

САПР ТО

Псковский политехнический институт

**Проектирование моделей с функциональными связями
между размерами**

Учебное пособие

Псков 2004 г.

САПР ТО

Аннотация

Содержание

Аннотация _____	2
Содержание _____	3
Введение _____	4
Основные сведения о принципах работы САПР _____	5
Функциональные связи между размерами _____	15
Проектирование деталей с уравнениями на значения размеров _____	32
Заключение _____	47
Литература _____	48
Список иллюстраций _____	48
Список таблиц _____	48
Сведения о торговых марках _____	49

Введение

При проектировании изделий машиностроения зачастую определенные размеры являются связанными с другими размерами. Например, размеры болтового соединения в значительной мере определяются диаметром резьбы, быстросменной кондукторной втулки – диаметром сверления, в сборках для обеспечения собираемости, посадочные размеры сопрягаемых деталей должны соответствовать друг другу и т.д. Особенно часто необходимость в учете указанных взаимосвязей возникает при проектировании технологической оснастки.

При традиционном проектировании конструктор вынужден, при изменении базового размера самостоятельно вносить изменения в зависимые размеры. Современные САПР, позволяют задавать функциональные зависимости между размерами в виде набора уравнений, что повышает качество проектирования и повышает производительность труда конструктора.

В настоящей работе под САПР (системой автоматизированного проектирования) понимается, прежде всего, CAD – Computer Aided Design – то есть система компьютерного проектирования и дизайна. В настоящее время в машиностроении применяются системы трехмерного твердотельного моделирования, такие как Solid Works (производитель – Dassault Systems) и Inventor (AutoDesk). Реализованные в этих системах принципы работы имеют аналоги и в САПР других фирм, в том числе и российских (Компас 3D – Аскон).

Основные сведения о принципах работы САПР

В рассматриваемых САПР реализовано трехмерное, твердотельное, параметрическое, ассоциативное моделирование. Это означает, что:

Разрабатываемые модели являются **трехмерными**, то есть создаются в трехмерном пространстве;

Модели, в основном, являются **твердыми** телами, то есть заполненными материалом объемами, в отличие от каркасных моделей (состоящих только из кромок) и поверхностных моделей;

Конкретные размеры модели являются **переменными параметрами** и могут быть изменены, причем изменение параметра влечет корректную перестройку геометрии модели;

Размеры **ассоциированы** (связаны) с геометрическими элементами.

Типы файлов

Основными типами файлов являются: модели, сборки и чертежи.

Модели содержат информацию о геометрии отдельных деталей, последовательности их проектирования и прочую информацию, связанную, как уже отмечалось с конкретной деталью.

Сборки содержат ссылки на компоненты сборки, и сборочные взаимосвязи между ними. Компонентами сборки могут быть как модели, так и другие сборки. Сборочные взаимосвязи задают расположение компонентов в сборке (в пространстве и по отношению друг к другу). Можно считать, что в сборке нет собственно информации о геометрии, а есть только ссылки на геометрию, существующую в уже созданных файлах. Таким образом, основой для сборок, в конечном итоге, являются файлы моделей.

Чертежи содержат проекции внешней геометрии моделей и/или сборок (включая размеры моделей), образующие виды и информацию по оформлению чертежа, такую как рамки форматов, технические требования, таблицы, шероховатости, и т.д. Также как и сборки, чертежи не содержат собственной геометрии, а лишь считывают необходимые данные из внешних файлов (моделей и сборок). Следовательно, и для чертежей базовой информацией является модель.

Далее будет рассматриваться, прежде всего, работа с моделями.

Среда разработки

Наиболее популярные на рынке САПР имеют, несмотря на визуальное разнообразие, аналогично организованную среду разработки. Ее основными элементами являются:

- меню (1);
- инструментальные панели с кнопками "быстрого доступа" к часто используемым командам САПР (2);
- браузер (дерево конструирования) (3);
- область черчения (видовой экран) (4);
- строка статуса (5).

Примеры сред разработки приведены далее на рисунках (см. Рис. 1 и Рис. 2):

САПР ТО

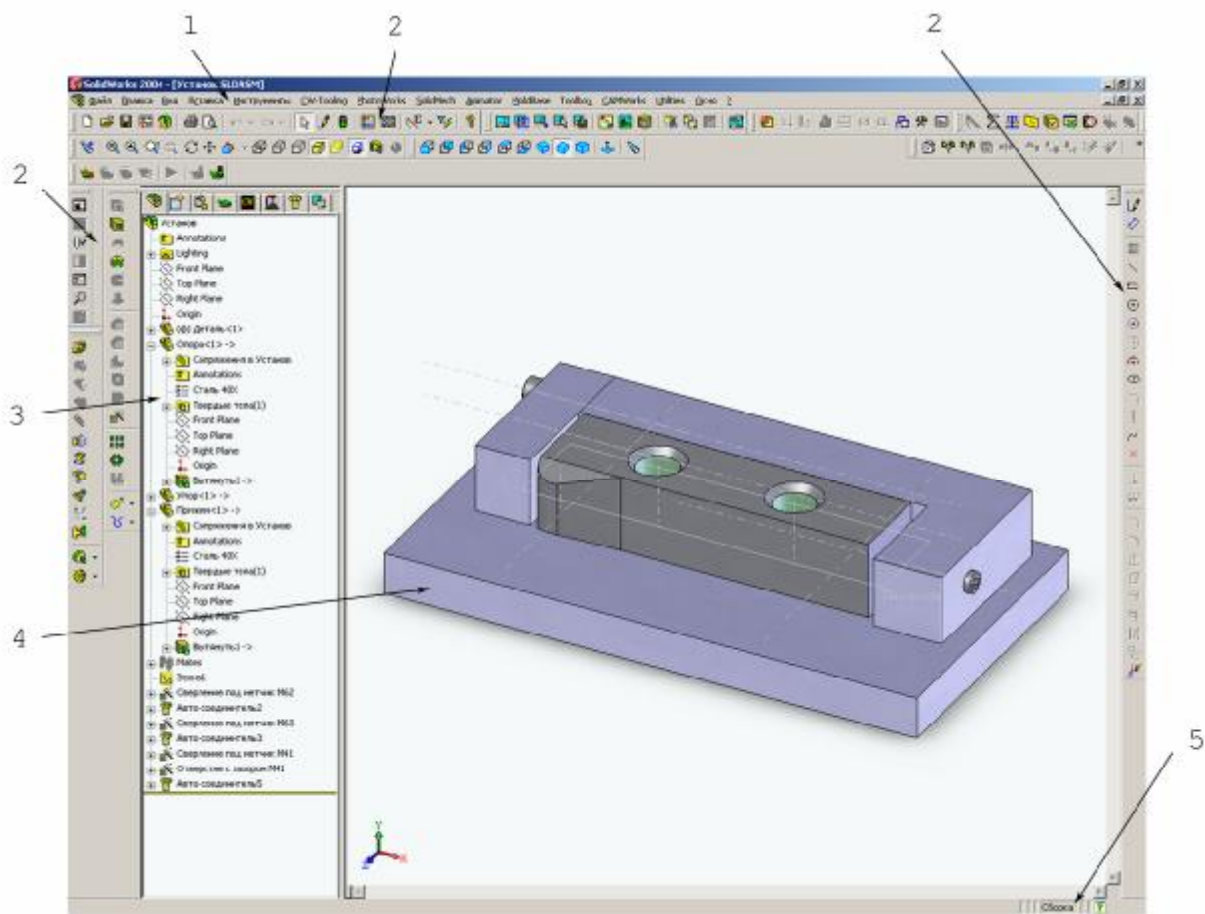


Рис. 1

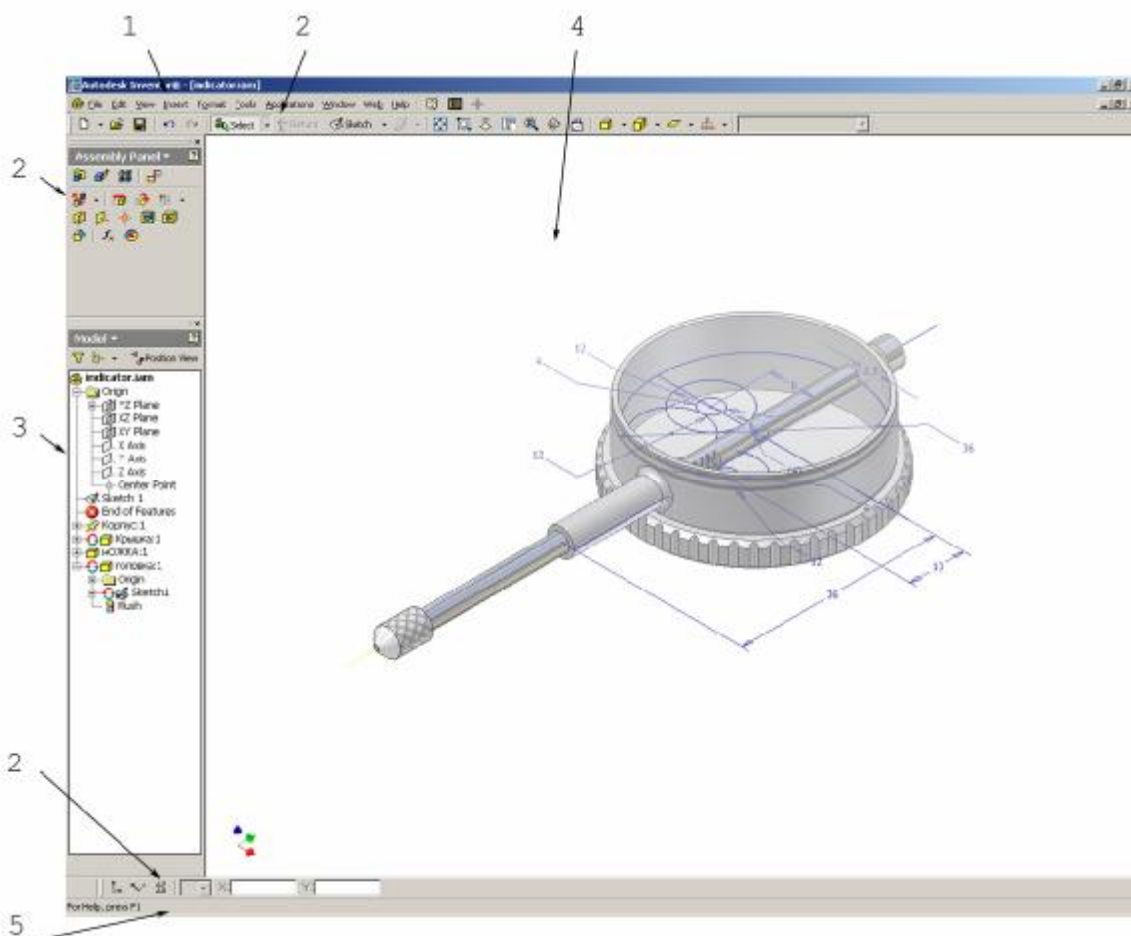


Рис. 2

Среда разработки является настраиваемой. Как минимум можно изменять расположение панелей с кнопками, а также собственно набор доступных команд-кнопок. Существует возможность настройки меню программы и организации нескольких видовых экранов различной конфигурации. Строка статуса, как правило, весьма информативна и содержит полезную информацию о выполнении текущей команды.

Браузер является основным средством доступа к структурированной информации о модели, сборке или чертеже. Браузер может иметь несколько вкладок или содержать несколько панелей. Для доступа к элементу через браузер надо выбрать его **иконку** мышью. Обычно выбор **названия** элемента позволяет изменить его **имя**, а не работать с ним.

Порядок моделирования

Проектирование модели в САПР можно свести к следующим повторяющимся этапам:

Создание вспомогательной геометрии (плоскости, оси, точки). Даже пустой файл модели уже содержит три характерные плоскости (горизонталь, фронталь и вертикаль) и образованную их пересечением точку – исходную точку начала координат.

Выбор плоскости позволяет перейти к следующему этапу – разработке эскиза (плоского эскиза – Sketch).

Разработанный эскиз является основой для создания объемной геометрии одним из известных способов, к числу которых относятся: вытягивание (сдвиг)

эскиза по вектору, нормальному к плоскости эскиза, поворот вокруг оси, сдвиг по траектории (которой может являться произвольная кривая), сшивка твердотельного элемента по его сечениям.

Отдельные элементы объема комбинируются между собой логическими операциями объединения (сложения объемов элементов), удаления (вычитания объема второго тела из первого, что приводит к исчезновению объема) и пересечения (результатирующий элемент есть общий для обоих участвующих в операции объем).

Таким образом, можно сказать, что если в основе файлов САПР лежит файл модели (отдельной детали), то в основе модели лежат эскизы, преобразованные в объемные элементы, скомбинированные между собой.

