



**ДИСЦИПЛИНА:**  
**Автоматизация конструкторского  
и технологического  
проектирования**  
**Лекция №12.**



**ТЕМА:**  
**«СЛОЖНЫЕ 3D-  
ТЕЛА: СПОСОБЫ  
ФОРМИРОВАНИЯ»**



# План:

1. Инструменты моделирования
2. Способы формирования 3D-тел
3. Сопряжения криволинейных граней
4. Формирование тел вычитанием
5. Формирование тел взаимодействием и сдвигом
6. Формирование тел лофтингом
7. Преобразование поверхностей и сетей в 3D-тела
8. Краткие рекомендации по моделированию



# Инструменты моделирования

**Классическое определение сложного твердотельного объекта** трактуется как результат проведения процедур вычитания, объединения или пересечения двух и более тел, при этом конфигурация исходных и вновь созданного тела в расчет не принимается.

Например, в результате объединения двух примитивных тел - цилиндра и параллелепипеда получится сложное однородное тело, имеющее один общий объем.

В этой главе мы не будем отступать от классической формулировки, а сделаем всего лишь небольшое дополнение и рассмотрим сложные тела как тела с набором криволинейных пространственных граней. Подобные формообразования в большинстве случаев имеют объекты, полученные литьем или механическими способами обработки материалов - штамповкой и ее разновидностями.



Базовые инструменты трехмерного твердотельного моделирования, механизм их работы и принципы построения простых твердых тел были рассмотрены в одной из предыдущих глав. Если дополнить список уже известных вам базовых инструментов моделирования еще тремя инструментами, то можно смело приступать к построению твердотельной модели практически любой сложности. Вот эти инструменты:

**Sweep** (Сдвиг или проводка по маршруту);

**Interference Checking** (Проверка взаимодействий);

**Loft** (По сечениям).

Техника работы с последним инструментом была изложена ранее применительно к поверхностям. Ниже будет показано, как с помощью процедуры лофтинга формируются сложные 3D-тела.



# Способы формирования 3D-тел

Способов, которыми AutoCAD формирует 3D-тела не так много и условно можно разделить их на две группы.

**Первая группа** - формирование тел из плоских замкнутых контуров:

выдавливание;

вращение;

сдвиг;

лофтинг.



**Вторая группа** - формирование тел из промежуточных тел (тел-заготовок):

объединение;

вычитание;

пересечение;

взаимодействие

В дополнении к этому возможна трансформация некоторых типов поверхностей и объектов-сетей в 3D-тела.

В свою очередь твердотельный объект можно создать, применяя либо только один из способов, либо комбинацию нескольких. Кроме того, к достоинствам AutoCAD следует отнести то обстоятельство, что программа не ограничивает пользователя рамками применения только одного конкретного способа формирования объекта, но и предоставляет альтернативные варианты.



Прежде всего, необходимо внести некоторую ясность в термины, которые будут использоваться здесь и в дальнейшем:

**исходное тело** - объект изначально формообразующий будущую конфигурацию модели;

**вспомогательное тело** - законченный объект, предназначенный для целей его вычитания (объединения) с исходным или промежуточным телом, как правило, объект однократного применения;

**промежуточное тело** - объект-заготовка (полуфабрикат), тело, полученное в результате формообразующих процедур и требующее дальнейшей доработки (редактирования).



На практике в некоторых случаях при создании сложных тел важен не столько способ (способы известны), сколько выбор правильного подхода к формированию объекта. Это во многом определяется опытом, а опыт нарабатывается практикой. Если вы моделируете объект, и что-то не получается, попробуйте изменить подход к возникшей проблеме.





# Сопряжения криволинейных граней

При моделировании простых тел трудностей, как правило, не возникает. Некоторые проблемы могут возникнуть при редактировании тел сложной пространственной конфигурации с криволинейными образующими гранями. Например, процедура выполнения сопряжений или снятия фасок на гранях подобных тел в некоторых случаях становится невозможной.

Техника работы с инструментами **Fillet** (Сопряжение) и **Chamfer** (Фаска) была рассмотрена в одной из предыдущих глав (стандартный способ) и она остается неизменной для модификации любых граней, независимо от их конфигурации.



