательности пойдёт уже «на автомате». Но на этапе освоения CAD системы это может быть полезно в плане расширения набора используемых инструментов.

После «разборки» модели необходимо разобраться, какими инструментами можно построить получившиеся элементы. Необходимо хотя бы по справке изучить все «формообразующие» инструменты и понять, какие геометрические поверхности они способны создавать. Собственно, геометрия этих элементов и является подсказкой. К примеру, если это группа соосных поверхностей вращения (цилиндры, конуса, сферы и т.д.), то для их получения логично использовать операцию вращения. Для группы цилиндрических поверхностей (это не только цилиндры) с параллельными образующими применима в первую очередь операция выталкивания. А при наличии симметричной или повторяющейся по определённому правилу геометрии имеет смысл использовать

зеркальные отображения, массивы и копии. Для получения поверхностей с более сложной геометрией можно «примерять» построение по сечениям (если есть подходящие профили, по которым, как по каркасу, «натягивается» поверхность) или по траектории (если можно подобрать подходящий контур, который двигаясь определённым способом, создаёт нужную геометрию). Возможно также разбиение модели на части, которые строятся по отдельности, а затем собираются обратно. На Рис.6 показаны примеры построения тел выталкиванием (а), вращением (б), по сечениям (в) и по траектории (г).

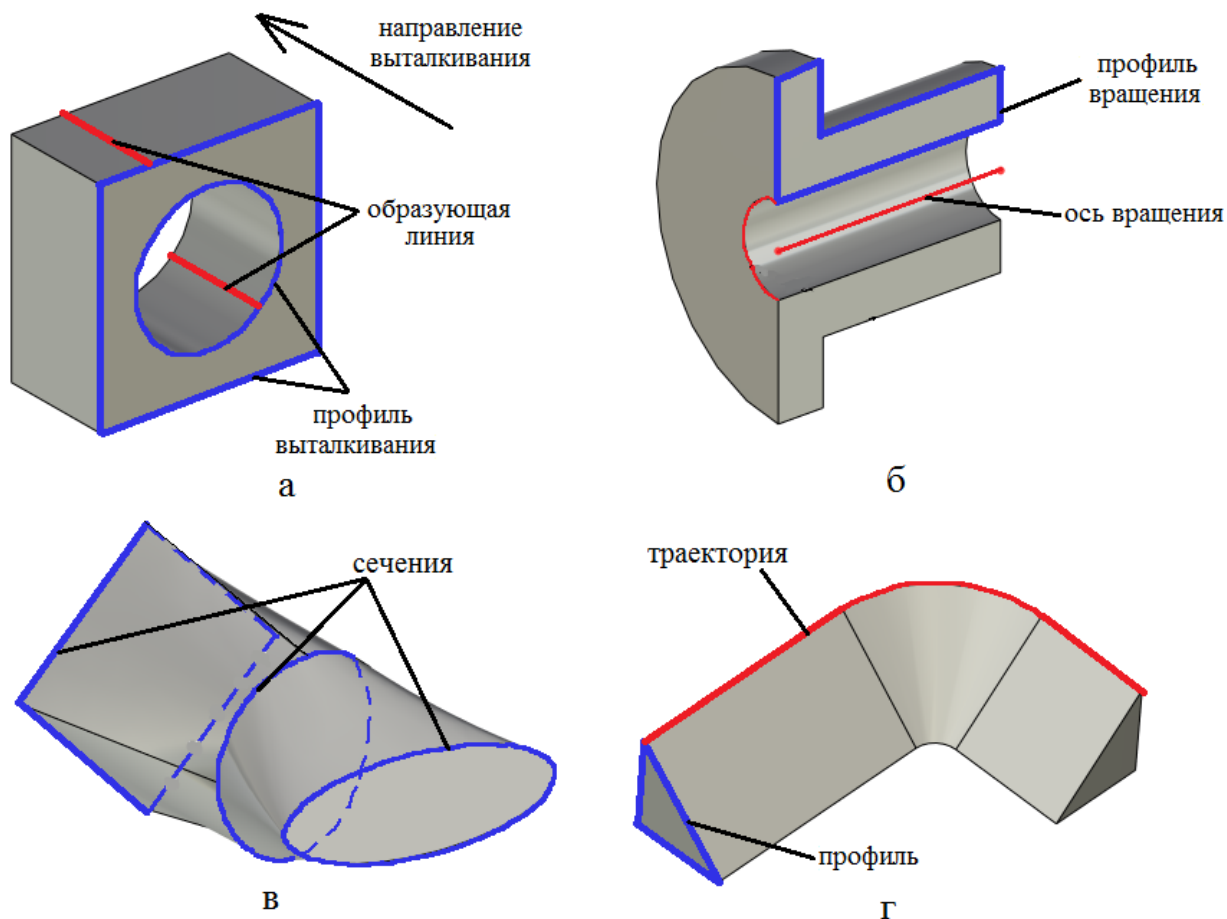


Рис. 6 - Примеры построения тел разными способами: а) выталкиванием; б) вращением; в) по сечениям; г) по траектории

Для некоторых случаев (в практике автора – крайне редких, но для кого-то могут оказаться частыми) потребуются операции деформирования тела (примеры на Рис.7 – скручивание квадратного стержня и изгиб сетки). А ещё есть отдельный блок операций для работы с листовыми телами и другие команды. При этом практически всегда одно и то же тело можно построить разными способами, одной или несколькими операциями в различном их сочетании.

От выбора способа построения («формообразующей» операции) той или иной геометрии будет зависеть многое: возможность объединить в одну операцию построение нескольких поверхностей, необходимые привязки, 3D построения или дополнительные операции (учитывая их количество и сложность), удобство использования результата операции для последующих построений (в том числе массивов), возможность использования готового 3D фрагмента (библиотечного или из ранних разработок) в качестве заготовки.

При выборе способов построения элементов модели необходимо планировать порядок их построения. Учитывая возникновение связей между элементами (принцип 2), возникает принцип 4.

4. Порядок построения модели очень важен. Все элементы взаимосвязаны. В свою очередь, эти связи зависят от порядка построения модели (принцип 2), поэтому его необходимо продумывать, то есть планировать процесс моделирования. Исходить следует из того, какие взаимосвязи элементов нужны, а какие нежелательны. В основном планирование состоит в следующем:

- объединение поверхностей модели в группы (в части модели), которые могут (или даже обязательно должны) создаваться в рамках одной операции по определённым соображениям. Например, создание выступов одинаковой высоты или сложного ступенчатого отверстия);
- подбор операции для создания этой группы поверхностей (части тела). Практически в большинстве случаев операция выбирается одновременно с созданием групп поверхностей, так как зачастую они объединяются именно под конкретную операцию;
- определение необходимых образующих и направляющих линий, профилей, сечений, плоскостей, точек, ограничивающей геометрии, привязок, обеспечивающих соблюдение заданных размеров и так далее – то есть опорной геометрии или каркаса. При этом для создания этих элементов, возможно, потребуются ещё дополнительные построения. К примеру, проецирование профилей на грани, создание дополнительных тел-оболочек (без толщины). В основное создаваемое тело входить они не будут, но обеспечат нужную геометрию;
- определение **технологии** – порядка построения модели, включая ориентацию в пространстве, создание геометрических построений и «формообразующих» операций, а также переменных, баз данных и прочего при необходимости.

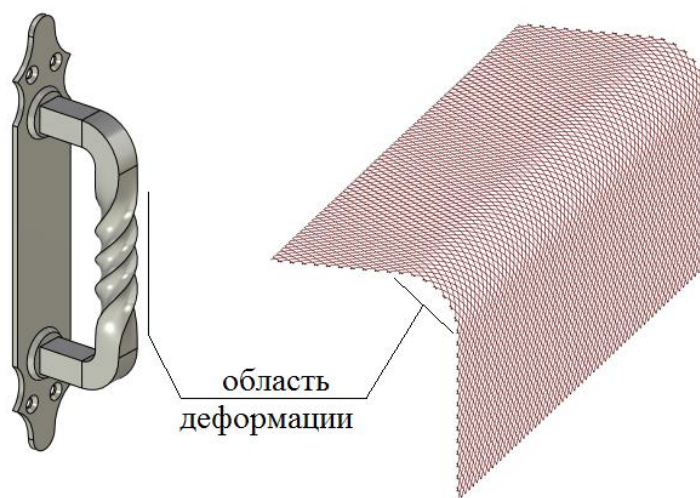


Рис.7. Примеры деформации тела

Обобщая сформулированные принципы, можно сказать, что 3D моделирование (как процесс) — это построение нужной трёхмерной геометрии с помощью геометрических построений и «формообразующих» операций, с установлением между ними определённых взаимосвязей в определённом порядке.