Геометрические элементы эскиза

Эскиз образуют геометрические примитивы, такие как: точка, отрезок прямой (между двумя точками), окружность с центром в точке, дуга (по трем точкам, по центру, радиусу и точкам начала и конца, по касательной), а также гладкие кривые – сплайны. Кроме основных, присутствуют и более сложные элементы: прямоугольник, многоугольник... (см. Рис. 3)

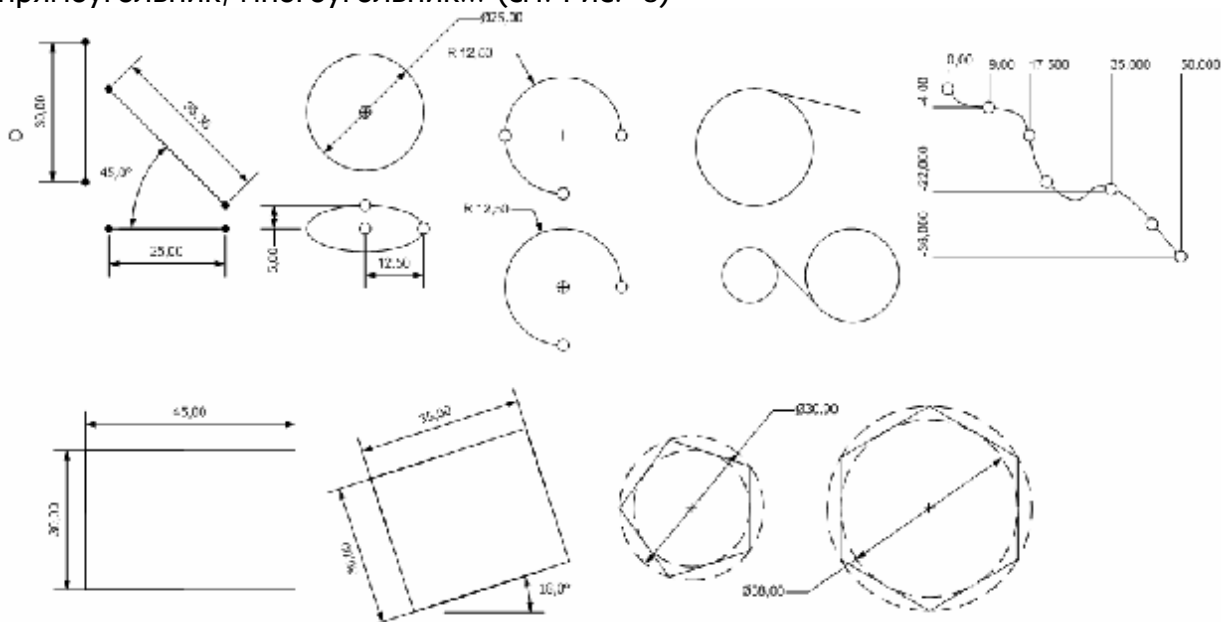


Рис. 3

Эскиз, пригодный для дальнейшей работы должен отвечать определенным требованиям, в частности: геометрические элементы должны образовать петлю без самопересечений. Эскиз может содержать также внутренние замкнутые контуры, которые интерпретируются средой как полости при построении объемных элементов.

Созданные геометрические элементы должны быть определены, то есть должно быть задано их положение в декартовой системе координат, связанной с эскизом и системой координат модели в целом. Определение положения элемента достигается путем добавления геометрических взаимосвязей и размерных взаимосвязей.

Элемент может быть либо не определен вообще, определен частично, либо полностью. Статус элементов эскиза виден по цвету примитива. В Solid Works, например, по умолчанию, недоопределенные части эскиза отрисовываются синим цветом, а определенные – черным.

Геометрические взаимосвязи элементов эскиза

Геометрические взаимосвязи элементов эскиза определяют его форму. Они задают либо положение геометрических примитивов относительно системы координат, либо взаимное положение элементов, либо эквивалентность размеров элементов.

Относительно существующей системы координат (декартова правая система, точкой пересечения осей является исходная точка) можно задать:

- фиксированное положение элемента в его текущем состоянии (не рекомендуется);
- горизонтальность - расположение вдоль линии, параллельной оси OX;
- вертикальность - расположение элемента или элементов вдоль линии, параллельной оси OY;

Способы задания взаимного расположения зависят от вида геометрических примитивов, к которым они применяются:

Таблица 1

	точка	прямая	окружность/дуга
точка	совпадение	расположение точки на прямой совпадение точки и средней точки прямой	расположение точки на окружности совпадение точки и центра совпадение точки и конечной точки дуги
прямая	расположение точки на прямой совпадение точки и средней точки прямой	параллельность коллинеарность (расположение отрезков вдоль одного вектора) перпендикулярность	касание
окружность/дуга	расположение точки на окружности совпадение точки и центра совпадение точки и конечной точки дуги	касание	касание концентричность корадальность

Можно также задать симметричность двух примитивов одного вида относительно линии – оси симметрии, причем симметричность в Solid Works относится только к положению и не означает равенства размеров.

Взаимосвязи, которые относятся к размерным свойствам, позволяют задать эквивалентность размеров (равенство длин или радиусов), частично перекрывают возможности, которые предоставляются размерными взаимосвязями. Хотя однозначные рекомендации по этому вопросу отсутствуют, расчет взаимосвязей эскиза имеет приоритет перед расчетом размеров и уравнений, поэтому желательно использовать именно взаимосвязи равенства.

Добавление взаимосвязей происходит в полуавтоматическом режиме. САПР стремится "предугадать" желания проектировщика. Линии, близкие к горизонтали или вертикали будут выровнены системой, точка, нарисованная рядом с линией будет сделана совпадающей с ней и т.д. Существуют инструменты просмотра,

редактирования и удаления взаимосвязей, конкретная реализация которых зависит от марки и версии САПР.

Добавление взаимосвязей приводит к изменению положения элемента в пределах, допускаемых уже существующими зависимостями. Созданный эскиз перестраивается в соответствии с новой конфигурацией геометрических и размерных взаимосвязей. Перестройка происходит в соответствии с принципом "минимального действия", то есть так, чтобы выполненные средой моделирования действия изменяли текущую конфигурацию эскиза в наименьшей степени.

Возможны ситуации, когда вновь добавленные взаимосвязи являются избыточными, или делают невозможной существование геометрии эскиза. САПР диагностирует такие эскизы как ошибочные или переопределенные. Зачастую проще всего выполнить откат – отмену последнего действия, чем искать причину ошибки.

Рассмотрим в качестве примера прямоугольник с центром в начале координат. С точки зрения наложенных на него размерных взаимосвязей, он представляет собой достаточно сложную структуру:

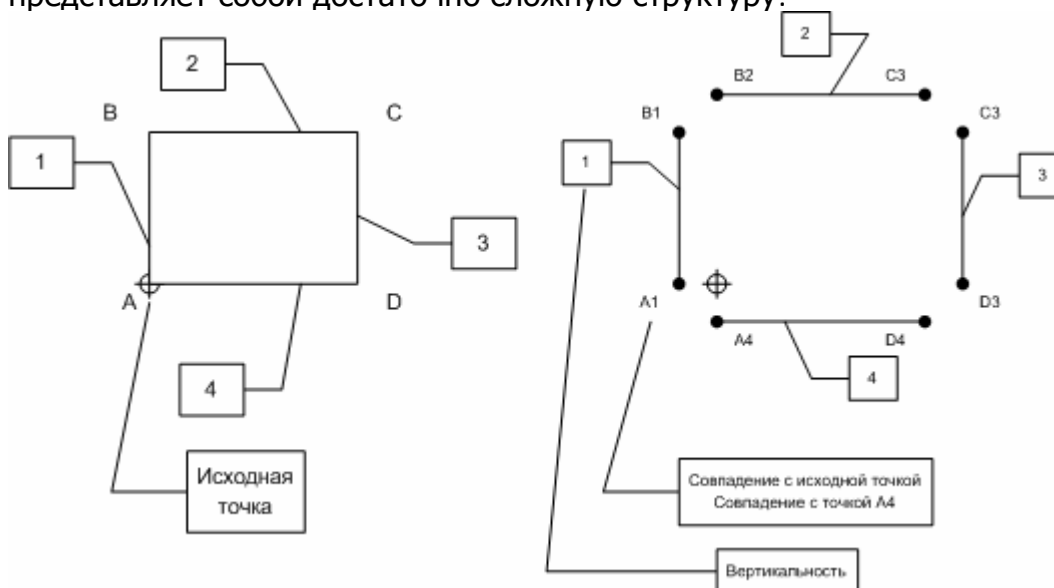


Рис. 4

Стороны прямоугольника – являются горизонтальными и вертикальными линиями, конечные точки смежных сторон прямоугольника имеют взаимосвязь "совпадение", левый нижний угол прямоугольника совпадает с исходной точкой эскиза.

Управляющие размеры

Из одной и той же формы эскиза, которая определяется геометрией и геометрическими взаимосвязями, можно получить различные по размеру профили (см. Рис. 5). Для полного определения положения элементов в эскизе необходимо задать размерные взаимосвязи. Так же как и геометрические взаимосвязи, размерные взаимосвязи управляют положением элементов в эскизе, поэтому часто употребляется термин "управляющие размеры". Можно сказать, что большинство современных САПР, основываются на эскизах, управляемых размерами.

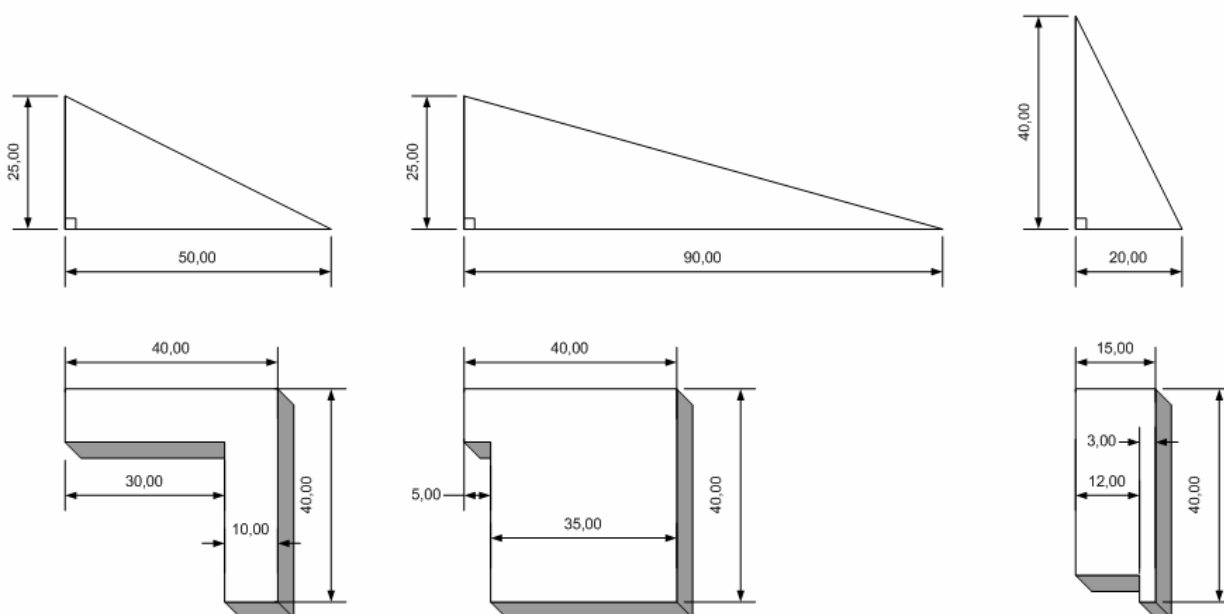


Рис. 5

Процесс простановки размеров носит интеллектуальный характер. Это означает, что САПР распознает элементы, которые она образмеривает и автоматически настраивает вид размера по контексту текущей ситуации.

Доступны следующие виды размеров:

- линейный (горизонтальный, вертикальный, выровненный по образмериваемому элементу);
- радиальный (для дуг);
- диаметальный (для окружностей);
- угловой.

При выборе геометрического элемента создается его характерный размер (длина – для прямых, радиус или диаметр – для дуг или окружностей), при выборе двух – размер, характеризующий взаимное расположение элементов (расстояние, гол и т.д.). Если в паре элементов присутствует окружность или дуга, то размер ставится до ее центра.

Необходимо отметить, что размеры, как объекты среды проектирования, имеют две стороны и, соответственно, две большие группы свойств:

- свойства, связанные с числовым значением размера;
- свойства, необходимые для отображения размера.

Свойства отображения включают такие параметры, как шрифт надписи, вид стрелок, размеры стрелок, наличие выносных линий, дополнительных подписей, посадок... Подробное описание этой группы свойств и методов их настройки приведено в документации на соответствующую САПР.

Для рассматриваемых в настоящей работе вопросов большее значение имеет группа свойств, которая определяет номинал размера. Она включает:

- единицы измерения размера (миллиметры, метры, дюймы, радианы, градусы...);
- номинальное значение размера;
- имя размера.

Номинал размера берется измерением геометрии, и для управляющего размера может быть изменен. Изменение номинала ведет к пересчету положения геометрических элементов в эскизе, а, возможно, в модели и сборках на базе текущей модели.

Часто встречается **следующая ошибка**: пользователь создает модель, но вместо управляющих размеров в эскизах, проставляет размеры на модели непосредственно. Созданные таким образом размеры являются **справочными (управляемыми)**. Их номинальное значение рассчитывается по текущему состоянию геометрии модели, но номинал справочного размера не может быть изменен, поскольку является расчетной величиной.

Имя размера позволяет обратиться к нему, как к переменной величине. Каждый размер имеет имя. Наименование размера может быть изменено пользователем. Рекомендуется давать имена размерам по единой схеме. рекомендуется давать имена либо только символами русского алфавита, либо только английского. желательно давать размерам "понятные" имена, из которых следует указание на назначение размера.