В тоже время существуют еще два способа формирования сопряжений или снятия фасок на криволинейных гранях:

предварительным  
выполнением  
вспомогательных разрезов  
(изменение объема тела);

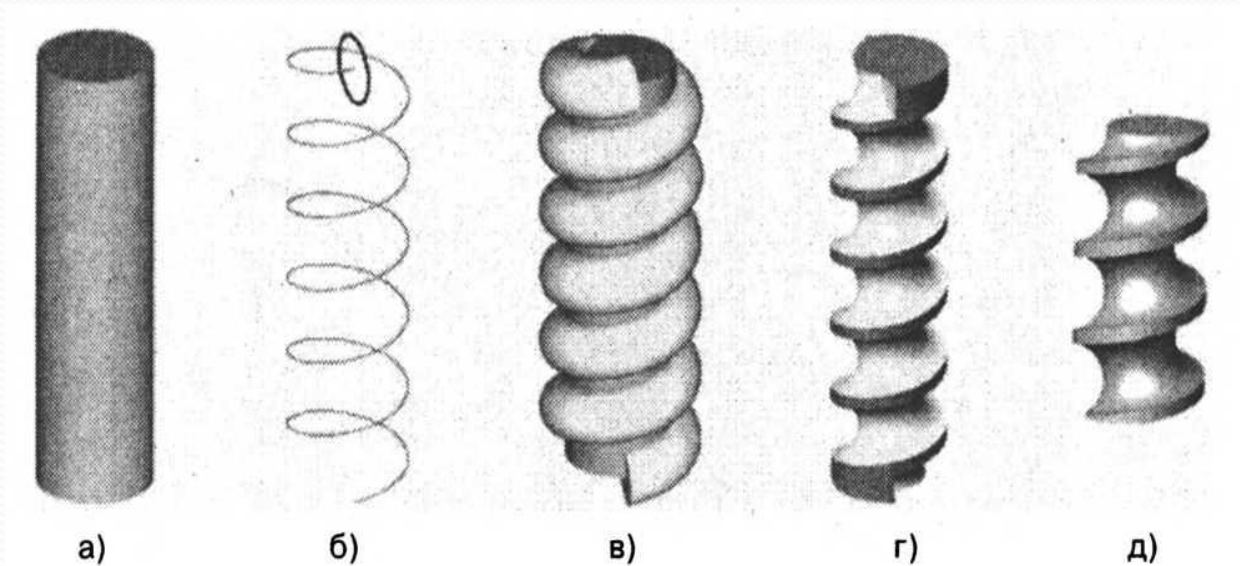
вычитанием  
промежуточного тела,  
грань (границы) которого  
имеют форму требуемого  
радиуса или фаски.

Как правило, грани скругляются некорректно, или вообще невозможно выполнять сопряжения на смежных гранях в местах изломов или изгибов 3D-тела. В этих местах (узловых точках) и необходимо проводить разрезы. Количество разрезов подбирается опытным путем с одним условием: плоскость разреза должна проходить в поперечном направлении к граням участвующих в процедуре сопряжения.



# Формирование тел вычитанием

Вычитание вспомогательного тела из тела исходного объекта является наиболее распространенным и эффективным способом формирования криволинейных граней твердых тел. В этом разделе настоящей главы будет более подробно, насколько это возможно рассмотрена область применения инструмента **Subtract** (Вычитание) и показано как с его помощью создаются тела сложной конфигурации.