Теория планирования

Порядок построения модели должен планироваться с учётом разных факторов:

- конструкция проектируемой детали. Очевидно, что именно геометрия детали будет являться определяющей причиной выбора того или иного набора операций;
- внешние ограничения, размещение детали в составе сборки (изделия, узла). Если деталь проектируется не «сама по себе», а как часть какой-либо конструкции (в модели - сборки), либо предполагается её использование совместно с другими деталями, то они (сопрягаемые детали) накладывают ограничения на моделируемую деталь – определённые формы и размеры посадочных и крепёжных элементов, предельно допустимые габариты для данной детали и так далее. Наличие в модели других деталей (или тел) может упростить построение проектируемой детали. В этом случае начать можно непосредственно с элементов, с помощью которых деталь сопрягается со сборкой (фланцы, опоры, кронштейны и так далее), а затем уже к ним пристраивать всё остальное. Особенно это актуально при создании деталей в контексте сборки, что позволяет использовать геометрию сопрягаемых деталей. Можно построить фланец с помощью выталкивания плоской грани ответного фланца – Рис.8, а;
- необходимые размерные и геометрические взаимосвязи между элементами модели. В основном они достигаются правильным подбором нужных привязок и применением оптимальных построений. При этом необходимо, чтобы к моменту создания операции необходимые геометрические построения и привязки уже были созданы в модели. В противном случае может возникнуть необходимость в создании дополнительных построений только потому, что ещё не создана геометрия детали, которая может быть использована как геометрическая привязка. Например, если необходимо построить отверстие и массив (крепёжных) отверстий вокруг него (Рис.8, б). Логично построить сначала центральное отверстие и затем использовать его для задания оси массива, иначе потребуются дополнительные построения;

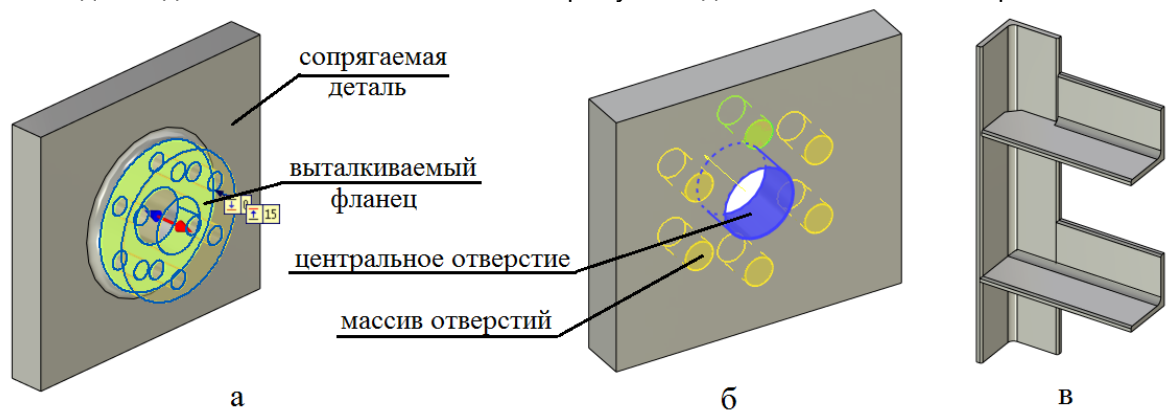


Рис. 8 - К порядку построения модели: а) выталкивание фланца; б) построение массива отверстий; в) вставка модели уголка

- назначение модели и соответственно требований к ней по точности построения. Если модель строится как параметрическая с несколькими переменными для частого использования в разных сборках (особенно если переменные определяют не только размеры, но и состав модели), то порядок и способ построения модели должен продумываться особенно тщательно. Так как при изменении одних переменных и операций может быть вызван сбой других. Если же модель строится для разового использования (например, выпустить сборочный чертёж, не требующий подробной

проработки, или сделать трёхмерную «картинку») и не предполагается создание многих её вариантов, то требования к оптимизации порядка построения модели и точности можно снизить (допустить небольшие пересечения тел или зазоров между ними, «подгонку по месту», пересчёт размеров и так далее). То есть, чем сложнее задачи, для которых создаётся модель, тем детальнее должна быть проработка как самой модели, так и порядка её построения (Рис.8, в – проработка узла соединения уголков в металлоконструкции – подробная и упрощённая);

- личные предпочтения пользователя. Моделирование – это творческий процесс, и на него сильно влияют привычки пользователя, кто-то выберет одну сложную операцию, кто-то несколько простых, главное, чтобы поставленная задача решалась с максимальным удобством для пользователя и с минимальными затратами времени;
- другие соображения: использование готовых фрагментов (в том числе и библиотечных), необходимость редактирования модели в контексте сборки, кооперация с другими пользователями (совместное проектирование изделия), неопределённость в отношении части конструкции на момент начала моделирования и так далее.

В конечном итоге запланированный процесс моделирования в общем случае будет выглядеть как цепочка чередующихся 3D-построений и «формообразующих» операций. Причем их соотношение на разных этапах может быть разным: где-то потребуется много построений для создания одной операции (для операции по сечениям могут потребоваться несколько профилей и направляющих), а где-то наоборот, один 3D профиль можно будет использовать несколько раз. Создание практически всех моделей должно начинаться именно с геометрических построений: плоскостей, узлов, профилей и так далее.

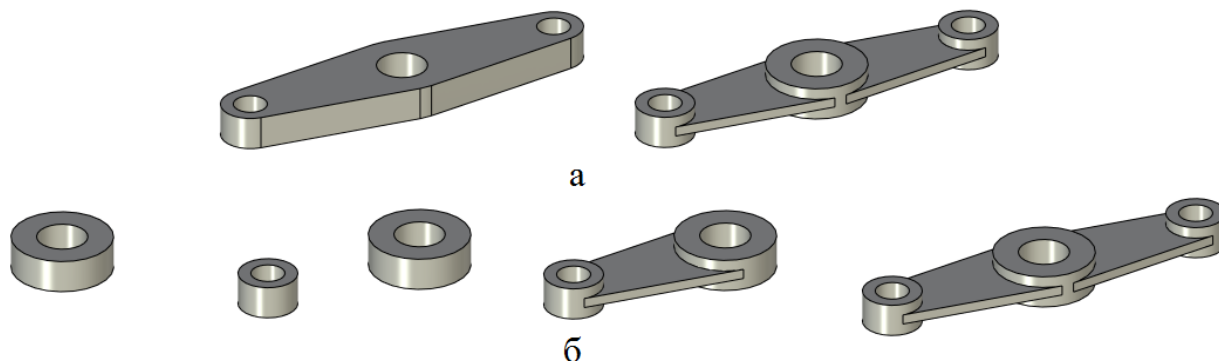


Рис. 9 - Тактика моделирования: а) вырезание; б) наращивание

Построение большей части моделей как отдельных деталей, так и сборок можно свести к двум типовым тактикам, которые могут комбинироваться между собой. Назовем их условно «вырезание» и «наращивание». При использовании тактики «вырезание» сначала создаётся тело-заготовка, формирующая наружные очертания детали, а затем из нее вырезается всё «лишнее» – создаются отверстия, выемки и прочее. Чаще всего эта схема применима к деталям вращения и плоским деталям. В этих случаях часто уже в первой операции можно получить готовый наружный контур. К деталям сложной формы этот вариант применить сложно. А для сборок он применим ограниченно – в случаях, когда детали получаются разбивкой одного тела на части. Примером тут может служить создание длинного трубопровода (выталкиванием по траектории) с последующим рассечением его на отдельные трубы. Схема наращивания используется для деталей с более сложной геометрией, когда не получается создать заготовку, близкую по форме к готовой детали. В этом случае модель создаётся последовательным прибавлением «материала» к первой

операции. При этом «наращивание» может происходить на разных телах с их последующим объединением, а не только за счёт увеличения одного тела. Для сборок эта схема основная. Чаще всего детали создаются по отдельности, даже в режиме сборки. Для некоторых моделей можно использовать обе схемы, на Рис.9 приведён пример построения модели рычага по обеим схемам. В первом случае выталкивается контур детали вместе с отверстиями (их можно сделать и отдельно, но в данном случае первая операция включает в себя максимальное количество создаваемых поверхностей), а затем вырезанием формируются рёбра (операция выталкивания, симметричное отображение, булева операция вычитания). Во втором варианте отдельно создаются центральная и крайняя втулки, ребро между ними, симметричное отображение втулки с ребром и операция булева сложения.