Общее правило именования размеров таково:

Сначала задается имя размера в пределах эскиза. в котором он создан (как правило САПР создает размеры с именами d0, d1, d2... в порядке создания размеров пользователем). Имя должно быть **уникальным** в пределах эскиза;

Далее, через разделитель (символ @ или /) следует адрес размера в модели или сборке, например: **Размер1@Эскиз1** или **Размер1@Эскиз1/Деталь1**. Схема именования размеров несколько различается в конкретных САПР, однако общее правило везде идентично.

Далее приведены примеры окон для изменения номинала размера в Solid Works (1) и Inventor(2):

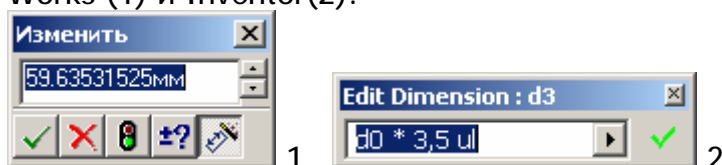


Рис. 6

На следующем рисунке показаны диалоговые окна для настройки свойств размера в указанных САПР:

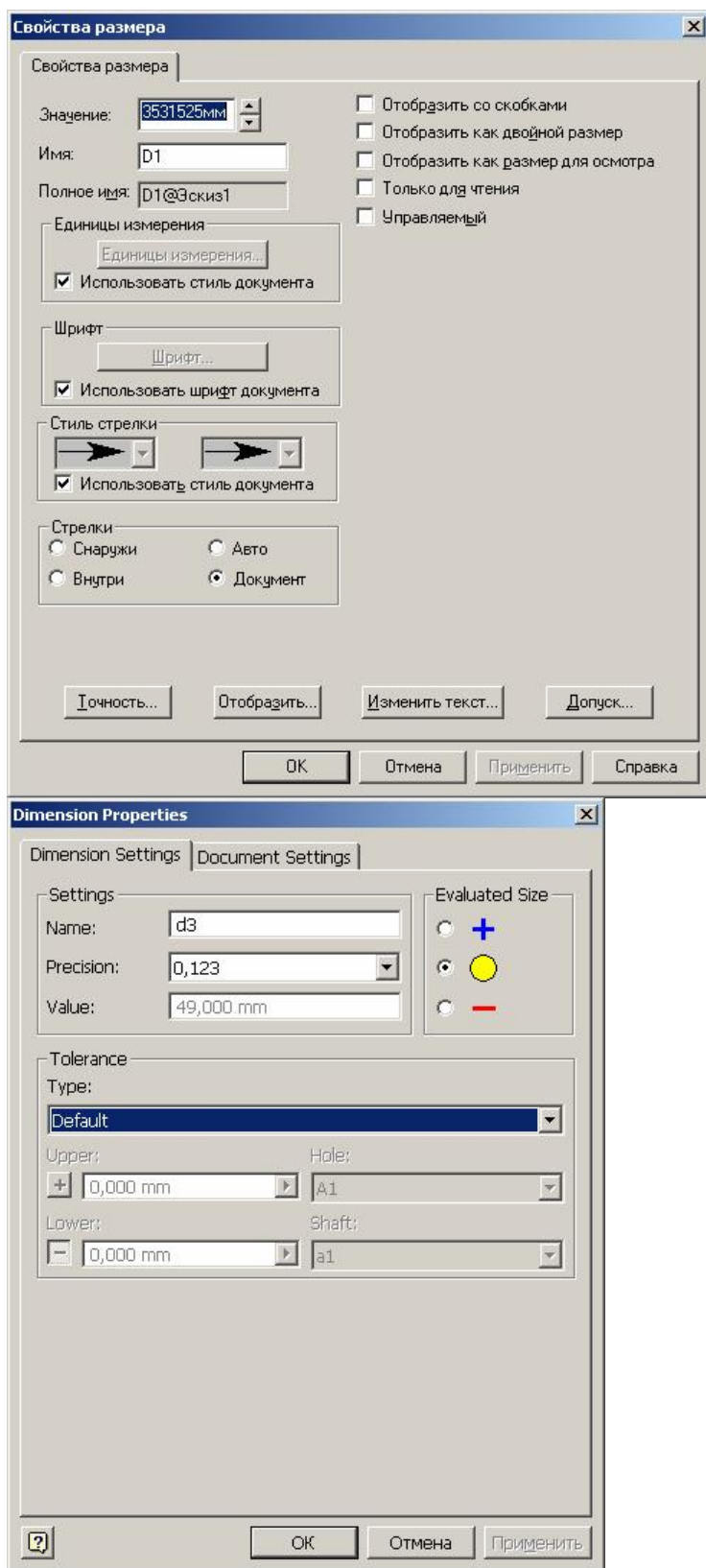


Рис. 7

Для доступа к управляющим размерам необходимо выполнить одно из действий:

- **отредактировать эскиз** и изменить размер в процессе редактирования эскиза;

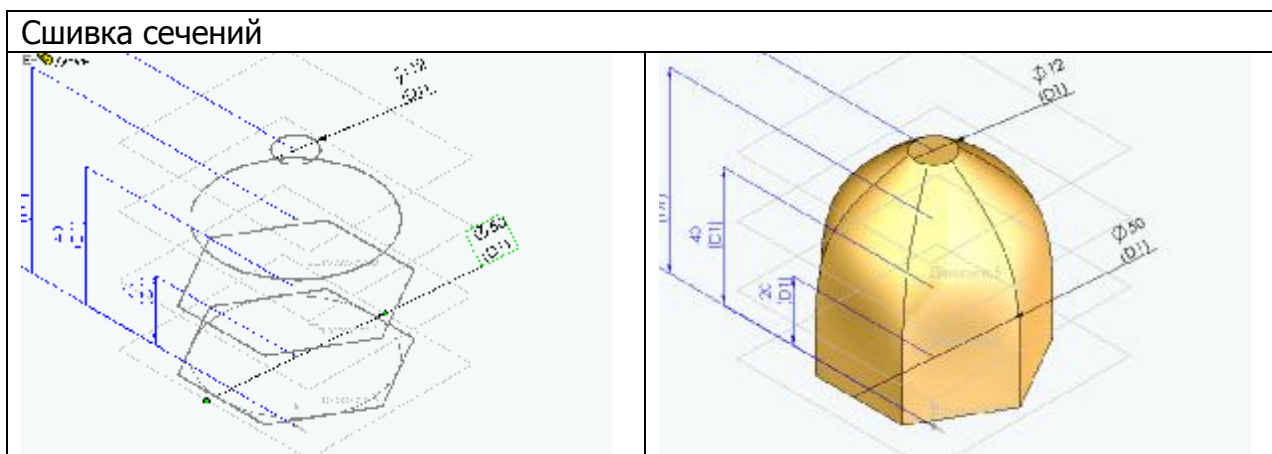


Рис. 8

Созданный объем комбинируется с уже существующей геометрией модели, путем одной из логических операций:

- объединение;
- удаление (исключение, вычитание);
- пересечение.

Для темы, рассматриваемой в настоящей работе важно, что объемное преобразование задается параметром-размером, который имеет свое имя и может зависеть от уже существующих размеров, или влиять на другие размеры.

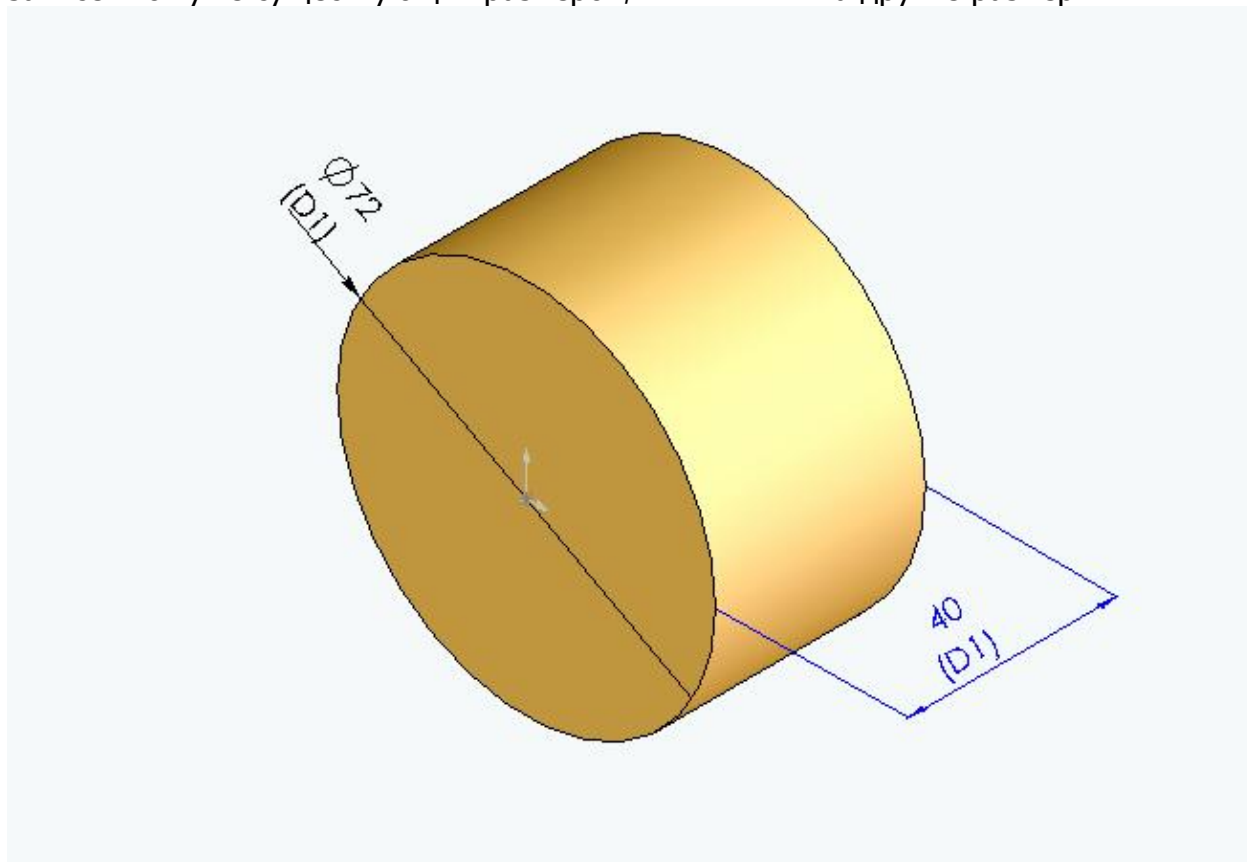


Рис. 9

Функциональные связи между размерами

В настоящей работе под понятием "функциональная связь" понимается зависимость одного размерного параметра от другого или нескольких. Можно выделить следующие применяемые в настоящее время способы:

- Связывание значений размеров;
- Функции-уравнения для расчета значений размеров.

В зависимости от конкретной САПР возможны и другие способы, например использование справочных графиков для выбора значения размера с диаграммы (Pro Engineer), однако в основном они могут быть сведены к наложению уравнений связи на размерные параметры.

Связывание размеров

В простейшей форме функциональная зависимость – это просто равенство. В Solid Works для задания равенства между размерами помимо наложения геометрической взаимосвязи – эквивалентности (см. выше) и задания уравнения вида $y=x$ (см. далее), можно использовать более простой и эффективный способ – связывание значений.

В случае связывания номинальные значения размерных параметров (нескольких или в частном случае – одного) равны значению одного параметра, который обладает собственным именем.

В отличие от уравнений, все связанные размеры равноправны. Это означает, что изменение любого из связанных размеров автоматически изменит все связанные размеры. Схематически ситуацию, со связыванием значений можно представить так:

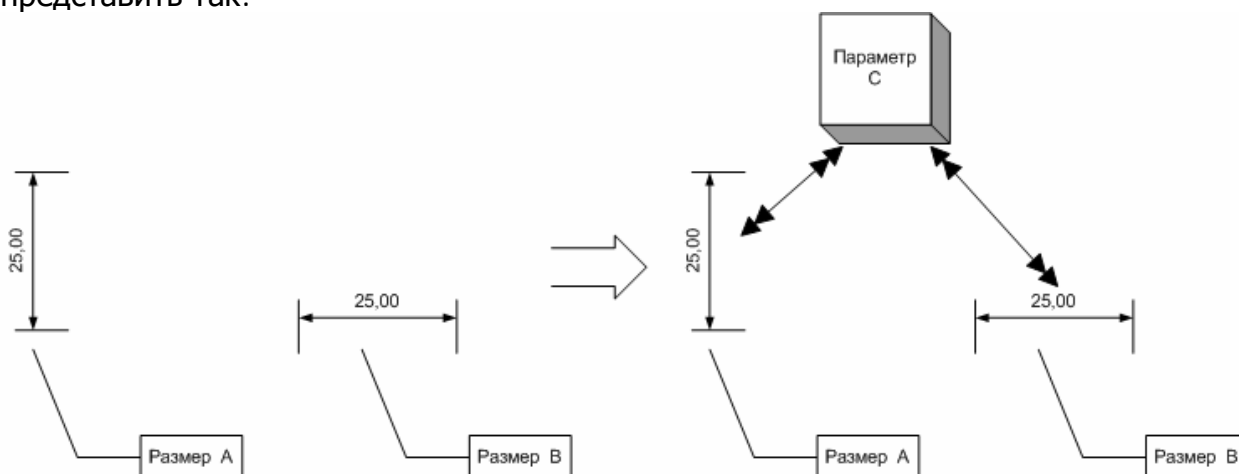


Рис. 10

Ввиду простоты и эффективности этого приема рекомендуется использовать именно этот вариант для задания равенства между размерами.