Формирование тела вычитанием

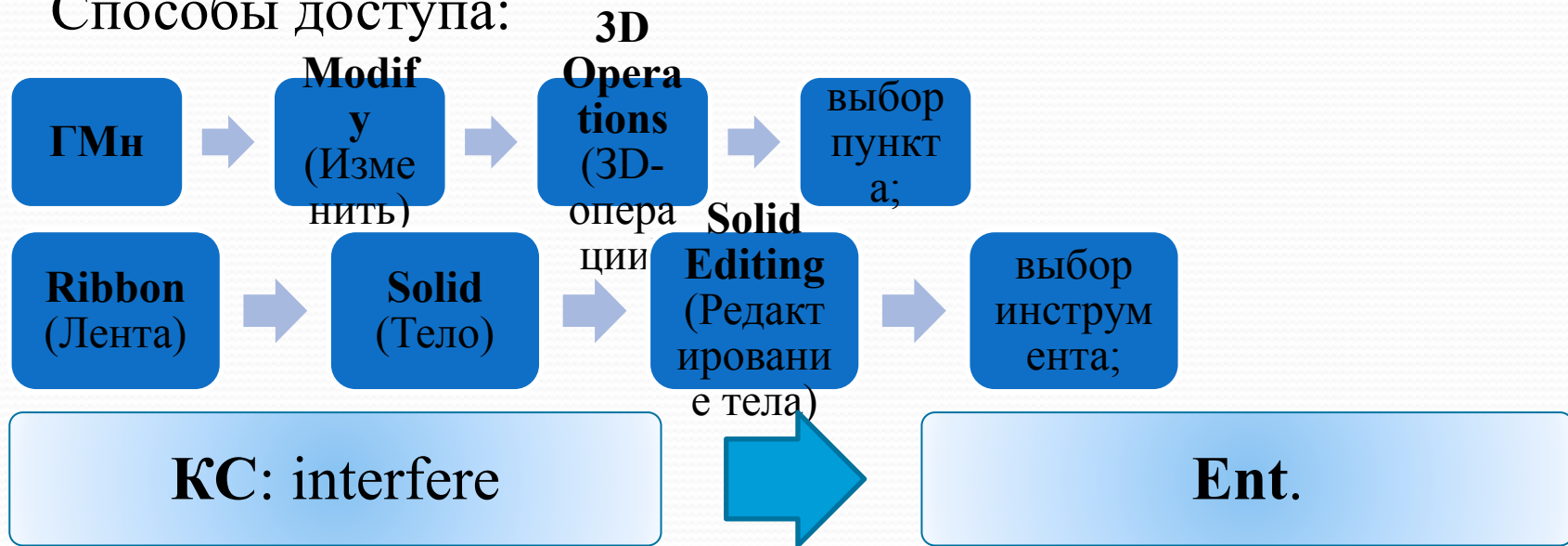


# Формирование тел взаимодействием и сдвигом



Инструмент **Interference Checking** (Проверка взаимодействий)

Способы доступа:



Работа с инструментом **Interference Checking** (Проверка взаимодействий) аналогична работе с известным вам инструментом **Intersect** (Пересечение), но конечный результат применения инструментов различный. Исходные объекты после выполнения процедуры взаимодействия, сохраняются, и это обстоятельство существенно расширяет сферу применения инструмента.



С помощью инструмента **Interference Checking** можно проводить следующие процедуры:

выполнять проверку зон взаимодействия тел (наборов тел) в составных моделях с плотной компоновкой объектов;

создавать тело взаимодействия для цели его использования в качестве промежуточного тела (с последующей доработкой);

создавать тело взаимодействия для формирования нового тела (модификации исходного) путем его вычитания из исходного тела и последующего разделения последнего.



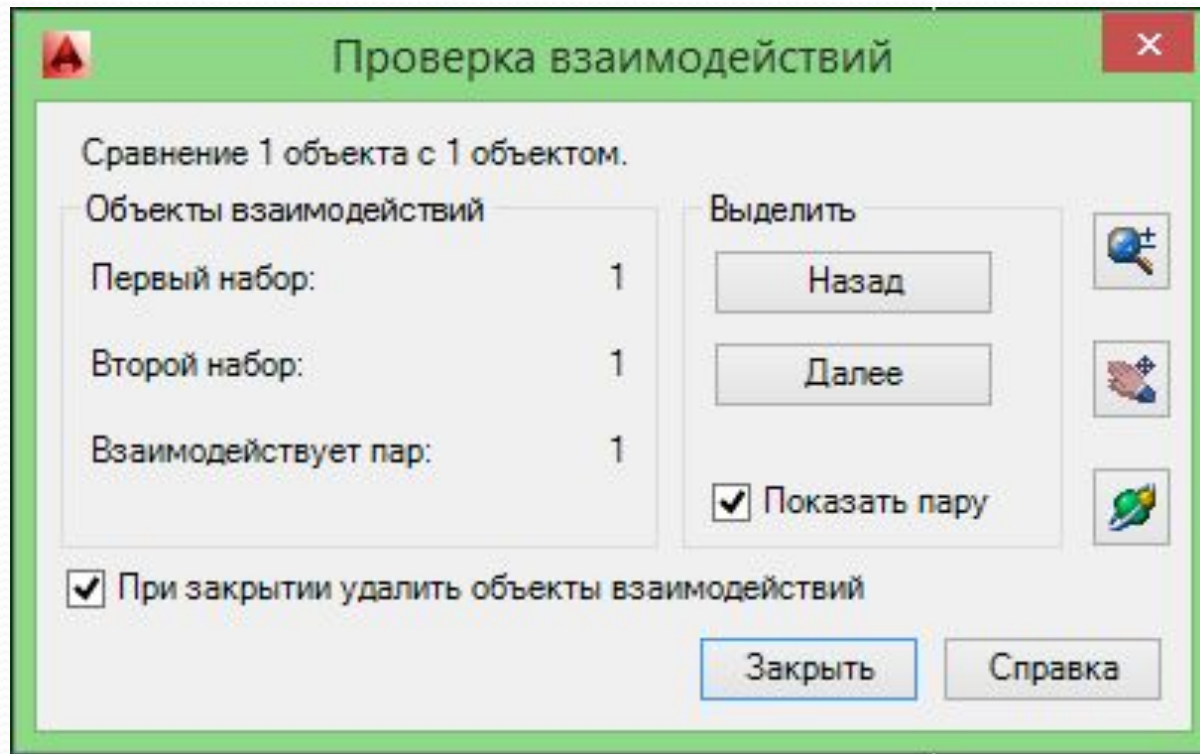
Для выполнения процедуры проверки взаимодействия тел необходимо одно простое условие - количество объектов (тел-участников процесса взаимодействия) должно быть как минимум два. Ниже приведен алгоритм проверки взаимодействий тел, по приглашениям [КС](#):