Пользователь всегда имеет множество вариантов, как построить ту или иную модель, и первая из его задач при начале моделирования – это понять, **что** в итоге он хочет (должен) получить, то есть поставить себе цель (определение конструкции), и вторая задача — установить, **как** он может этого добиться, то есть спланировать процесс (определение «технологии»). В этом заключается уже не теоретическая, а практическая подготовка к построению. Насколько оптимальной получится сама модель и процесс её создания зависит именно от этого.

Оптимальной моделью при этом можно считать модель, которая:

- по геометрии соответствует размерам проектируемой детали;
- в максимальной степени соответствует заданным требованиям (их ставит создатель или же пользователь модели), в том числе подробность проработки, способность изменяться и так далее. При этом она не должна превышать эти требования без необходимости;
- нуждается в минимальных временных затрат на разработку, использование и изменение;
- приносит удовольствие от работы (или как минимум требует минимальных затрат нервов).

А **оптимизацией моделирования** при этом можно назвать создание такой организации работы пользователя с CAD-системой, которая обеспечивала бы получение наиболее оптимальной модели. Учтем, что относительно любой конкретной модели эти понятия довольно условны. Каждый пользователь может иметь свой наиболее оптимальный для него вариант.

На этом теоретическую часть можно закончить, и перейти к **практической подготовке**.

Пример построения модели

Рассмотрим пример проработки порядка моделирования в T-FLEX CAD 17 фланцевого переходника, приведённого на Рис.5. Задача такая – спроектировать (и смоделировать соответственно) переходник для подключения технологического рукава к фланцу трубопровода. Фланцы могут быть разные по диаметру, их размеры известны (они стандартные), соединение с рукавом также стандартное — с накидной гайкой. Из-за условий монтажа переходника к трубопроводу рукав должен подходить к фланцу сбоку (радиально). Задачу необходимо проанализировать для понимания, что именно проектируем (определяем конструкцию). Из исходных условий уже можно примерно описать внешний вид: это будет почти стандартный фланец, но с радиальным отводом и глухим центральным отверстием. Для крепления стандартной накидной гайки на отводе переходника необходим стандартный штуцер (либо оригинальная деталь, аналогичная по присоединительным местам). Теперь уточняем конструкцию: в библиотеке моделей арматуры (допускаем, что у нас такая есть) находим подходящий стандартный штуцер, крепим его прямо к фланцу, а в месте приварки предусмотрим лыску. Фланец получается толстым, для снижения массы облегчим его, оставив утолщение только в районе радиального отверстия. Таким образом, задача сводится к моделированию одной детали — фланца с гнездом для приварки штуцера. Геометрически это тело вращения с несколькими простыми цилиндрическими отверстиями в разных плоскостях, с гранями лыски и выреза с задней стороны для облегчения. Для получения такой геометрии можно использовать операции вращения и выталкивания (определяем технологию). Изменять размеры фланца в модели будем с помощью переменных и базы данных, так как нам нужны несколько вариантов с фиксированными значениями переменных и не требуется свободного изменения переменных по отдельности. Создать базу данных и переменные лучше до начала построения самой модели, благо все размеры уже известны (ответные фланцы стандартные).

Фланец — это тело вращения. Попробуем применить к нему тактику вырезания. Построение модели начинается с создания «болванки» по наружному контуру фланца, все остальные элементы потом будут вырезаться из неё. В качестве первой операции используем операцию вращения, в неё (точнее в 3D профиль) включаем максимальное количество соосных поверхностей – наружный контур и центральное глухое отверстие. Кроме 3D профиля ещё необходима ось вращения, рисуем её в самом профиле либо используем линию профиля, лежащую на оси вращения. То есть дополнительных 3D построений не требуется. Профиль рисуем на одной из трёх стандартных плоскостей. С мелкими фасками можно поступить по-разному. Фаску на наружном диаметре центрального выступа фланца можно выполнить в этой же операции вращения, так как с этим выступом больше никаких действий производиться не будет. Фаску по наружному диаметру фланца лучше выполнить в конце построения модели, потому что на наружном контуре ещё будут выполняться вырезы (из-за фаски потом будет необходимо дополнительно проецировать наружную цилиндрическую поверхность). А можно обе эти фаски выполнить в самом конце построения модели. На Рис. 10, а показан 3D профиль (зелёным контуром) и результат операции вращения. Таким образом, построена заготовка модели.

Для определения дальнейшей последовательности моделирования необходимо определить условно «постоянные» и «переменные» элементы. «Постоянными» в данном случае можно назвать те элементы модели, которые будут в любом случае либо те элементы, в конструкции которых есть точная определённость, но размеры могут меняться. «Переменные» – это элементы, наличие которых не обязательно, либо их конструкция в процессе проектирования детали может измениться. В первую очередь целесообразно

создавать «постоянные» элементы, а затем «переменные». Это поможет сократить объём перестроения модели при возможном изменении конструкции.

В данном случае концентрические отверстия фланца – это «постоянный» элемент, а радиальное отверстие с лыской для штуцера и вырез для облегчения – «переменные» (конструктивных вариантов их исполнения может быть много). Для создания группы концентрических отверстий можно использовать разные способы. Например, в профиле нарисовать все концентрические отверстия, вытолкнуть их и вычесть булевой операцией. А можно сначала нарисовать в профиле только одно отверстие и вытолкнуть его, не вычитая, затем построить круговой массив и вычесть отверстия булевой операцией (Рис.10, б). В нашем случае при переменных размерах фланца может меняться и количество отверстий, по мнению автора, второй вариант построения будет более предпочтителен. Если количество отверстий будет переменным (например, 4, 6, 8), то при создании профиля следует внимательнее выбирать место, где будет расположено первое отверстие массива. Необходимо, чтобы будущее радиальное отверстие всегда проходило посередине между двумя отверстиями массива (или по крайней мере не ближе определённого расстояния от них). Если радиальное отверстие предполагается разместить по горизонтальной оси, то первое отверстие массива удобно рисовать на оси под определённым углом к горизонту (к указанному выше количеству отверстий этот угол соответственно будет равен 45°, 30°, 22,5°). Рабочую плоскость для профиля строим прямо на торце, дополнительных построений также не требуется.

Радиальное отверстие планируется с небольшой расточкой под штуцер (для его центрирования и облегчения сборки), варианты его построения могут быть разными – операция вращения или последовательные выталкивания. Если стремится использовать самые простые 3D профили, то порядок моделирования будет такой: сначала лыска (чтобы получить плоскую грань для рисования профиля под отверстие), затем радиальное отверстие (оно в конструкции важнее расточки) и расточка под штуцер (это второстепенный элемент).

По исходным данным диаметр фланца у нас переменный, а размер приварного штуцера не изменяется. Построения должны обеспечивать сохранение определённых размеров лыски (как минимум она не должна стать меньше диаметра расточки при любом значении диаметра фланца), сделать это можно разными способами. В данном случае установим постоянную ширину лыски, допустим 40 мм. Для обеспечения этого требования строить 3D профиль для выталкивания нужно в определённом порядке. Сначала создаём окружность по наружному диаметру и линии (можно даже и одну) со смещением 20 мм от горизонтальной оси, затем вертикальную линию, задающую положение поверхности лыски, её строим по точке пересечения этой смещённой горизонтали и окружности (Рис.10, в). Такое построение обеспечит «скольжение» крайних точек лыски по наружному диаметру с сохранением её ширины. Создав 3D профиль на плоской грани лыски, с помощью выталкивания получаем радиальное отверстие. При использовании этой операции необходимо обеспечить изменение глубины тела отверстия в связи с переменным диаметром фланца. Для этого выталкивание можно выполнять до рабочей плоскости «вид слева», проходящей по оси детали (это один из вариантов, обеспечивающих выход отверстия в центральное отверстие фланца). Так же выталкиванием создаём расточку. И, конечно, после каждой из этих трёх операций применяем булева вычитание построенных тел из тела фланца. Порядок этих построений показан на Рис.10, г-е.