Для создания первого из связанных размеров необходимо выбрать размер и команду "связать значения" (см. Рис. 11, на котором выбран размер "32"):

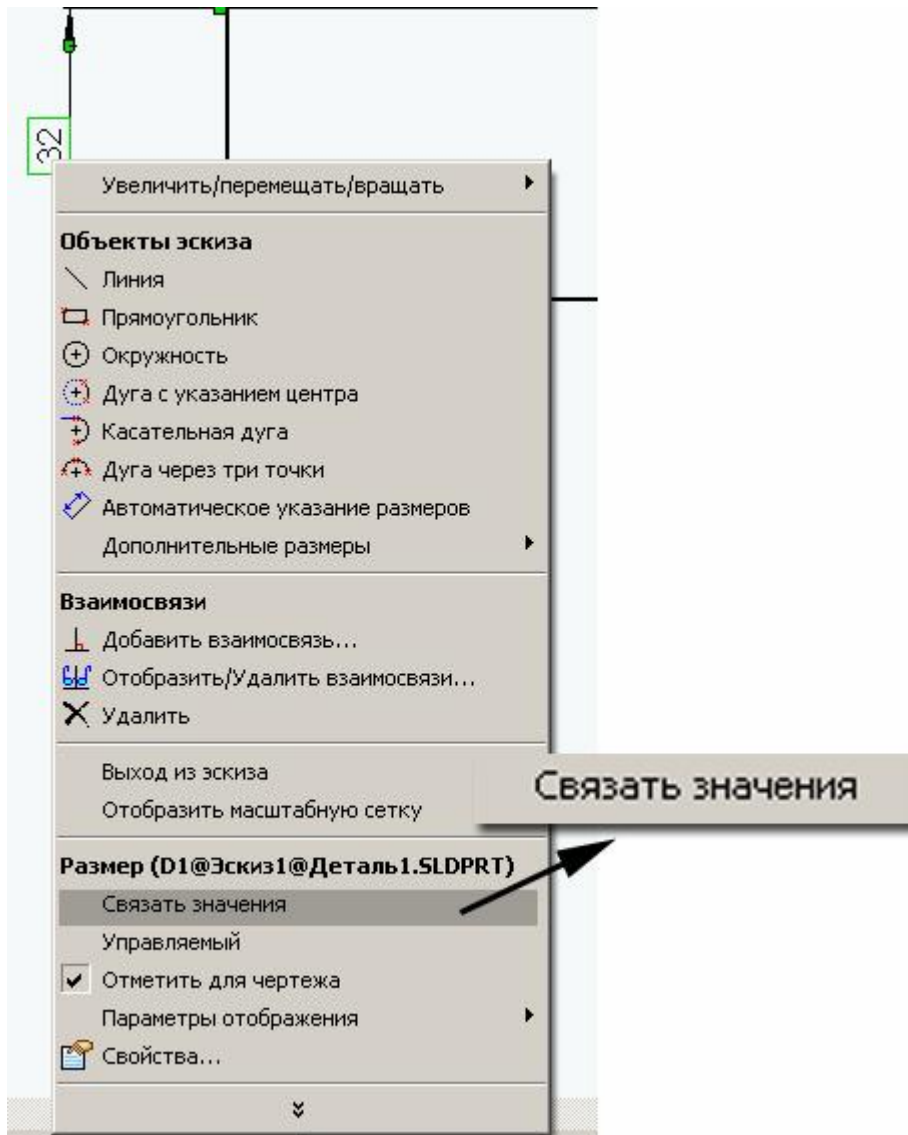


Рис. 11

Появляется диалоговое окно, в котором необходимо задать имя переменной в соответствующей графе, например L1:

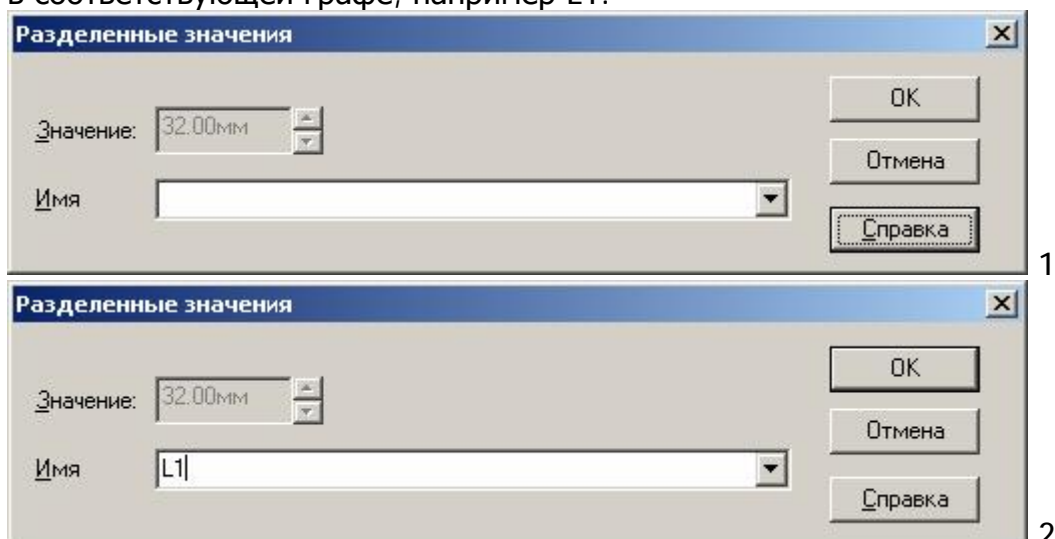


Рис. 12

После создания связанных размеров, имена их параметров можно использовать для связи с любыми другими управляющими размерами, например на следующем рисунке можно выбрать из списка переменные L1 и H1 (естественно, выбрав предварительно размер и команду "связать значения"):



Рис. 13

После выбора имени переменной (см. Рис. 13 1 и 2) текущий выбранный размер будет добавлен в группу связанных размеров.

Если на размер уже наложена связь, то ее можно удалить. В этом случае в контекстном меню команда "связать значения" заменяется командой "снять связку".

В результате связывания нескольких групп размеров с различными переменными в пределах модели образуется список имен переменных, значения которых доступны для связывания. Поскольку в практике конструирования рекомендуется придерживаться рядов предпочтительных значений размеров, можно создавать такие списки заранее и далее использовать их значения для ускорения ввода значений размеров и нормализации значений размеров в текущем проекте. Можно, например, создать ряд линейных размеров, ряд размеров диаметра или ряд размеров фасок или скруглений.

Уравнения на значения размеров в модели

Процесс связывания значений размеров прост и эффективен, причем связанные размеры равноправны, однако, как правило, зависимости между размерами не ограничиваются только равенствами. Для добавления сложных связей между размерами существует возможность добавить уравнения – зависимости одного размера от другого или других практически произвольной сложности.

Далее речь пойдет о добавлении уравнений при работе в Solid Works, и отдельно будут изложены особенности Inventor.

Инструменты для работы с уравнениями

Уравнения представляют собой отдельную группу элементов в модели или сборке.

Основные операции при работе с уравнениями – это добавление нового уравнения, редактирование существующего и удаление ненужных или некорректных уравнений из модели.

Для работы с уравнениями можно использовать команды меню (Инструменты\Уравнения), как показано на Рис. 14 1, либо кнопку с изображением греческой буквы "сигма" на Рис. 14 2.

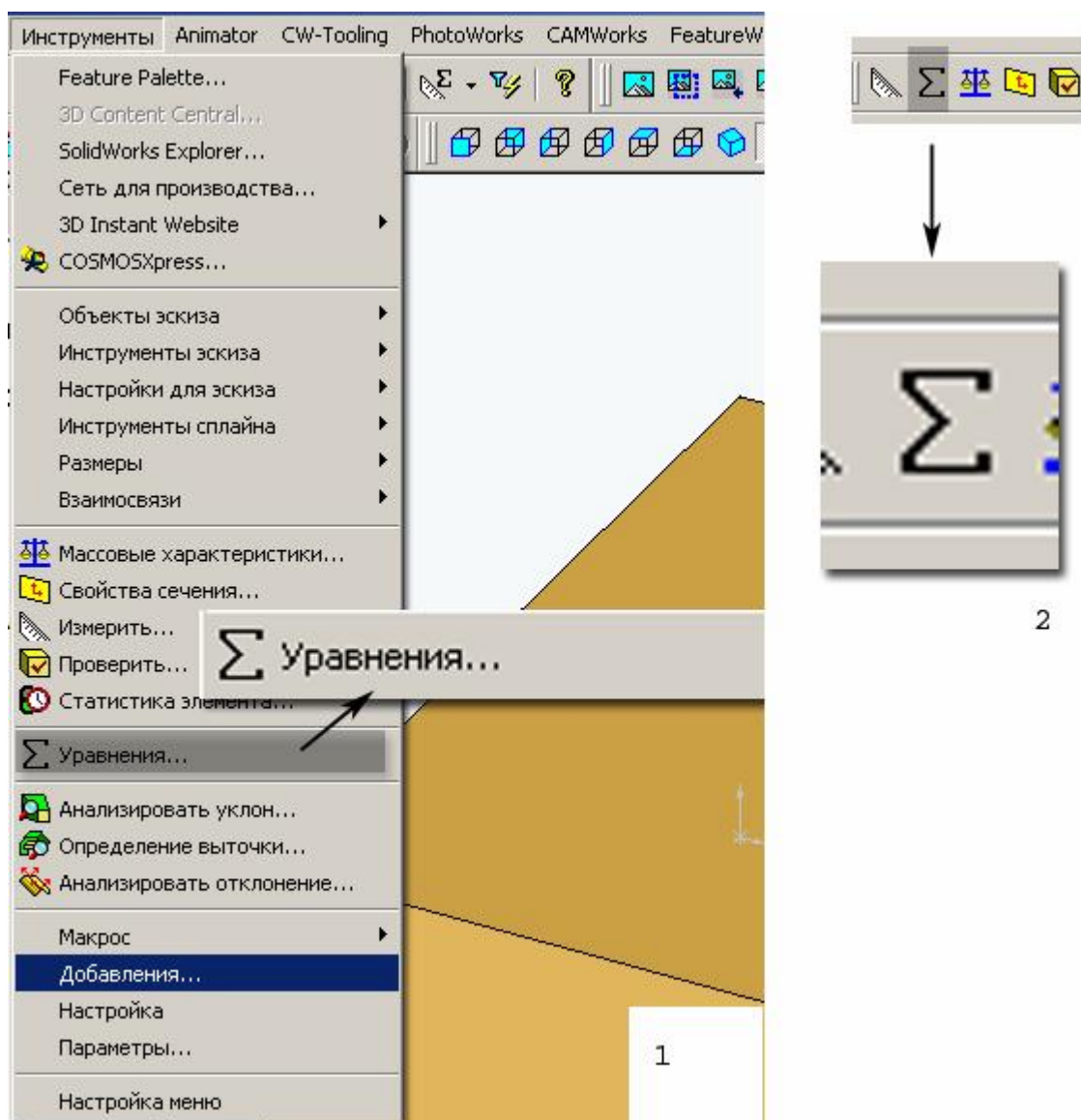


Рис. 14

Если в модели уже присутствуют зависимости между размерами в виде уравнений, то в браузере можно видеть (и использовать для работы) раздел, посвященный уравнениям, как показано далее:

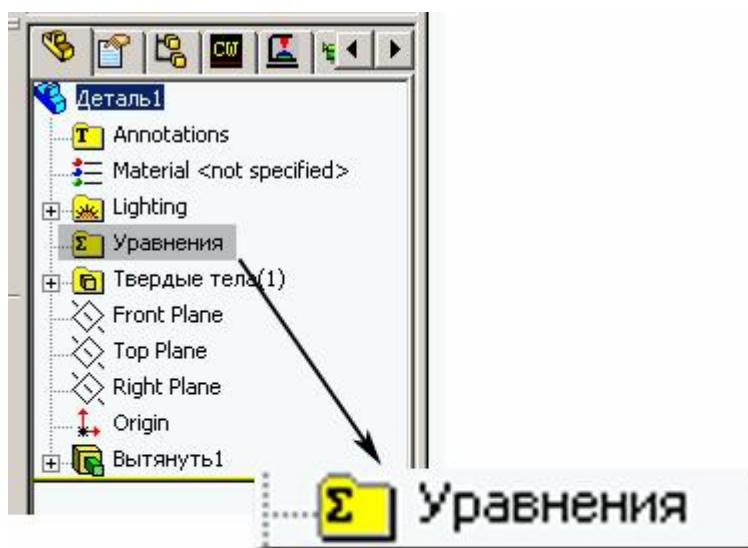


Рис. 15

Прежде чем изучить конкретные операции при работе с уравнениями, рассмотрим подробнее их структуру и принципы расчета размеров, заданных уравнениями.

Структура уравнения

Уравнения представляют собой обычные строки, которые интерпретируются (рассчитываются) средой проектирования. Для того, чтобы расчет был выполнен корректно, а среда могла понять введенную строку, необходимо соблюдать определенные правила написания выражений (синтаксис).