**Select first set of objects or [Nested selection/Settings]:** (Выберите первый набор объектов или [Набор вложенных /Параметры]): указать первый объект (набор) - **Ent**;

**or [Nested selection/check first set] <check>:** (Выберите второй набор объектов или [Набор вложенных/ Проверить первый набор]) <Проверить>: указать второй объект (набор) - **Ent**,

в раскрывшемся **Interference Checking** (Проверка взаимодействий), для сохранения результата взаимодействий снять флажок **Delete interference objects created on Close** (Удалить объекты взаимодействий после закрытия) и нажать кнопку **Close** (Заккрыть).





ДО Проверки взаимодействий





Кнопки **Previous** (Предыдущий) и **Next** (Следующий) в **ДО Interference Checking** служат для циклического перебора объектов взаимодействий.

Область применения и возможности использования инструмента проверки взаимодействий на сегодняшний день в AutoCAD несколько расширены. Например, процедуры взаимодействия доступны не только с наборами твердотельных объектов, но и с поверхностями, наборами тел и поверхностей, а также с преобразованными в тела объектами-сетями.



Существует возможность манипулирования системными переменными:

**INTERFERECOLOR** - начальное значение: 1, устанавливает цвета для объектов участников взаимодействий;

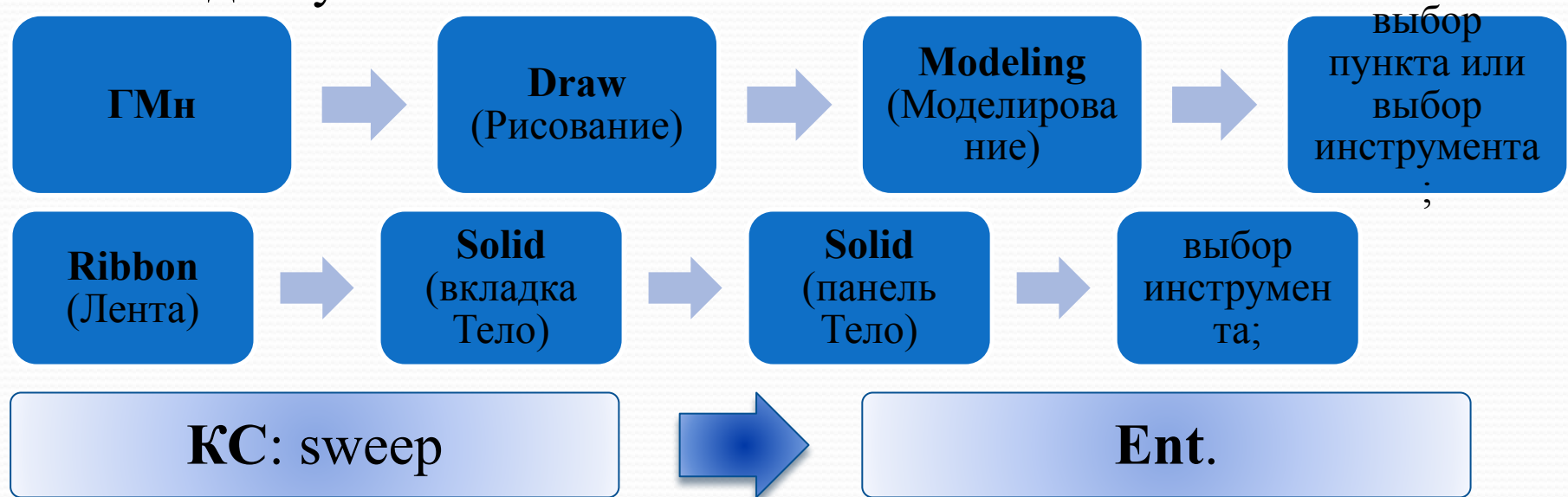
**INTERFEREOBJS** - начальное значение: **Realistic** (Реалистичный), устанавливает стиль отображения объектов взаимодействия;

**INTERFEREVPVS** - начальное значение: **3D Wireframe** (3D-каркас), задает стиль отображения видового экрана во время проверки пространственных взаимодействий.