Остаётся сделать вырез для облегчения (выталкиванием, Рис.10, ж), фаску по наружному диаметру фланца (Рис.10, з) и вставить фрагмент штуцера (Рис. 10, и). Эта последовательность хорошо отражена в дереве построения тела (Рис.5).

Такой способ построения довольно простой и использует типовой повторяющийся алгоритм: 3D профиль – выталкивание (вращение) – булева операция. Эта «технология» вполне может использоваться начинающим пользователем, ещё не изучившим все доступные ему опции. А между тем изучение этих опций позволит оптимизировать модель.

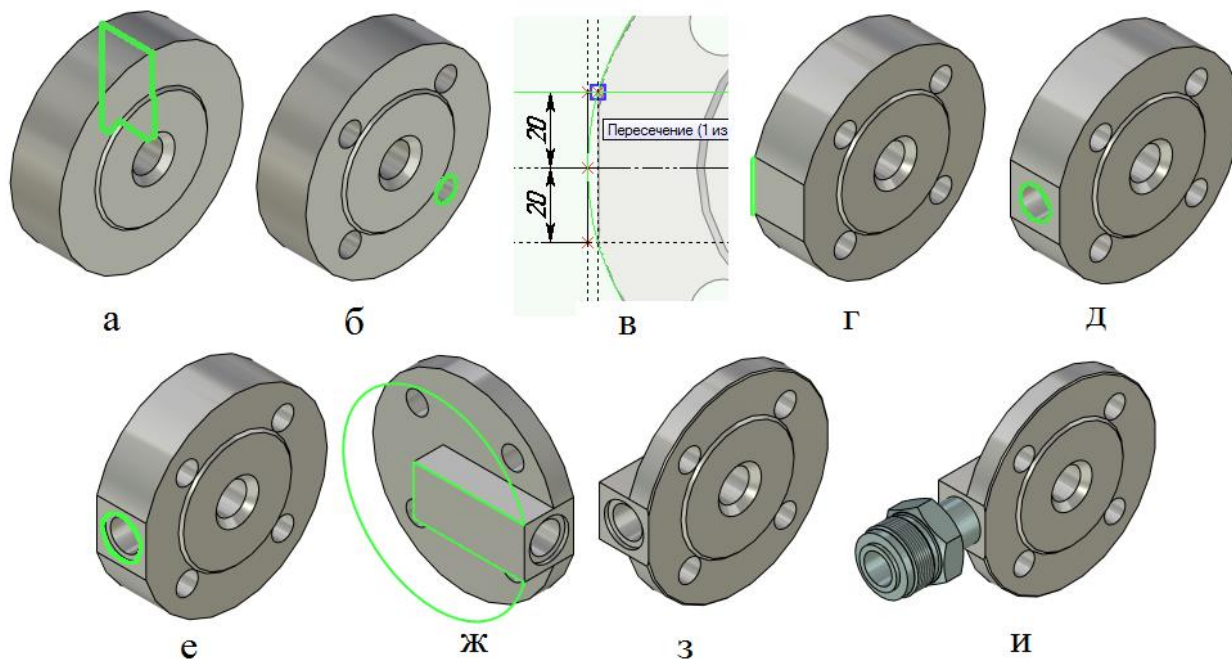


Рис. 10 - Порядок построения модели фланца-переходника

Способы оптимизации модели могут быть разные. Это не только тщательное продумывание конструкции детали перед началом моделирования во избежание лишних исправлений, но и более широкое использование возможностей системы. При внимательном её изучении можно найти много полезных опций и функций, которые способны упростить и ускорить работу. Рассмотрим некоторые из функций системы T-FLEX CAD.

Инструменты моделирования T-FLEX CAD

Начинать надо с **операции выталкивания** – это, пожалуй, основная «формообразующая» команда. Для её создания необходимо задать профиль, направление и длину. При этом можно руководствоваться разными способами задачи длины и направления. Самый простой из них - указать необходимую величину выталкивания. Направление при этом будет автоматически задано перпендикулярно плоскости, на которой начерчен 3D профиль (Рис.11, а). Помимо этого, длина выталкивания может задаваться с использованием уже созданной в модели геометрии: по ребру, по двум точкам (Рис.11, б, в соответственно) и т.д. Длина же выталкиваемого элемента будет соответствовать размерам привязочной геометрии (длине ребра, расстоянию между двумя точками) либо выравниваться по выбранной грани. Но в первую очередь такая привязка задаёт направление выталкивания, поэтому необходимо следить за тем, чтобы выбранная для привязки геометрия совпадала с нужным направлением. Еще получить требуемую длину можно выталкиванием до грани, точки (Рис.11, г, д) и др. элементов. Направление задаётся автоматически перпендикулярно плоскости 3D профиля (возможность задать направление вручную, конечно, сохраняется). Профиль выталкивания может быть задан также разными способами, кроме нарисованного 3D профиля можно использовать ребро, а также плоский 3D путь, отдельную линию 3D профиля и т.д. При использовании прямого ребра в качестве профиля необходимо обязательно задать направление выталкивания (любым способом) и длину, которая также может быть задана имеющейся геометрией. На Рис.11, е приведён пример выталкивания ребра перпендикулярно грани (жёлтой) до выбранной грани (синей). При этом получается тонкостенная поверхность (без толщины), чтобы создать её, можно использовать опцию придания тонкостенному элементу толщины (Рис.11, ж). В этом случае мы сможем получить нужную стенку, заполняющую весь проём, одной операцией и без рисования 3D профиля, что существенно экономит время. Точно так же можно выталкивать грани (Рис.11, з), при этом они выталкиваются полностью.

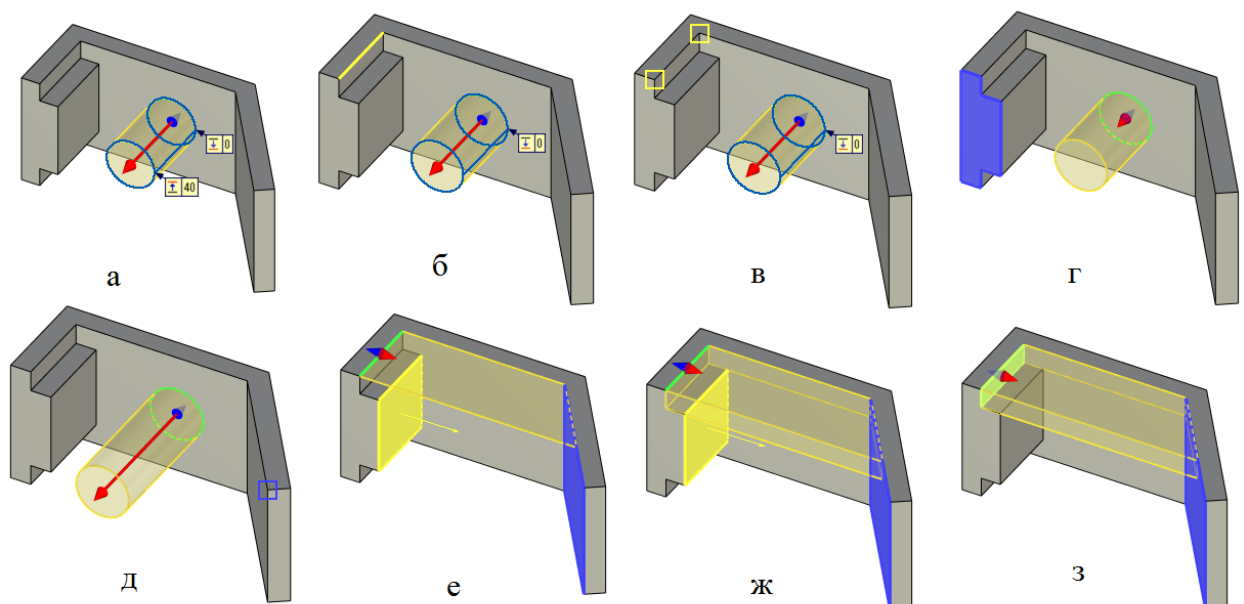


Рис. 11 - Различные способы создания выталкивания

Использование опции «тонкостенный элемент» очень удобно при моделировании конструкций типа корпусов, коробов и т.п. с плоскими стенками. На Рис.12, а-г приведён пример построения такой модели. Сначала выталкивается дно (по 3D профилю), затем создаётся одна из его стенок путём выталкивания ребра на заданное расстояние, и вторая

стенка (противоположная первой) выталкивается до верхней грани первой стенки, либо её можно построить с помощью симметрии. Третья и четвёртая стенки создаются выталкиванием вертикального ребра по двум точкам на внутренних сторонах элементов, тут тоже можно использовать симметрию. При таком способе построения используется всего один начерченный профиль и обеспечивается равенство высот всех стенок, а также соответствие их длин размерам основания. Таким образом, существенно экономится время и сохраняется конфигурация модели при изменении размеров.