Рассмотрим пример уравнения:

"D2@Эскиз1" = "D1@Эскиз1" / 2 'высота равна 1/2 ширины

В него входят следующие элементы:

- "D2@Эскиз1" – имя размера, на который накладывается взаимосвязь, тот размер, которому присваивается значение последующего выражения;
- = - оператор присваивания;
- "D1@Эскиз1" / 2 – выражение, в соответствии с которым рассчитывается значение параметра;
- ' – символ начала комментария (заметки);
- **высота равна 1/2 ширины** – текст комментария.

В состав уравнения входят размеры, имена которых приводятся в двойных кавычках. Предусмотрен механизм включения имен размеров, путем их выбора с модели (см. далее).

Размер, которому присваивается значение, записывается слева от оператора присваивания (знака равенства). Справа от знака равенства записывается выражение. В выражении размеры соединяются операторами, порядок вычислений регулируется скобками, а для расчета сложных зависимостей используются функции, аргументы которых задаются в скобках.

САПР ТО

К операторам относятся:

- + (знак плюс) - сложение
- – (знак минус) - вычитание
- * (звездочка) - умножение
- / (косая черта) - деление
- ^ (знак вставки) – возведение в степень

Операторы приведены в порядке возрастания приоритета, то есть сначала (если нет скобок) рассчитывается степень, затем – умножение и деление, потом – сложение и вычитание. Скобки, как и принято, в математике меняют порядок вычислений.

В отличие от обычных математических выражений, не допускается пропусков знаков математических выражений или скобок. Компьютер вычисляет, если, конечно, расчет возможен в принципе, именно то, что записано в расчетной формуле, не учитывая никакие умолчания и не делая никаких дополнительных предположений. Поскольку синтаксис выражений в Solid Works, как и во многих других САПР, аналогичен синтаксису выражений в пакете Microsoft Excel, то можно рекомендовать в сомнительных случаях прогонять сложные выражения в этом пакете. Также рекомендуется всегда использовать скобки, даже если они не являются обязательными в данном конкретном случае. Следует помнить, что программа может найти ошибки в грамматике выражений, но не смысловые.

Solid Works поддерживает некоторые математические функции в выражениях, список которых приведен далее:

Таблица 2

Функция	Название	Примечание
sin (a)	синус	a - угол, выраженный в радианах
cos (a)	косинус	a - угол, выраженный в радианах
tan (a)	тангенс	a - угол, выраженный в радианах
atn (a)	арктангенс	a - угол, выраженный в радианах
abs (a)	модуль	возвращает модуль числа a
exp (n)	экспонента	возвращает значение e, возведенное в степень n
log (a)	логарифм	Возвращает значение натурального логарифма числа a с основанием e
sqr (a)	корень квадратный	возвращает значение квадратного корня из a
int (a)	целая часть числа	возвращает целую часть числа a
sgn (a)	знак	возвращает знак числа a
Постоянная величина		
Pi	пи	3.14... (точность соответствует точности документа)

В тригонометрических функциях аргумент, а в обратных тригонометрических функциях – значение, даются в **радианах**. Функция Log рассчитывает значения **натуральных** логарифмов. Функция Int просто отбрасывает дробную часть числа, **не округляя** его. Pi является **константой** и не требует аргументов в скобках или пустой пары скобок без аргумента.

Приведенные выше операторы и функции дают возможность записывать достаточно сложные выражения, однако надо представлять и ограничения этой формы задания зависимостей между размерами.


Уравнения – это выражения, а не полноценный язык программирования. В частности, отсутствует возможность выбора значения в зависимости от условия (условный оператор). Отсутствуют также любые другие средства организации хода выполнения вычислений (оператор цикла и т.д.).

Нет возможности организовать промежуточные вычисления или использовать вспомогательные параметры. Уравнение должно представлять собой один оператор присваивания с одним единственным выражением.

Отсутствует возможность автоматического решения систем уравнений и выражений, в которых величина рассчитываемого размера не выражена явно.

Комментарий – это произвольная строка, которая следует в конце уравнения. Строку от уравнения отделяет апостроф – одиночная кавычка. Для быстрого исключения уравнения из расчетов, но без его фактического удаления можно сделать его текст комментарием, поставив апостроф перед уравнением. Настоятельно рекомендуется писать комментарии для всех уравнений в модели, хотя бы и минимальные по объему.

Порядок расчета и статус уравнения

Созданные уравнения подлежат расчету. Зачастую этот процесс не происходит в автоматическом режиме. Для форсированного пересчета рекомендуется использовать инструмент "перестройка": кнопка на панели инструментов , команда меню Правка\Перестроить или комбинация клавиш Ctrl+B.

В целом, уравнения – это просто набор строк. При каждом пересчете эти строки считываются, интерпретируются с минимальным контролем правильности их записи. Расчет производится в порядке записи уравнений, поэтому один и тот же размер может участвовать в качестве результата в нескольких уравнениях и в этом случае приобретет значение последнего в списке уравнения.

Далее в качестве сквозного примера рассмотрим задание уравнений для такого параллелепипеда:

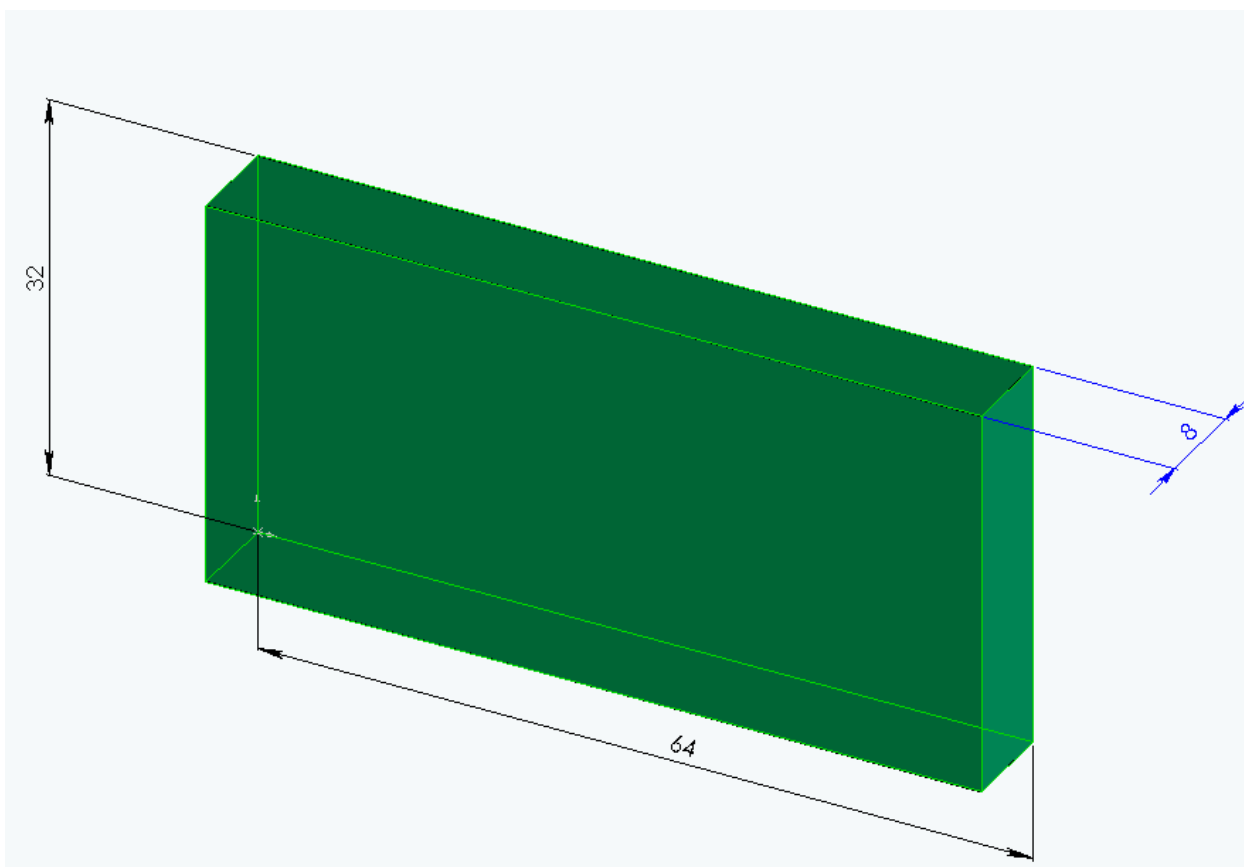
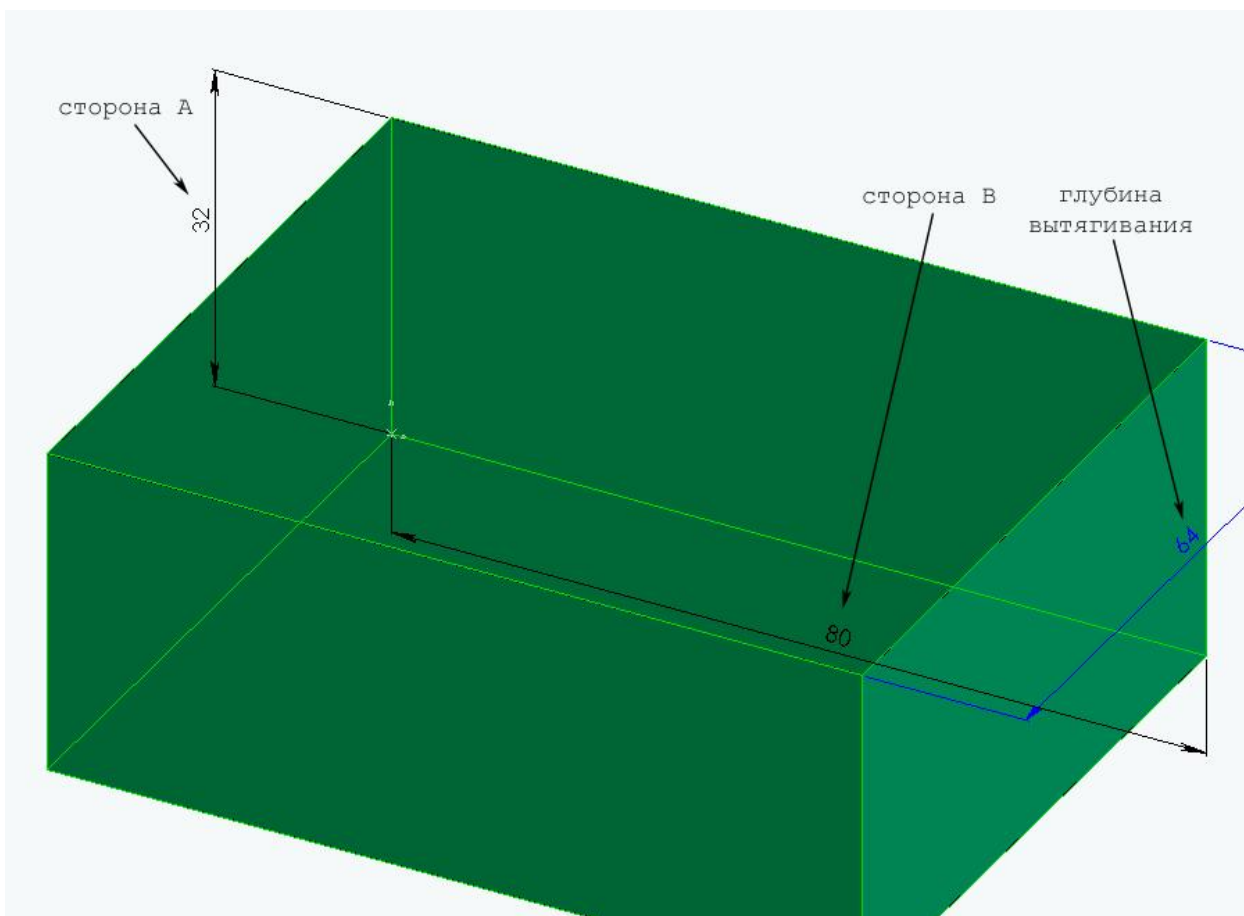


Рис. 16

Целью является задание таких соотношений, чтобы сторона В была в 2 раза больше стороны А, а глубина вытягивания – $\frac{1}{4}$ стороны А

Добавление уравнения

Для добавления уравнения желательно предварительно выбрать размер на который накладывается уравнение. Впрочем, действует общее правило: чтобы добавить имя размера в строку редактирования уравнения достаточно выбрать его на видовом экране.