## Инструмент **Sweep** (Сдвиг или проводка контура по маршруту)

Способы доступа:



С помощью инструмента **Sweep** (Сдвиг) выполняется проводка исходного контура по указанной траектории. В отличие от выдавливания сдвигаемый объект (объекты) можно скручивать или масштабировать в процессе сдвига. Кроме того, сдвиг допускается применять сразу для набора контуров при условии, что все они расположены в одной плоскости.



При выполнении процедуры сдвига контура вдоль траектории, контур перемещается и устанавливается перпендикулярно траектории автоматически.

Системная переменная **DELOBJ**, численное значение которой можно установить в пределах от минус 3 до 3, управляет сохранением или удалением исходных объектов.

После активизации инструмента **Sweep** (Сдвиг) последовательность выполнения процедуры сдвига контура по приглашениям **КС** выглядит следующим образом:



**Select objects to sweep or [Mode]:** (Выберите объект для сдвига [Режим]): указать сдвигаемый объект - ;

**Select sweep path or [Alignment/Base point/Scale/Twist]:**  
(Укажите траекторию сдвига или [Выравнивание/Базовая точка/Масштаб/Вращение]): указать траекторию сдвига или щелкнуть ..... и выбрать из ..... требуемую опцию;

после выбора опции указать траекторию.



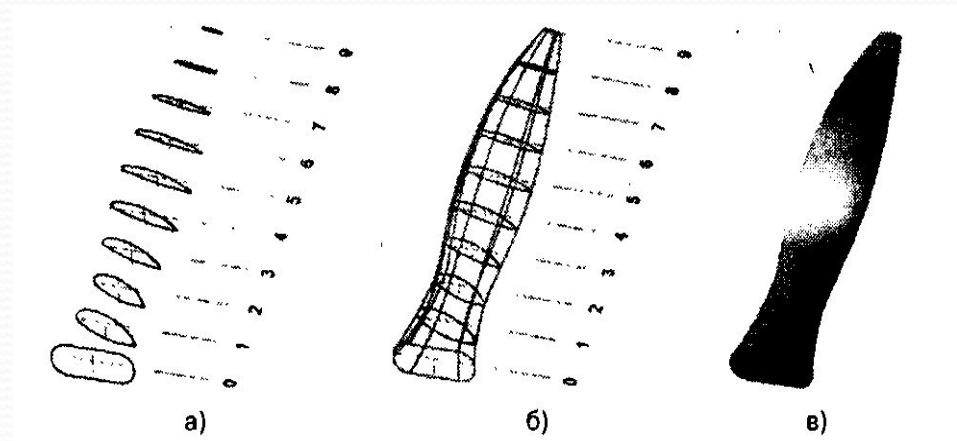
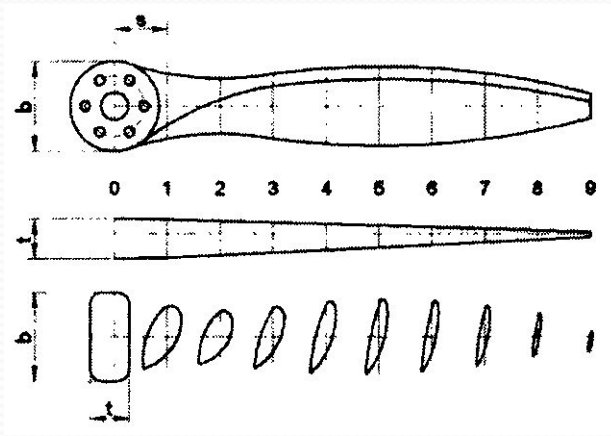
# Формирование тел лофтингом

Техника работы с инструментом **Loft** (По сечениям) была рассмотрена в Главе 7 на примерах формирования поверхностей. Для создания твердотельных объектов существует одно условие: тело может быть создано процедурой лофтинга в том случае, если каждый контур в наборе замкнут.

Лофтингом можно создавать тела сложной пространственной конфигурации довольно быстро, но все-таки наиболее трудоемкий этап формирования тел по сечениям - это выполнение предварительных построений и правильная расстановка контуров в наборе.



В зависимости от формы объекта расстановку контуров вполне возможно производить с привязкой к узловым точкам его продольного профиля или проводить процедуру лофтинга поэтапно с последующим объединением промежуточных тел.