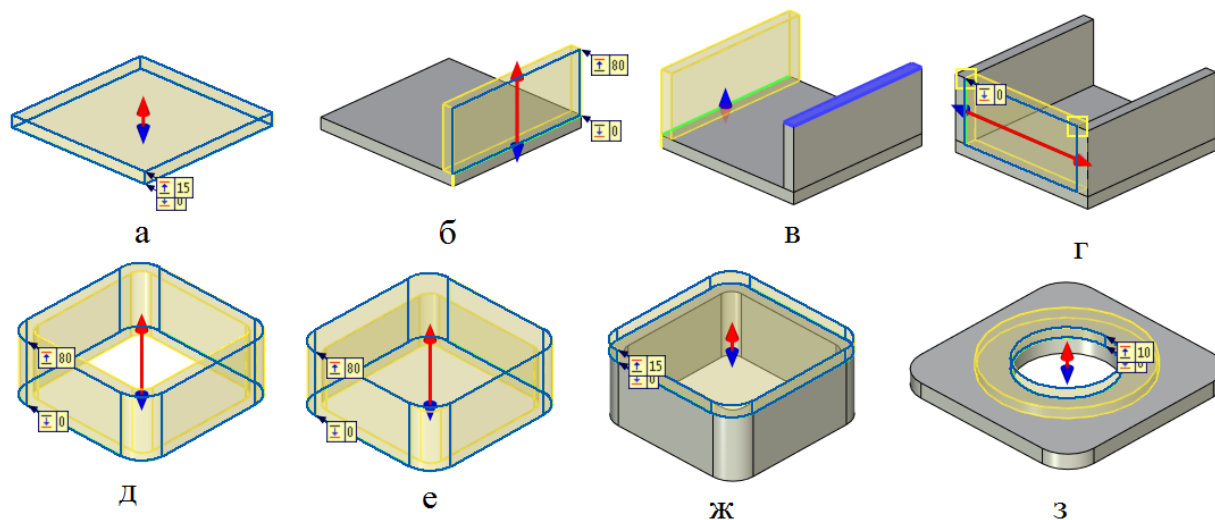


Рис. 12 - Примеры использования тонкостенного элемента при выталкивании

В предыдущем примере конструкция сборная, и все стенки создаются по отдельности. Но с использованием тонкостенного элемента можно выталкивать и контуры (Рис.12, д), при том довольно сложные, как замкнутые, так и открытые. Так можно моделировать не только «коробки» и профильные трубы, но и листовые детали, упрощая 3D профили – вычерчивать контур только одной поверхности листовой детали. Кроме того, вместе с тонкостенным элементом можно автоматически создавать и дно (или крышку, Рис.12, е). Таким образом, одной операцией можно создать деталь типа стакан, корпус, крышка и т.п. В случаях, когда «крышка» должна быть отдельной (например, заглушка на торце профильной трубы), для экономии времени можно два раза использовать один и тот же 3D профиль: сначала для выталкивания трубы (с тонкостенным элементом), затем для выталкивания крышки (без тонкостенного элемента; Рис.12, ж). При этом экономится время и обеспечивается точное соответствие контура крышки профилю трубы. Ещё одним примером эффективного использования тонкостенного элемента можно считать создание шайб, бобышек и колец путём выталкивания кругового ребра отверстия в стенке (Рис.12, з). Длина выталкивания будет соответствовать высоте шайбы, а толщина тонкостенного элемента – ширине поверхности шайбы. Это лишь отдельные примеры того, как используя опции команды выталкивания, возможно оптимизировать построение модели и ускорить процесс моделирования. Так же при использовании команды можно создавать отступы по концам выталкивания, уклоны, фаски по кромкам.

Аналогичные способы оптимизации моделирования есть и в других командах системы, точно так же тонкостенный элемент может использоваться в операции вращения, выталкивании по сечениям и по траектории.

Вместе с «формообразующими» командами неразрывно используются и булевы операции (сложение, вычитание, пересечение), также имеющие свои особенности. Например, у **операции вычитания** есть очень полезная опция – «оставлять в сцене» для второго

операнда. Она позволяет для получения вырезов в деталях (телах) использовать другие детали (тела), которые при этом должны оставаться в модели. Получаемый вырез будет полностью соответствовать по размерам сопрягаемой детали и автоматически перестраиваться при её изменении. В качестве примера на Рис.13, а-б показано создание отверстия под штифт в винте с помощью «вычитания» самого штифта. При этом штифт размещается в необходимом месте в сборке либо создаётся как второе тело. Для его привязки могут быть созданы дополнительные элементы, например, 3D узел в профиле для операции вращения на пересечении осей винта и штифта. При создании булевой операции вычитания с использованием опции «оставлять в сцене» для второго операнда (штифта) в винте появляется отверстие, а сам штифт остаётся в сборке. Упрощение работы достигается благодаря отсутствию необходимости в черчении профиля выреза и создания выталкивания. Чем сложнее геометрия сопрягаемых деталей, тем эффективнее будет использование этой опции.

Если требуемая форма выреза не должна точно совпадать с сопрягаемой деталью, то использование этой опции также возможно с некоторыми ограничениями, придётся изменить порядок построения модели. Для примера на Рис.13 в сопрягаемая деталь имеет отверстие и фаски, после булевой операции в зелёной детали мы также получим на месте отверстия фаски и выступ (Рис.13, г). Чтобы этого избежать, их необходимо создавать в сопрягаемых деталях после булевой операции (Рис.13, д-е). При этом необходимо прорабатывать порядок построения обеих деталей в связке друг с другом.

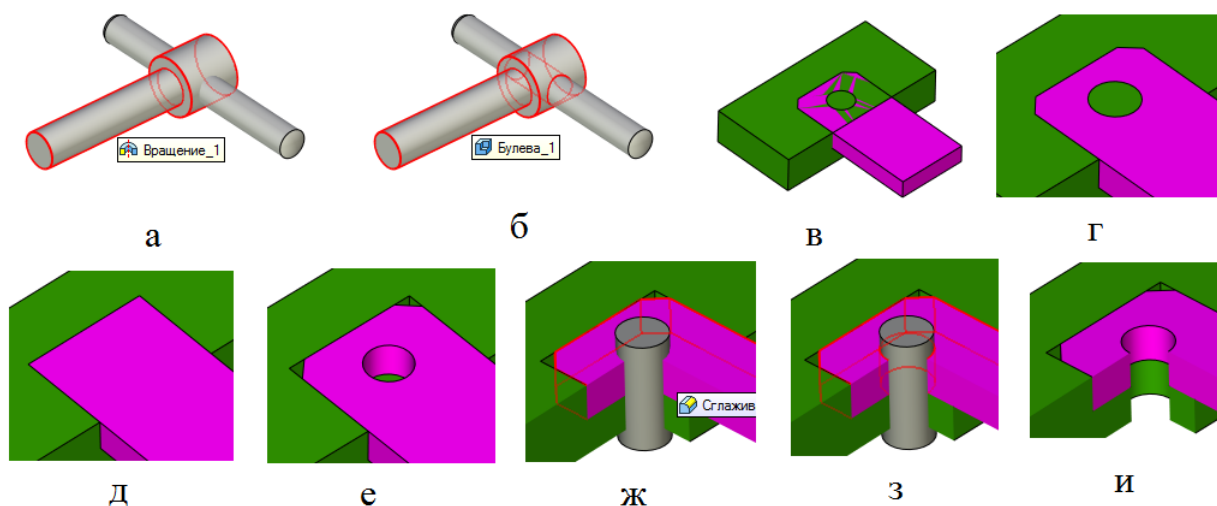


Рис. 13 - Примеры использования булевой операции вычитания

Опцию «оставлять в сцене» удобно также использовать при создании в разных телах (фрагментах) соосных отверстий, например, под крепёж. Для этого операция выталкивания (или вставка фрагмента) выреза создаётся с пересечением всех тел, в которых будут отверстия (Рис.13, ж), затем для первого из тел создаётся операция булева вычитания с использованием этой опции. Так в первом теле образуется отверстие, а «вырезаемое» тело сохраняется (Рис.13, з). Аналогично создаётся отверстие для второго тела (Рис.13, и), при этом опция либо используется, либо нет, в зависимости от того, нужно ли сохранить тело выреза. Булева операция в этом случае применяется к разным телам по отдельности, так как её применение сразу к двум телам приведёт к объединению тел.