В любом случае, выбран размер или нет, необходимо начать работу с уравнениями, используя меню, кнопку или браузер, как показано выше (Рис. 14 или Рис. 15). Появившееся диалоговое окно представлено далее:

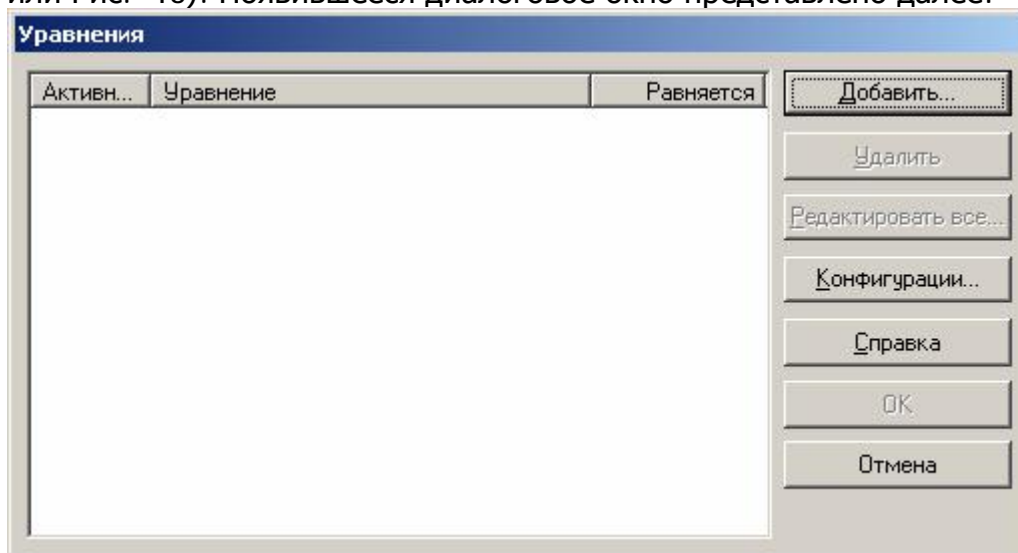


Рис. 17

Поскольку еще не добавлено ни одного уравнения, основная область с текстом зависимостей пока пуста. Для добавления уравнения выберем размер стороны В (который сейчас имеет номинал 80) и нажмем кнопку добавить. В результате появляется еще одно диалоговое окно. Выбранный размер (его имя) находится слева от знака равенства, что позволяет сразу перейти к записи основного текста уравнения.

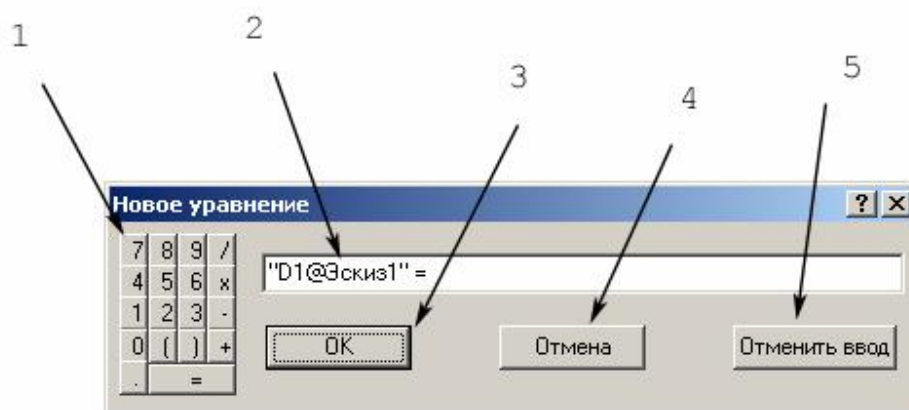


Рис. 18

Диалоговое окно для ввода нового уравнения содержит:

- 1 – кнопки для ввода цифр и арифметических операторов,
- 2 – строка ввода уравнения,
- 3 – кнопка для завершения работы и добавления введенного уравнения,

САПР ТО

4 – кнопка для завершения работы и отмены ввода нового уравнения (оно не будет добавлено в список уравнений),

5 – кнопка отмены ввода без завершения работы с уравнением.

Необходимо отметить, что в зависимости от настроек среды Windows, связанных с языковыми параметрами, разделителем целой и дробной части числа в десятичных дробях может быть или запятая или точка, для избежания ошибок рекомендуется использовать точку с панели 1 Рис. 18.

Нам необходимо добавить такое выражение, чтобы длина стороны В равнялась удвоенной длине стороны А, то есть $B=2*A$. Для этого выберем размер стороны А на экране, что приведет к его добавлению в формулу (1) и допишем выражение (2), сопроводив его комментарием (3):

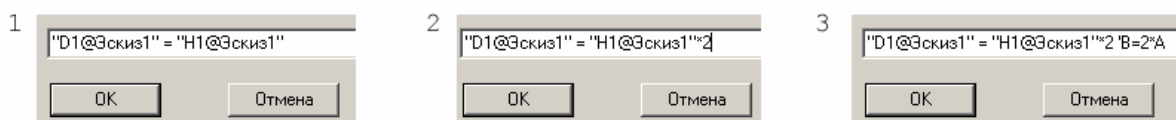


Рис. 19

Аналогично добавим уравнение на параметр вытягивания, в результате получим следующую картину:

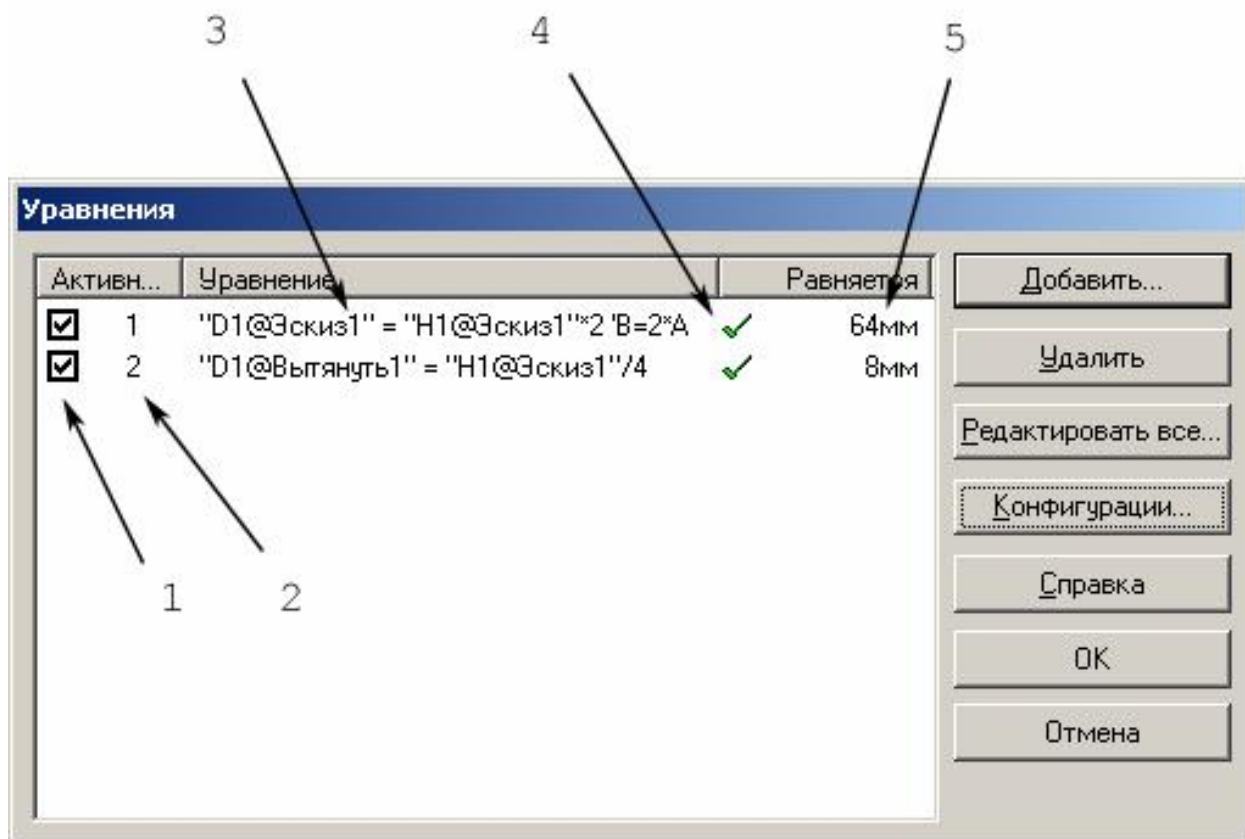


Рис. 20

Теперь в поле с уравнениями – добавленные зависимости. Символы в колонках таблицы означают:

1 – уравнение активно (пассивно), то есть участвует (или нет) в расчетах и результаты расчетов меняют (или нет) номинал размера;

- 2 – номер уравнения;
- 3 – текст уравнения;
- 4 – статус уравнения (уравнение корректно или содержит ошибки)
- 5 – результат расчета по введенному уравнению.

Рекомендуется проверить результаты расчета и сравнить их с ожидаемыми. Рекомендуется также уточнить единицы измерения (часто, вследствие ошибок при выборе размеров, результат присваивается угловому размеру вместо линейного и наоборот).

Редактирование уравнений

Уравнения, как уже отмечалось, представляют собой строки, интерпретируемые системой. С одной стороны, это достаточно просто для реализации, с другой – создает некоторые проблемы. Одна из них – в доступных к настоящему времени реализациях Solid Works невозможно отредактировать уравнение отдельно от других. Отсутствует также специализированный редактор уравнений, уже добавленных в модель.

Редактировать уравнения можно только все разом, причем просто в виде набора строк. Впрочем, возможность добавления имен размеров путем выбора их в модели присутствует и здесь. Можно рекомендовать следующий обходной путь: сначала сделать редактируемое уравнение пассивным. Далее добавить новое, используя редактор новых уравнений, описанный выше. Среда редактирования уравнений представлена на рисунке ниже:

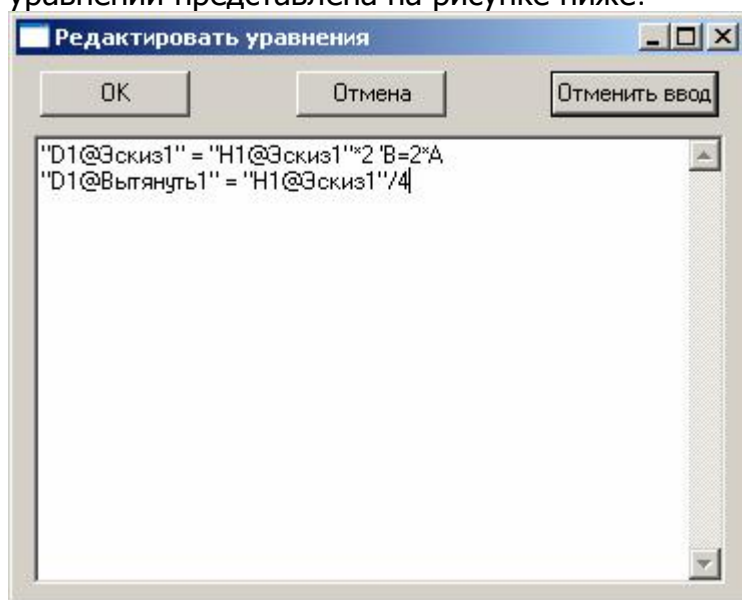


Рис. 21

Назначение кнопок в диалоговом окне очевидно из предыдущих примеров ("ОК" – завершение редактирования и ввод измененных уравнений, "Отмена" – отказ от внесенных изменений и завершение редактирования, "Отменить ввод" – отмена внесенных изменений и продолжение процесса редактирования).

Удаление уравнений

Удаление уравнений можно выполнить в процессе редактирования, однако существуют и другие возможности, в частности – используя соответствующую команду в диалоговом окне работы с размерами.

Удаляется либо уравнение, отмеченное пользователем, либо последнее введенное уравнение. Процедура удаления необратима, поэтому рекомендуется

Ввиду особенностей обработки уравнений рекомендуется задавать в сборках зависимости лишь для сложных взаимосвязей, и по возможности использовать другие механизмы согласования размеров в сборках. В целом, настоятельно рекомендуется минимизировать связи между компонентами в сборках, оставляя лишь действительно необходимые.

Особенности создания функциональных зависимостей в AutoDesk Inventor

Среда проектирования Inventor от фирмы AutoDesk является на сегодняшний день революционным продуктом и безусловным лидером по числу инноваций от версии к версии. Применение Inventor в учебном процессе сдерживается его англоязычным интерфейсом, однако интерфейс этой САПР настолько нагляден, что зачастую не требует вообще никаких текстовых пояснений. В дальнейшем изложении предполагаются хотя бы элементарные знания английских терминов, характерных для работы с САПР, которые даются без перевода.