В AutoCAD существует возможность преобразования некоторых типов поверхностей в твердые тела. Это могут быть поверхности созданные инструментами, например **Planar Surface** (Плоская поверхность), **Loft** (По сечениям) или **Sweep** (Сдвиг).

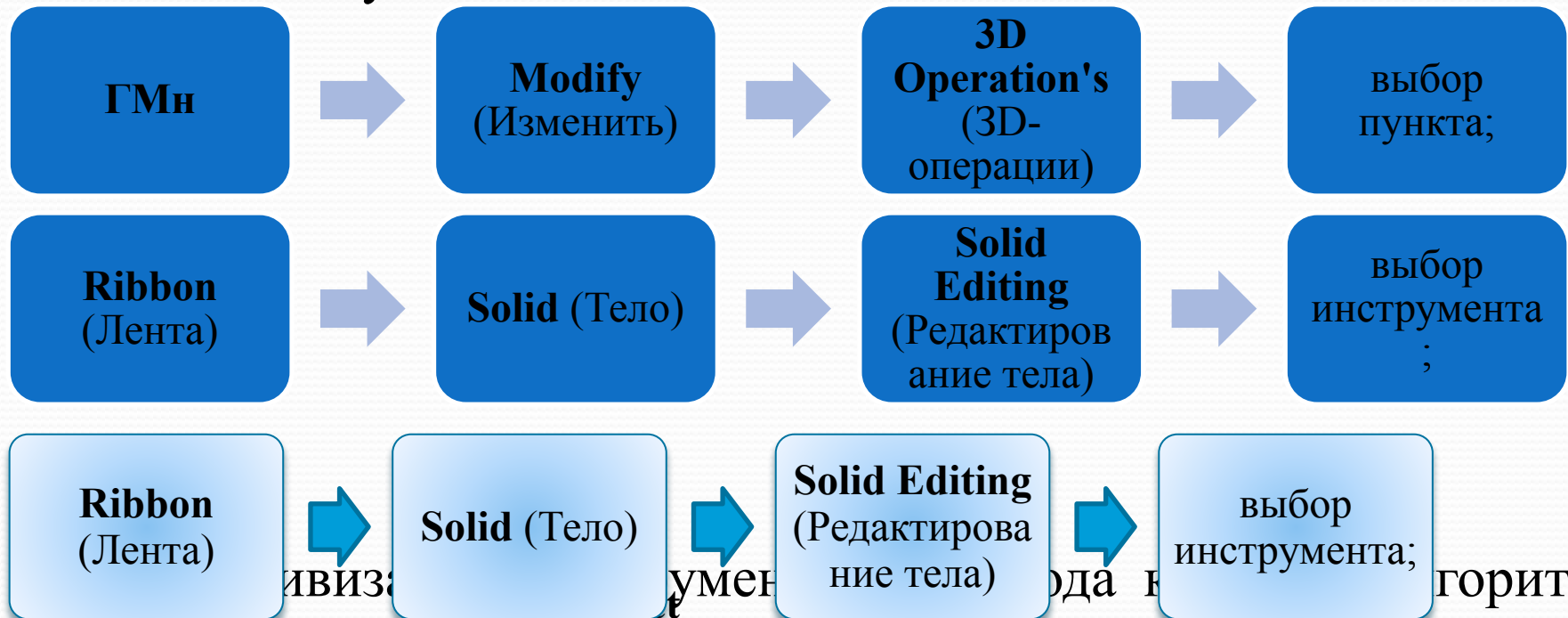
Необходимость применения такого рода преобразований должна быть продиктована какими-то особыми обстоятельствами, в противном случае подобная процедура теряет смысл. Во-первых, практически любое тело можно построить инструментами твердотельного моделирования, а во-вторых, для формирования тела предварительно нужен исходный объект, а именно поверхность. Но, тем не менее, ниже кратко рассмотрим и эту дополнительную возможность формирования 3D-объектов.





## Инструмент **Thicken** (Толщина)

Способы доступа:



ивиз:

умен

ода

горитм

преобразования поверхности в твердое тело по приглашениям [КС](#)  
 выглядит следующим образом:

(Выберите  
поверхности  
для  
придания  
толщины):  
укажите

Specify  
thickness  
<0.0000>:  
(Укажите  
толщину):  
введите в  
КС  
численное  
значение