В ряде случаев операцию булева вычитания (либо выталкивание до грани) эффективно заменяет **операция отсечения**. Она позволяет обрезать тело (фрагмент) по заданной

геометрии, например, по плоскости (Рис. 14, а). Надо помнить, что рабочая плоскость бесконечная, и тело отсечётся по всем местам пересечения с этой плоскостью.

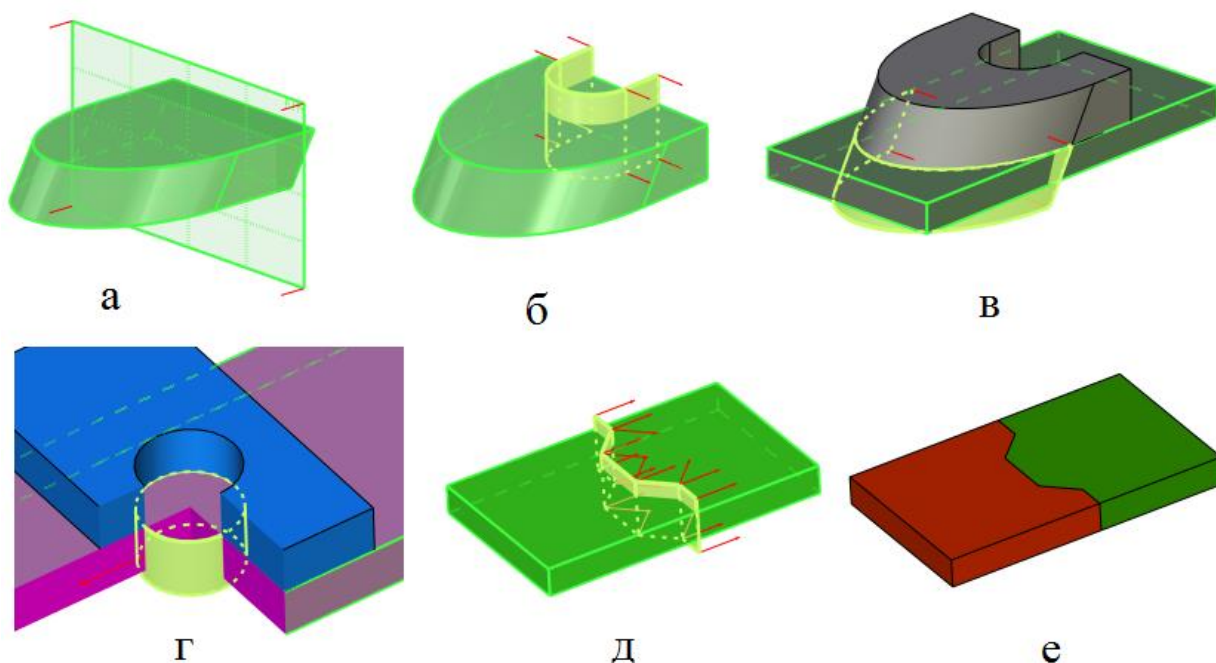


Рис. 14 - Примеры использования операции отсечения

Также возможна обрезка по грани (Рис.14, б) или набору граней, причем выбранная геометрия должна полностью пересекать отсекаемое тело. Кроме того, можно использовать отсечение для обрезки одной детали по контуру второй, или получения отверстия по отверстию в смежной детали. Для этого сначала создаётся выталкивание тонкостенной поверхности по контуру детали (для этого можно создать, например, 3D путь по набору рёбер) или ребру отверстия, а затем по этой поверхности отсекается вторая деталь (Рис. 14, в, г). С использованием опции рассечения на два тела удобно моделировать детали, сопрягаемые по определённому профилю, используя при этом тело-заготовку (Рис.14, д-е). Для этого также необходимо построить тонкостенную поверхность по контуру сопряжения, в результате рассечения будет образовано два тела. Так же можно рассекать тело плоскостями. После выполнения операции отсечения тонкостенная поверхность (если она создавалась) останется в модели. Её необходимо скрыть, если далее она использоваться не будет.

Существуют и инструменты создания конкретных конструктивных элементов. В первую очередь это команда Отверстие, позволяющая создавать самые разнообразные отверстия, как гладкие, так и резьбовые, а также с фасками и цековками. Команда имеет много опций по настройке создаваемого отверстия, использует базу данных разных типов резьб и поддерживает создание массива отверстий по ранее созданному массиву 3D-узлов. Для создания отверстия необходима привязка к 3D-узлу, центру кругового ребра или к граням с заданием смещений. На Рис.15 приведены примеры отверстий, создаваемых данной командой. Также могут создаваться целые массивы отверстий, для этого нужно предварительно создать массив 3D узлов по местам расположения отверстий. Использование этой команды позволяет экономить много времени и не заниматься поиском в справочниках диаметров отверстий под нарезание резьбы.

Кроме команды создания отверстия имеется целая библиотека типовых конструктивных элементов (проточек, канавок, шлицев и т.д.), позволяющая облегчить создание модели. Библиотека доступна через окно «Меню документов», конструктивные элементы вставляются в модель как фрагменты с привязкой по имеющейся геометрии.

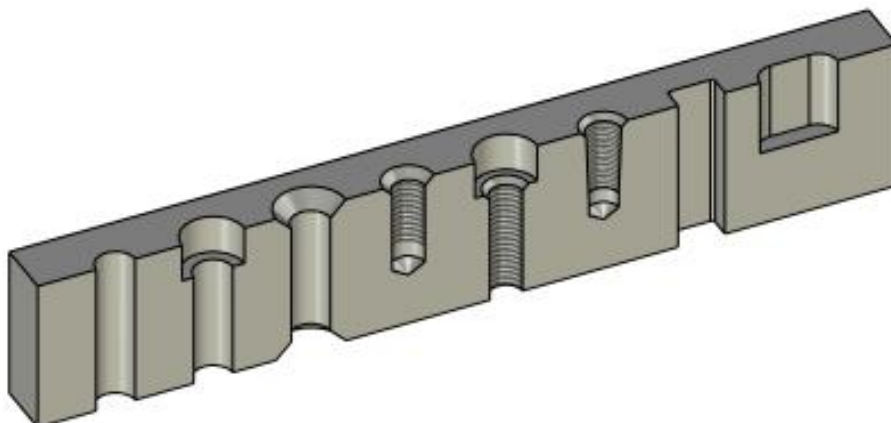


Рис.15 - Пример отверстий

На Рис.16 показан пример модели, созданной только с помощью этой библиотеки (деталь немного упрощена, обратите внимание: 3D построения не выполнялись вообще, СК создаются автоматически при вставке, а каждый использованный фрагмент остаётся доступным для редактирования через дерево построения). Размеры стандартных конструктивных элементов соответствуют ГОСТ, что также снимает необходимость в поиске данных. Этот способ моделирования применим в первую очередь именно к телам вращения, так как элементы в них легче (и чаще) стандартизируются. Стоит учесть, что пользователь имеет возможность создать для себя свою аналогичную библиотеку типовых элементов, от примитивных моделей, типа прямоугольных стенок, до сложных, например, заготовок под корпус редуктора.