Заметно, по сравнению с Solid Works (и в лучшую сторону), отличаются и приемы по наложению взаимосвязей на размеры, хотя общая логика работы сохраняется. Рассмотрим пример с параллелепипедом, выполненный в Inventor:

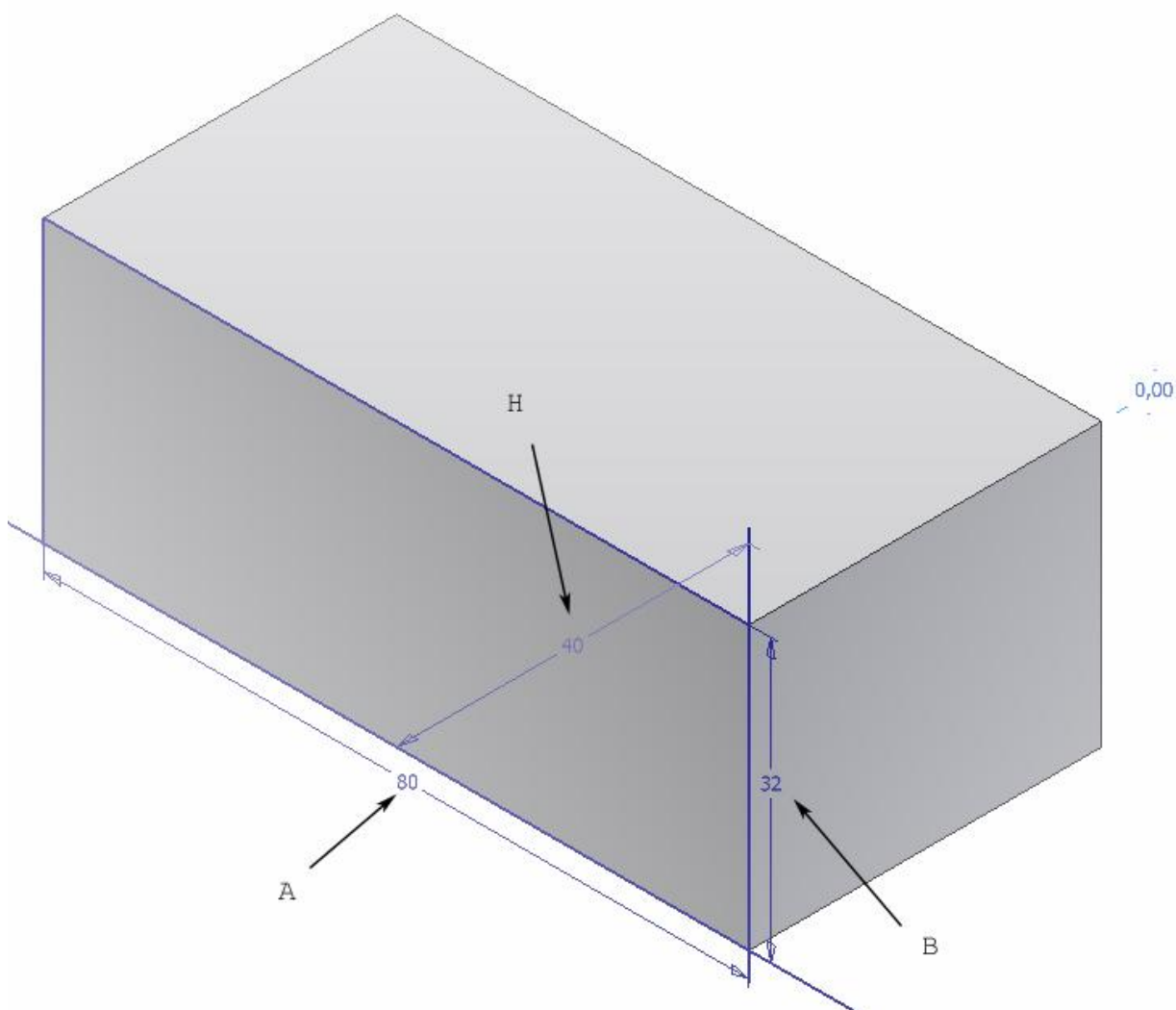
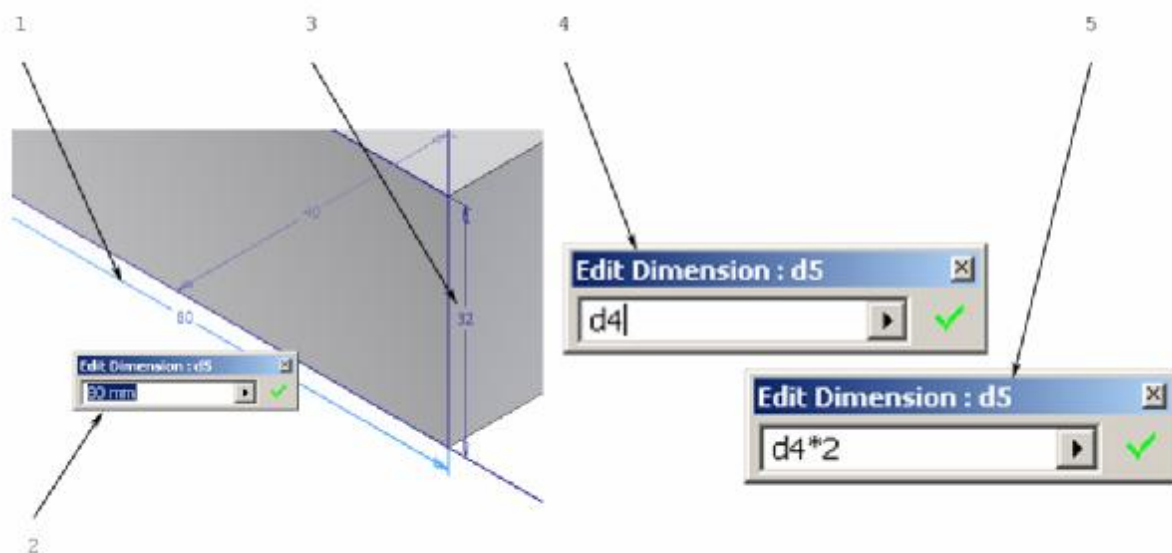


Рис. 24

САПР ТО

Для добавления зависимости $A=2*B$ достаточно выполнить действия, показанные на рисунке:



- 1 – выбрать размер при помощи мыши;
- 2 – в диалоговом окне редактирования размера просто ввести нужную зависимость, для чего в нашем случае
- 3 – чтобы добавить имя параметра В – щелкнуть по нему мышью в видовом экране;
- 4 – имя размера появляется в окне;
- 5 – дописать выражение и нажать кнопку ОК.

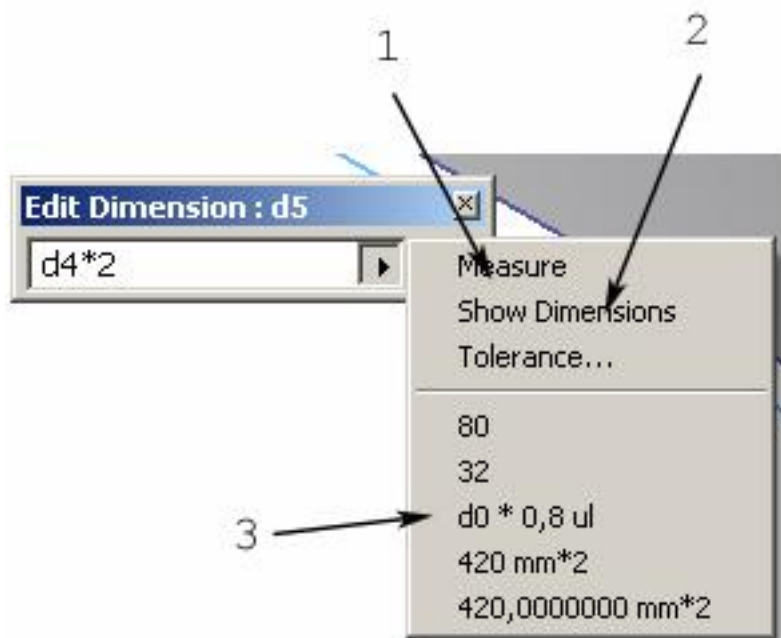


Рис. 25

Дополнительно существует возможность измерить размер элемента модели или сборки (1), показать для выбора размеры интересующего разработчика элемента (2), использовать одно из введенных ранее выражений или значений размеров (3), как показано на Рис. 25

Кроме значительно более удобного интерфейса и легкости в добавлении уравнений, следует отметить, что в Inventor можно получить доступ ко всем параметрам модели в единообразной и удобной форме, через команду "параметры". Соответствующее диалоговое окно приведено далее:

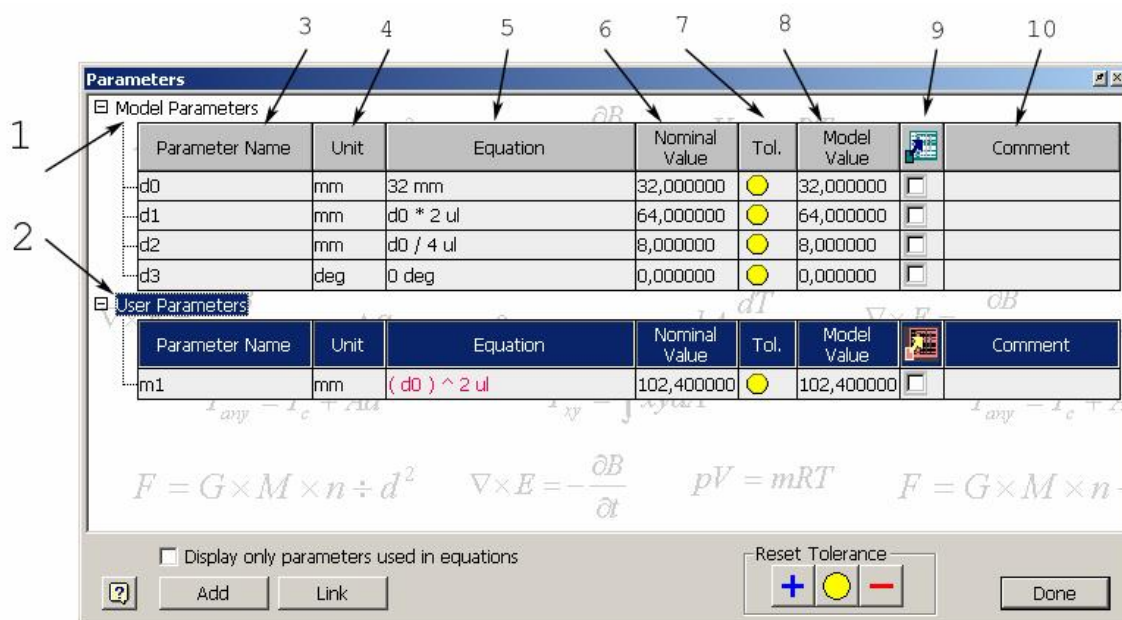


Рис. 26

Здесь представлены:

- 1 – группа размеров – параметров модели;
- 2 – группа параметров введенных пользователем (внешние параметры, например – мощность редуктора, или результаты промежуточных вычислений)
- 3 – колонка имен параметров, имена можно отредактировать;
- 4 – единицы измерения параметра (Inventor автоматически корректно пересчитывает единицы измерения в различные системы мер);
- 5 – текст уравнения (в простейшем случае – просто номинал параметра);
- 6 – расчетное номинальное значение параметра;
- 7 – способ сочетания поля допуска и размера;
- 8 – величина размера в модели с учетом поля допуска (по умолчанию допуск не влияет на отображаемый в модели размер, однако можно задать отображение минимального или максимального значения размера с учетом поля допуска в модели);
- 9 – разрешить экспорт параметра вне модели (как справочный материал);
- 10 – комментарий.

Назначение полей таблицы аналогично соответствующим понятиям в Solid Works. Правила записи уравнений, список доступных функций, также весьма похожи, причем Inventor имеет преимущество как при редактировании уравнений (присутствует удобный редактор зависимостей), так и при выборе функций – их несколько больше, чем в Solid Works. Список доступных функций приведен далее:

Таблица 3

Название и комментарий	Тип результата	Тип аргумента
cos(expr) угол может быть в любых технических единицах измерения углов	безразмерный	Угол
sin(expr)	безразмерный	Угол
tan(expr)	безразмерный	Угол
acos(expr)	угол	безразмерный

САПР ТО

asin(expr)	угол	безразмерный
atan(expr)	угол	безразмерный
cosh(expr)	безразмерный	Угол
sinh(expr)	безразмерный	Угол
tanh(expr)	безразмерный	Угол
acosh(expr)	угол	безразмерный
asinh(expr)	угол	безразмерный
atanh(expr)	угол	безразмерный
sqrt(expr)	Корень из	Любой
sign(expr)	безразмерный	любой
exp(expr) показатель степени для числа (2 для 100, 3 для 1000)	безразмерный	любой
floor(expr) ближайшее меньшее целое	безразмерный	безразмерный
ceil(expr) ближайшее большее целое	безразмерный	безразмерный
round(expr) округление до целого	безразмерный	безразмерный
abs(expr)	любой	Любой
max(expr1;expr2)	любой	Любой
min(expr1;expr2)	любой	Любой
ln(expr)	безразмерный	безразмерный
log(expr)	безразмерный	безразмерный
pow(expr1, expr2)	степень	любой,
random()	безразмерный	безразмерный

Проектирование деталей с уравнениями на значения размеров

Перед проектированием изделий с добавлением уравнений, необходимо тщательно продумать свою работу.

В каких случаях имеет смысл использовать уравнения? Прежде всего – если между номиналами размеров имеется осмысленная функциональная связь, то есть когда действительно один из размеров зависит от другого или нескольких других. Во-вторых – когда связь между значениями размеров носит сложный характер. В-

третьих – если установленное значение главного размера придется в дальнейшем изменять. В этом случае добавление уравнений позволяет освободить проектировщика от рутинного труда. Нежелательно использовать уравнения без предварительной подготовки и тренировки на простых моделях. Нежелательно чрезмерное использование уравнений, когда стремятся привязать все размеры модели к одному главному.

Можно рекомендовать следующий порядок проектирования:

Проанализировать задание на проектирование с целью определения порядка моделирования элементов изделия и их вида.

Проанализировать структуру эскизов и параметров трехмерных операций, чтобы выявить управляющие размеры.

Выявить главные размеры и зависящие от них группы размеров.

Оценить характер зависимостей и определить, возможно ли задать указанные зависимости в виде уравнений. Рекомендуется по возможности использовать более простые способы добавления таких условий, как равенство.

Создать модель для конкретной конфигурации размеров, причем настоятельно рекомендуется (в учебных проектах – обязательно) использование полностью определенных эскизов. В рабочих проектах наличие недоопределенного элемента означает, что такая модель непригодна для серьезной работы, исключая разве что эскизные проекты.