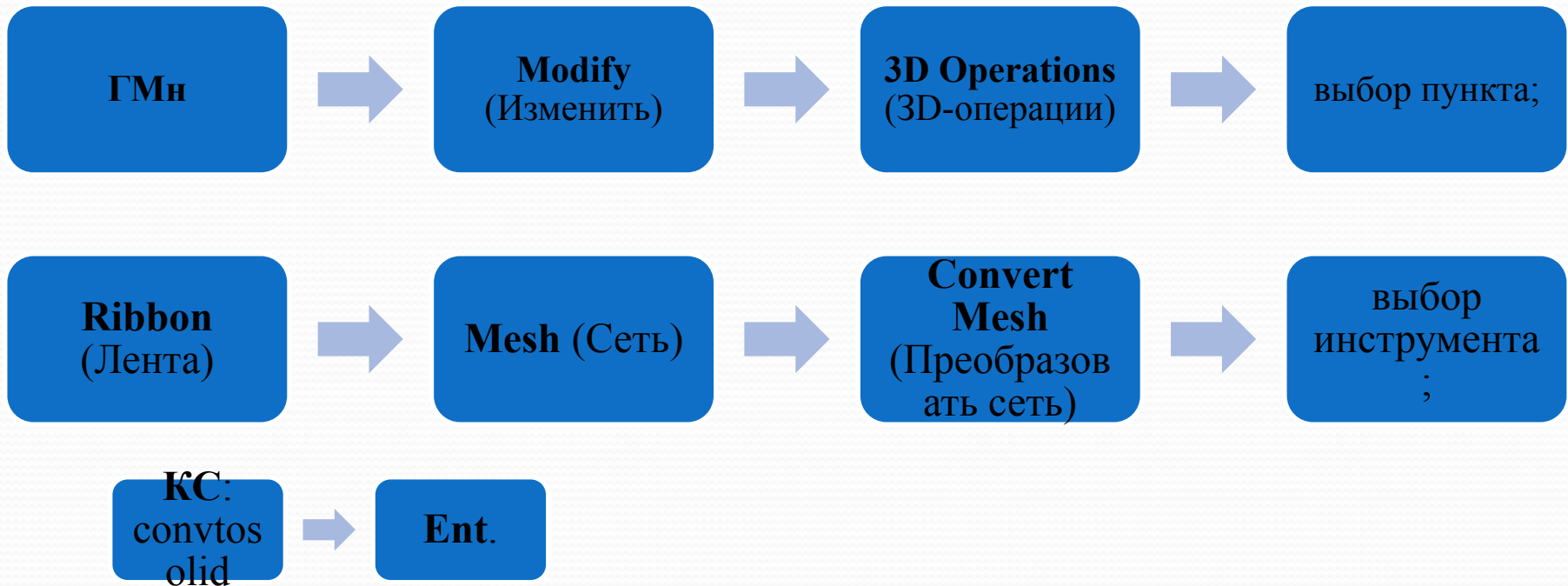
Системная переменная **DELOBJ** определяет автоматическое удаление выбранных поверхностей после создания 3D-тела.

Наряду с преобразованием поверхностей возможно преобразование сетей примитивов в твердотельные объекты. После преобразования объекта-сети в 3D-тело, форма вновь полученного объекта может несколько отличаться от формы исходного объекта и не являться его точной копией. Это обстоятельство необходимо учитывать при использовании способа для создания твердотельных моделей.



## Инструмент **Convert to Solid** (Преобразовать в тело)

Способы доступа:



Для преобразования объекта-сети в 3D-тело после активизации инструмента необходимо указать объект и щелкнуть [Ent.](#)



С помощью системной переменной **SMOOTHMESHCONVERT** можно управлять формой поверхностей граней при преобразовании объектов-сетей в 3D-тела. Поверхностям граней придается сглаженная или многогранная (фасетчатая) конечная форма. Возможны следующие варианты:

**многогранность без оптимизации** - каждая грань исходной сети преобразуется в плоскую грань, при этом ребра граней, не являющихся компланарными, то есть граней, не лежащих в одной плоскости, сгибаются или принимают форму угла (SMOOTHMESHCONVERT=3);

**сглаживание без оптимизации** - каждая грань исходной сети сохраняется в результате преобразования объекта, а ребра некомпланарных граней закругляются (SMOOTHMESHCONVERT=1);

**многогранность с оптимизацией** - компланарные грани сливаются в одну плоскую грань, вследствие чего форма некоторых граней может измениться. Ребра граней, не являющихся компланарными, сгибаются или принимают форму угла (SMOOTHMESHCONVERT=2);

**сглаживание с оптимизацией** - компланарные грани сливаются в одну грань, при этом форма некоторых граней может измениться. Ребра граней, не являющихся компланарными, закругляются (SMOOTHMESHCONVERT=0).