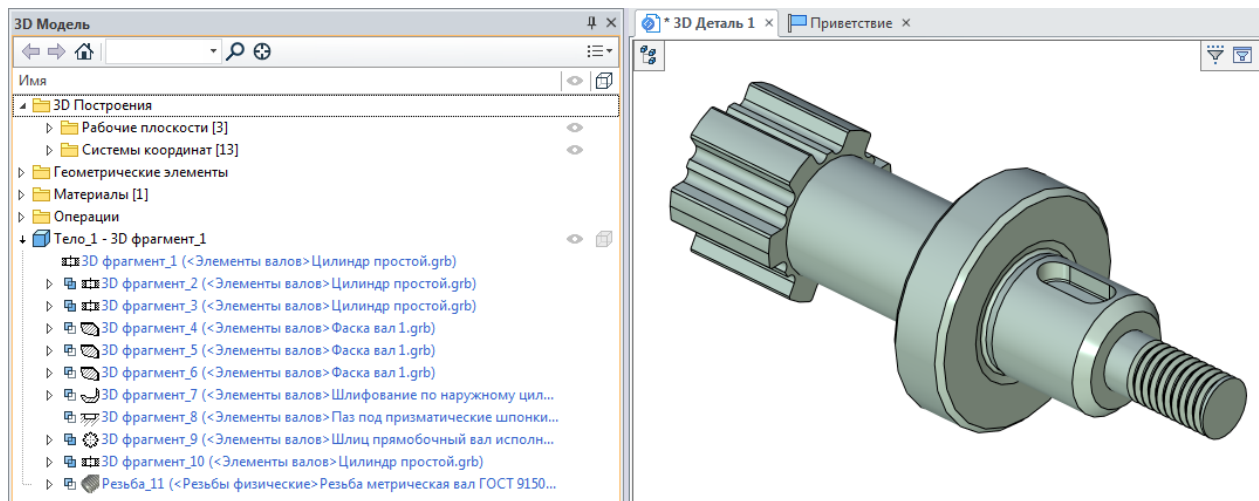


Рис. 16 - Пример модели, построенной из типовых конструктивных элементов

Ускорению работы существенно способствуют и команды копирования геометрии – создание симметрий, массивов и копий. Они тоже имеют свои особенности, например, их можно применить не только к телам, но и к 3D построениям. Операция симметрии позволяет не только создавать зеркальную копию, но и удалять исходную (переносить с зеркальным отображением), опция полезна, например, при создании в одной модели двух зеркальных вариантов, и, если отображение правого/левого варианта управляется переменной. В зависимости от способа создания могут получаться разные массивы –

линейные, круговые, по точкам и т.д. Операция создания копии отличается двумя особенностями: создание всего одной копии и возможность повернуть копию относительно оригинала при пользовании в качестве привязок двух систем координат (за счёт ориентации системы координат и производится поворот копии).

Это был очень краткий обзор имеющихся в системе инструментов моделирования. Кроме описанных способов оптимизации моделирования существуют и другие возможности упростить и ускорить построение модели, они могут открываться пользователю по мере набирания опыта работы с системой.

Использование альтернативных способов построения

Изучив некоторые способы оптимизации моделирования, попробуем пересмотреть порядок построения модели фланца-переходника (Рис.10), разработав для неё **альтернативный способ** построения модели. Оптимизация будет направлена на уменьшение количества 3D-профилей (личные предпочтения автора), их упрощение и более широкое использование вспомогательной геометрии (плоскостей и 3D узлов).

Для начала немного переосмыслим геометрию детали – то, что в «базовой технологии» считалось вырезом для облегчения (и получалось так же с помощью вырезания) представим, как прямоугольный выступ на задней стороне, и будем строить его уже «наращиванием». Такое изменение отношения к геометрии позволяет по-иному спланировать порядок построения модели. Моделирование начинается тоже с операции вращения, но при этом создаётся только сам фланец, без выступа на задней стороне (Рис.17,а). Так же из данной операции исключается центральное отверстие, оно будет строиться отдельно. Затем во фланце создается группа концентрических отверстий (Рис.17, б), как и в «базовой» технологии (выталкивание тела одного отверстия – круговой массив этих тел – булево вычитание). Либо можно создать массив 3D-узлов, и строить командой «отверстие» сразу массив отверстий.

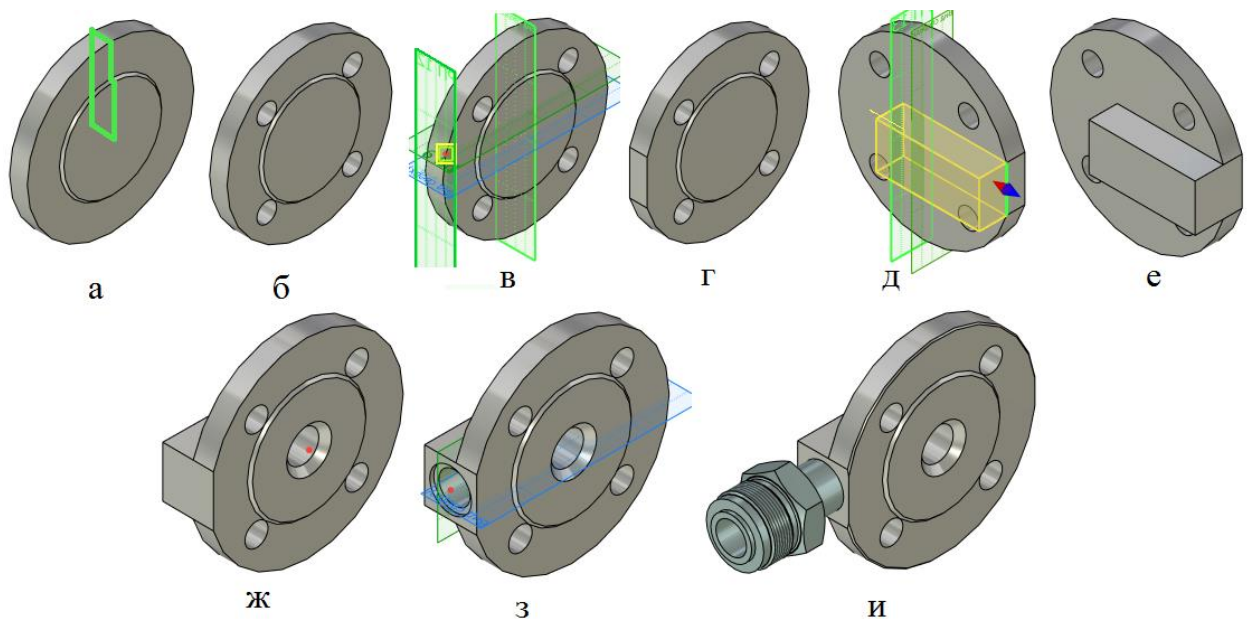


Рис. 17 - Альтернативный порядок построения модели фланца-переходника

Затем необходимо определить взаимосвязи между остальными элементами модели:

- центральное глухое отверстие невозможно создать, пока не создан выступ на задней стороне фланца;
- радиальное отверстие невозможно создать, пока не создан выступ на задней стороне фланца и лыска. Ещё желательно наличие центрального отверстия (в зависимости от способа создания радиального отверстия);
- чтобы ширина выступа строго соответствовала ширине лыски, необходимо создание сначала лыски, а затем выступа (можно, конечно, и наоборот).

То есть получаем следующий порядок построения: лыска – выступ на задней стороне фланца – центральное отверстие – радиальное отверстие. При этом надо обратить внимание на то, что лыска уже не рассматривается в качестве «переменного» элемента, как в первом

варианте. Здесь на её наличие завязывается построение части модели, и, в случае исключения лыски из конструкции детали, порядок построения придётся пересматривать.

Для создания лыски будем использовать отсечение по плоскости. При этом, чтобы ширина лыски всегда была равна 40 мм, отсекающую плоскость необходимо строить по точке, лежащей на круговом ребре фланца на расстоянии 20 мм от горизонтальной плоскости симметрии фланца. Для этого создаётся рабочая плоскость со смещением 20 мм от горизонтальной плоскости и 3D узел на пересечении кругового ребра с этой плоскостью (Рис.17, в, г).

Выступ на задней стороне необходимо строить выталкиванием, но это можно сделать и без черчения 3D профиля. Для выталкивания можно использовать ребро лыски, при этом мы гарантированно получаем равенство ширины лыски и выступа. Так как по исходному условию диаметр фланца может меняться, нам необходима привязка, которая будет обеспечивать изменение длины выталкивания и необходимый отступ торца выступа от плоскости симметрии (чтобы центральное отверстие гарантированно было закрыто этим выступом). Для этого создаётся плоскость, параллельная вертикальной осевой плоскости с необходимым смещением, выталкивание ребра производится до этой плоскости (Рис.17, д; после булевого сложения – Рис.17, е). Её можно использовать и для задания направления выталкивания.