Иногда сеть, которую невозможно преобразовать в твердотельный объект можно попробовать сначала преобразовать в поверхность. Например, некоторые формы сетей, созданные с помощью инструмента **Edge Mesh** (Сеть по кромкам) поддаются преобразованию в гладкие поверхности, и это обстоятельство позволяет трансформировать их в твердотельные объекты путем придания толщины.



# Краткие рекомендации по моделированию

На начальном этапе освоения трехмерного пространства AutoCAD, как впрочем, и любом другом начинании, у пользователя могут возникнуть некоторые трудности при построении моделей. В подавляющем большинстве случаев все проблемы преодолимы. Как правило, они появляются из-за отсутствия опыта, который нарабатывается практикой. Но, даже не имея большой практики, некоторых ошибок или неверных действий можно избежать, если выполнять построения более тщательно и контролировать их применением инструмента **Free Orbit** (Свободная орбита).

Проблема	Возможные причины	Способ устранения
1. Не удастся выдавить контур для создания 3D-тела	Контур разомкнут, его примитивы пересекаются или лежат в разных плоскостях. В состав контура входит сплайн. Применяется инструмент <b>Extrude Faces</b> (Выдавить грани)	Для преобразования контура использовать инструмент <b>Bondary</b> (Контур). Заменить сплайновую кривую комбинацией дуг или отрезков. Применить инструмент формирования тел <b>Extrude</b> (Выдавить)
2. Сопряжения угловых граней получаются некорректными	Численное значение радиуса сопряжения больше размера сопрягаемых граней	Изменить численное значение радиуса сопряжения. Для сопряжения граней применить способ вычитания вспомогательного тела
3. Не выполняется процедура сопряжения граней	Грани образованы ребрами сложной пространственной конфигурации	Предварительно разрезать объект в поперечном направлении несопрягаемых граней. Для сопряжения граней применить способ вычитания вспомогательного тела
4. Невозможно провести процедуру разреза	Неверно выбрана режущая плоскость. Объект является некорректным телом технологии <b>Shape Manager</b> .	Обновить систему координат и повторить процедуру. Заново сформировать объект
5. При повороте объект поворачивается в нежелательном направлении	Неверно выбрана ось поворота или указано неверное направление	Повторить попытку поворота объекта. Попробовать ввести отрицательное численное значение угла поворота

Проблема	Возможные причины	Способ устранения
7. Растровая картинка не появилась при открытии векторного файла	Не найден путь растровой картинки к векторному файлу	Создать отдельную папку для векторного рисунка и картинки и повторить процедуру вставки. Временно скопировать картинку в текстовый редактор, например <b>Word</b> , а затем из текстового редактора в векторный файл программы AutoCAD. Оригинальная картинка и новая папка в таком случае больше не понадобятся
8. Объекты кругового массива разлетаются по пространству	Результат неудачного применения инструмента плоского рисования <b>Array</b> (Массив)	Обновить систему координат, перенести UCS (ПСК) в любую точку на оси массива и установить для кругового массива координаты центра по осям X и Y (0 и 0) соответственно
9. Тела не объединяются	Возможно, один из объектов представляет собой некорректное тело <b>ShapeManager</b>	Скорее всего, придется некорректный объект создать повторно, изменив способ его формирования
10. Рядом с объектом (или на самом объекте) появился посторонний объект (виртуальный след)	Довольно редкий эффект - следствие проведения процедуры объединения или вычитания сложных тел	Если получится, можно попытаться внести временные изменения в объем тела (разрез) или изменить форму объектов в зоне их объединения





# Список сокращений:

- ГМн - строка падающих меню, главное меню;
- КМн - курсорное (контекстное) меню, вызывается щелчком по правой кнопке мыши в рабочем поле инструмента;
- ПИ - панель инструментов;
- ДО - диалоговое окно;
- КС: - сообщение или приглашение командной строки;
- ЛКн - левая кнопка мыши;
- ПКн - правая кнопка мыши;
- Ent , 2Ent , 3Ent - одиночный, двойной, тройной соответственно щелчки по клавише ENTER;
- Esc - выход из действия команды или ее отмена, выполняемый щелчком по клавише ESCAPE.



# Выводы по содержанию лекции

**В лекции № 12 рассмотрены следующие вопросы:**

- ✓ Определение сложного твердотельного объекта.
- ✓ Инструменты моделирования.
- ✓ Способы формирования 3D-тел
- ✓ Способы формирования сопряжений или снятия фасок на криволинейных гранях
- ✓ Способы формирования тел. Инструменты.
- ✓ Преобразования поверхностей в твердые тела.
- ✓ Краткие рекомендации по моделированию.