Центральное отверстие создаётся командой «отверстие» – её редактирование в дальнейшем может быть гораздо удобнее редактирования 3D-профиля. Для привязки отверстия предварительно создаётся 3D-узел в центре кругового ребра торца (Рис.17, ж), он может быть создан при рисовании 3D профиля для операции вращения.

Аналогично создаётся боковое (радиальное) отверстие. 3D узел для него строится на пересечении плоской грани лыски, горизонтальной плоскости симметрии и плоскости, средней между двумя торцами (опция «построить РП между двумя РП»). Отверстие создаётся сразу с расточкой (ступенчатое), а глубина задаётся способом «до следующей грани» с включенной опцией «учесть неплоские грани» (при этом оно гарантировано выходит в центральное отверстие; Рис.17, з).

В завершение остаётся выполнить фаску на наружном диаметре фланца и вставить фрагмент штуцера (Рис.17, и). В целом, этот вариант построения модели не так уж сильно отличается от «базового». Сравнение способов построения (по дереву построения модели) приведено на Рис.19. Количество «формообразующих» операций осталось прежним, но намного меньше стало 3D профилей, и соответственно, проекций (они создаются автоматически при начале черчения на грани). Число рабочих плоскостей тоже равно, но в первом варианте они автоматически создавались на гранях (при черчении 3D профилей), а во втором варианте плоскости использовались для необходимых геометрических построений.

Порядок построения этой модели можно изменить более радикально, по-другому сгруппировав элементы детали. Если рассмотреть профиль вращения во втором варианте (Рис.17, а), то видно, он довольно простой. Строится плоский диск с небольшим выступом, вращать такие простые профили особого смысла нет, если вместо этого применимо выталкивание. Также видно, что и концентрические отверстия фланца, и лыску можно получить одной операцией выталкивания вместе с наружной поверхностью фланца, поэтому в варианте «альтернативный-2» первой операцией будет именно выталкивание (без учёта выступа на задней стороне, не со стороны уплотнения, Рис.18, а). Здесь стоит обратить внимание на отверстия, если их количество не меняется при изменении диаметра фланца (а он, по условию переменный), то никаких проблем не будет. А если количество

отверстий может изменяться, то их всё же лучше выполнять отдельно (массивом) от наружного контура.

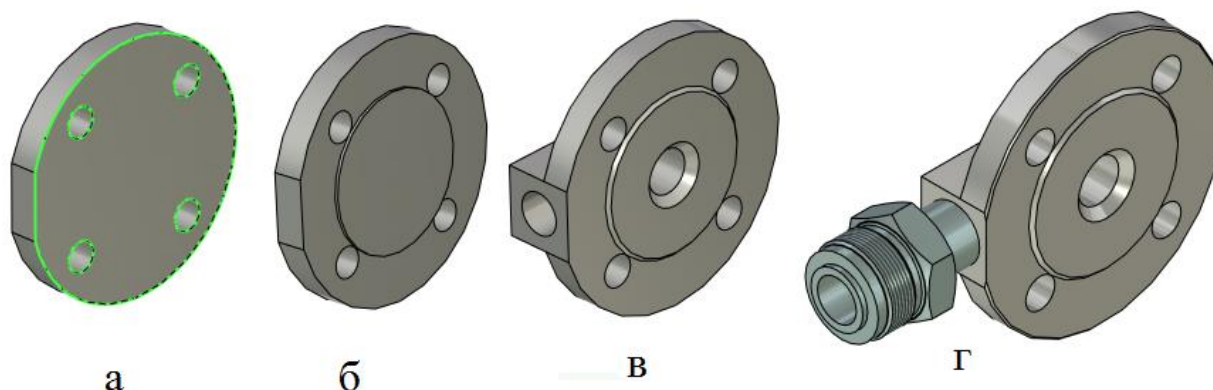


Рис. 18 - «Альтернативный-2» порядок построения модели фланца-переходника (фрагменты)

Выступ на торце фланца построим отдельно с булевой операцией сложения. Сразу же можно сделать фаску на этом выступе, она ничему не мешает, так как дальнейших построений на этих поверхностях не будет (Рис.18, б). Наличие уплотнительного выступа снижает оптимальность такого порядка построения модели, гораздо лучше он бы подошёл к фланцу с плоским торцом.

базовый вариант	альтернативный вариант	альтернативный-2 вариант
<ul style="list-style-type: none"> 3D Построения <ul style="list-style-type: none"> 3D Профили [6] 3D Узлы [2] Рабочие плоскости [8] Системы координат [1] Геометрические элементы Материалы [1] Операции Проекции [6] фланец-переходник <ul style="list-style-type: none"> Вращение_1 отверстия фланца лыска боковое отверстие расточка под штуцер вырез-облегчение фаска 3D фрагмент_1 (<Обезличка>Штуцер п 	<ul style="list-style-type: none"> 3D Построения <ul style="list-style-type: none"> 3D Профили [2] 3D Узлы [5] Рабочие плоскости [8] Системы координат [1] Геометрические элементы Материалы [1] Операции Проекции [2] фланец-переходник <ul style="list-style-type: none"> Вращение_1 отверстия фланца лыска выступ центральное отверстие боковое отверстие фаска 3D фрагмент_1 (<Обезличка>Штуцер п 	<ul style="list-style-type: none"> 3D Построения <ul style="list-style-type: none"> 3D Профили [3] 3D Узлы [1] Рабочие плоскости [6] Системы координат [1] Геометрические элементы Материалы [1] Операции Проекции [2] фланец <ul style="list-style-type: none"> Выталкивание_1 выступ уплотнения фаска выступ центральное отверстие боковое отверстие 3D фрагмент_1 (<Обезличка>Шту 3D фрагмент_1 (<Обезличка>Штуцер пр

Рис.19 - Сравнение способов построения модели по дереву построения

Построение выступа на задней стороне и центрального отверстия оставим, как во втором варианте (Рис.17, д-ж), боковое отверстие сделаем, как в первом - выталкиванием, но не ступенчатым и без расточки (Рис.18, в; выталкивание используем потому, что отверстие получается простое). Её сделаем прямо по модели штуцера – вставляем его как фрагмент с нужным заглублением (на глубину расточки) и вычитаем булевой операцией, оставляя в сцене (Рис.18, г). Такой способ обеспечивает соответствие расточки размеру штуцера. Это важно при его изменении, например, в случае добавления новых вариантов переходника под другие соединительные размеры технологического рукава. В данном построении это оправдано, так как модель фланца отдельно от штуцера использовать не планируется. Но обязательно проверяем, чтобы отверстие в штуцере не было больше бокового отверстия во фланце, и чтобы на торце штуцера не было фасок.

В целом третий вариант отличается предельно «нагруженной» первой операцией и зависимостью от модели штуцера (в первых двух вариантах геометрия переходника от него не зависела).

Вариантов построения этой модели, как и любой другой модели вообще, можно придумать ещё много. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, а также может накладывать определённые ограничения. Если перед началом построения модели проработать разные варианты, то всегда можно получить наиболее оптимальную «технология», в том числе как результат совмещения нескольких. Оптимальность способа построения определяется в том числе и личными предпочтениями пользователя, но, чтобы их сформировать, необходимо попробовать разные приёмы моделирования и выбрать из них те, которые для него будут более предпочтительными. В конечном итоге повышение эффективности работы с системой может быть достигнуто именно за счёт выбора пользователем наиболее удобного для себя способа моделирования разных конструкций. Целью этой статьи и было побуждение начинающих пользователей САПР к более внимательному изучению базовых инструментов и их возможностей, и если её изучение позволит читателю расширить используемый функционал, то цель можно считать достигнутой.

[Загрузка бесплатной учебной версии T-FLEX CAD 17](#)

[Загрузка учебного пособия](#)

Для связи с головным офисом компании «Топ Системы»
или любым нашим региональным партнёром воспользуйтесь
единой формой обратной связи

tflex.ru/mail

Связаться с нами



www.tflex.ru
www.tflexcad.ru

+ 7 (499) 973-20-34
+ 7 (499) 973-20-35

tflex@topsystems.ru