Задать понятные ("говорящие") имена, хотя бы для главных размеров.

Задать уравнения, связывающие с главными размерами подчиненные. При добавлении уравнения, до перестройки модели, обязательно оценить результат расчета уравнения и сравнить его с ожидаемым.

Исправить ошибки и удалить в случае необходимости ненужные или неверные уравнения.

Перестроить модель.

Выполнить проверку, задав главному размеру предельные (ожидаемые) минимальное и максимальное значения и убедиться в корректности результата. Исправить возможные ошибки и неточности.

Выполнить окончательную проверку.

Рассмотрим несколько примеров, общей целью которых является проектирование болтового соединения.

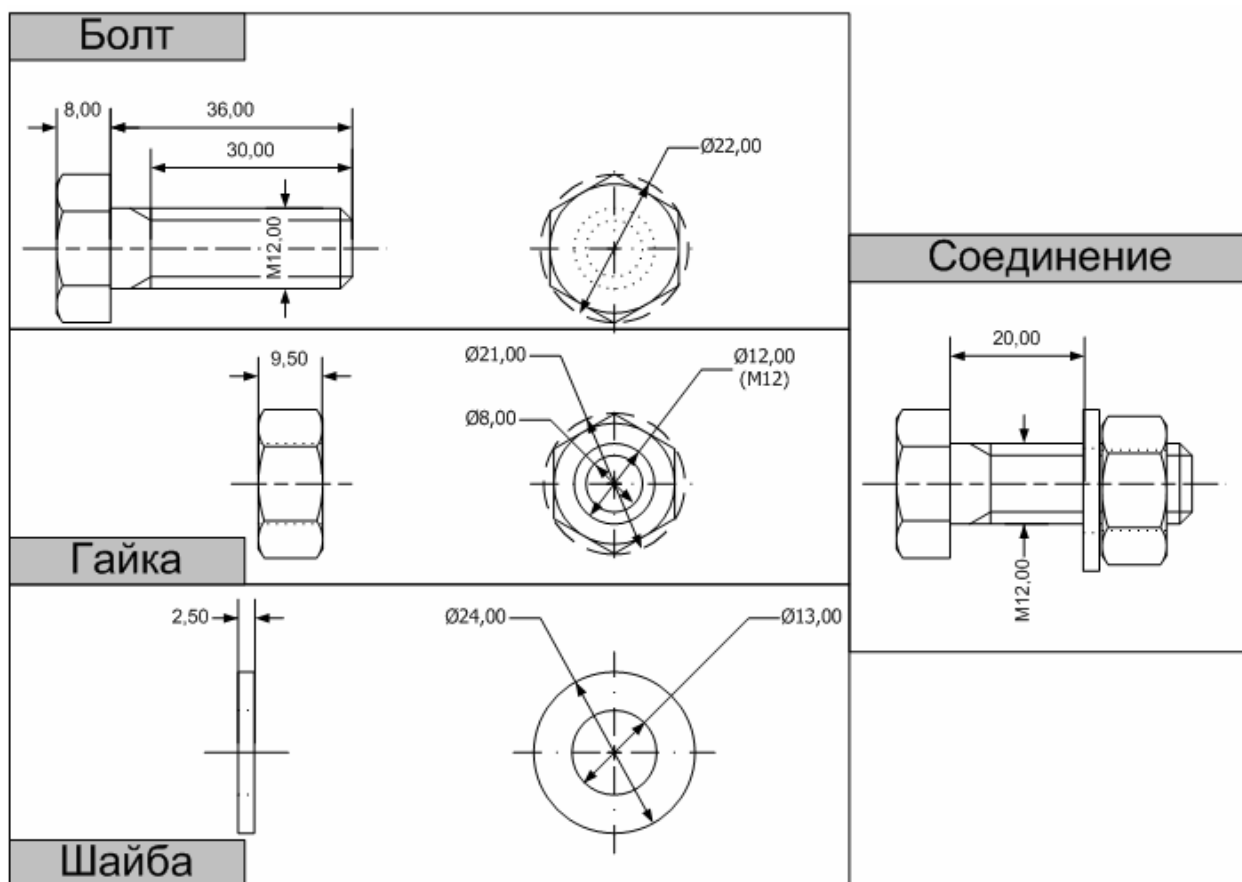


Рис. 27

Проектирование болта

Размеры болта при упрощенной отрисовке определяются диаметром резьбы, как показано на рисунке.

Пропорциональны диаметру резьбы: высота головки болта, диаметр описанной окружности, длину ножки болта также можно принять пропорциональной диаметру резьбы.

С точки зрения моделирования болт можно получить, вытянув круглое сечение – ножку болта, и правильный шестиугольник – головку. Размеры-параметры, которые определяют конфигурацию болта, приведены на рисунке далее. Сведем данные, необходимые для дальнейшей работы в таблицу:

Таблица 4

Название параметра	Имя (символы английского алфавита)	Уравнение связи
Диаметр резьбы	M	
Длина ножки	L1	$L1 = 3 * M$
Внутренний диаметр резьбы	M1	$M1 = \text{int}(0.8M)$
Длина резьбы	L2	$L2 = \text{int}(5 * M / 6)$
Высота головки болта	H	$H = \text{int}(2 * M / 3)$
Диаметр описанной окружности	DH	$DH = \text{int}(M * 1.9)$
Размер фаски ножки болта	C1	$C1 = 0.1 * M$
Размер фаски головки болта	C2	$C2 = H / 4$

Функция int отбрасывает дробную часть числа, что позволяет получать округленные значения размеров.

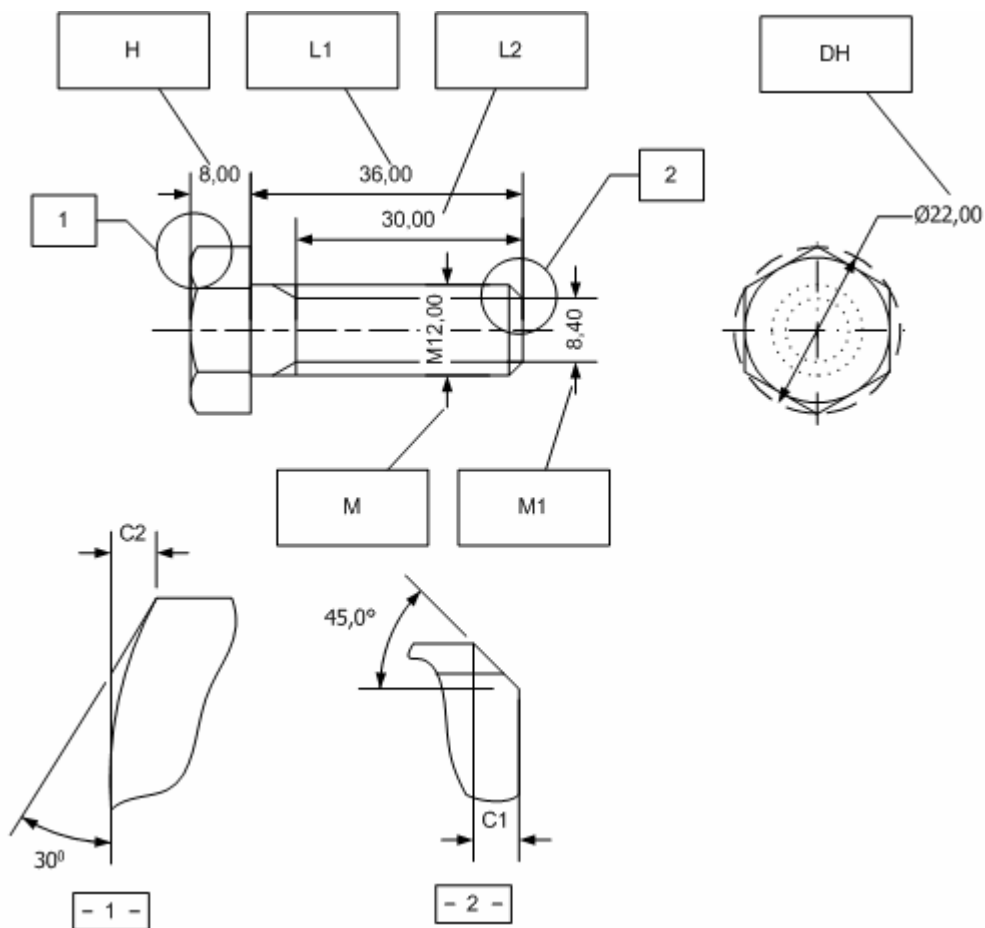
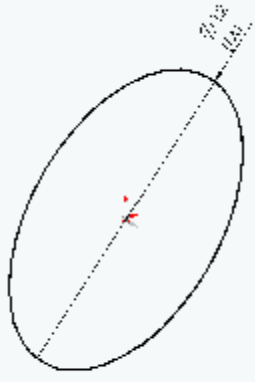
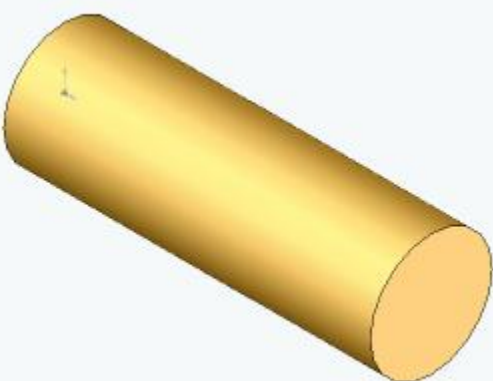
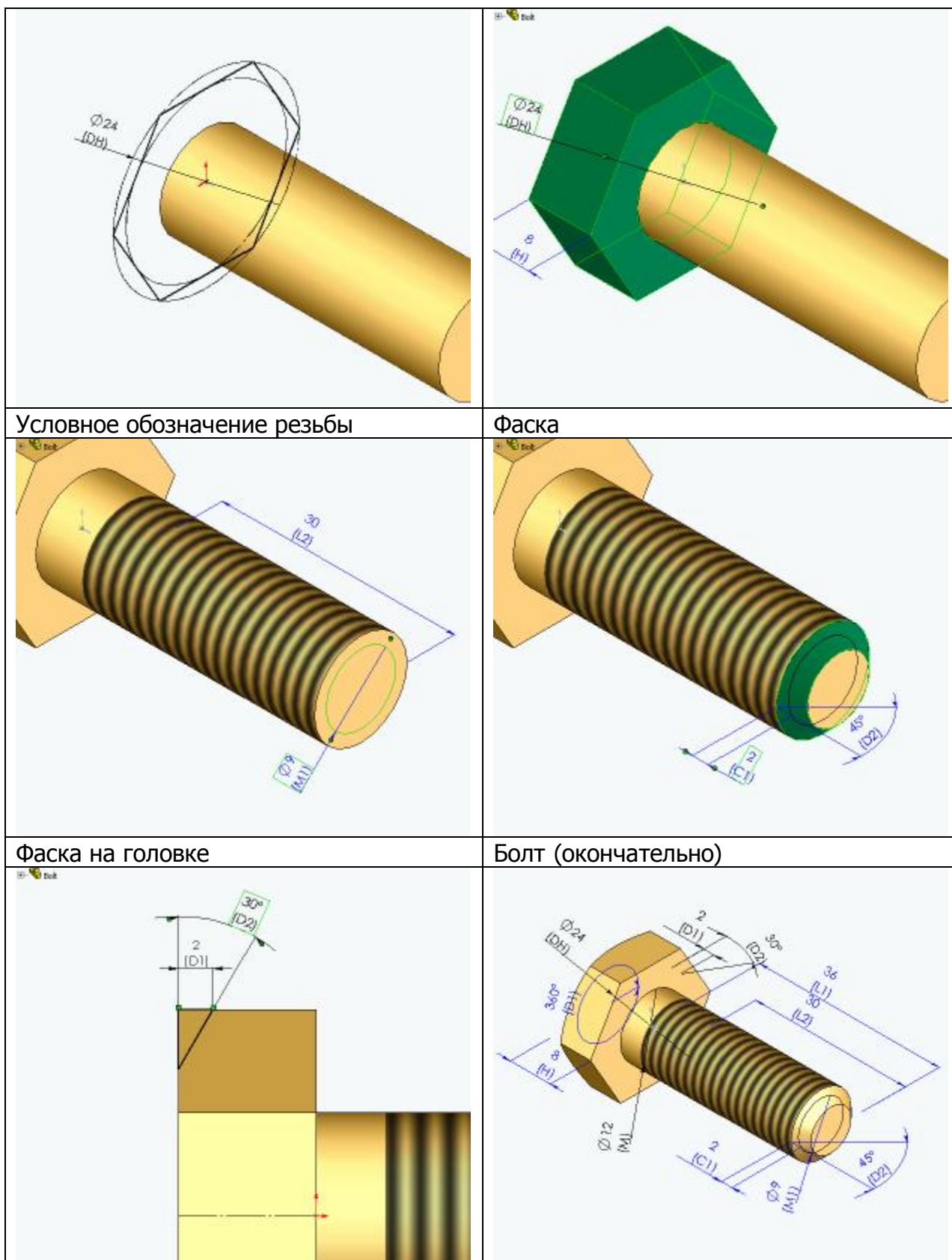


Рис. 28

Спроектируем болт с размерами, соответствующими рисунку. Так как моделирование в среде Solid Works подробно изучалось ранее, отметим только основные этапы моделирования.

Таблица 5

Эскиз ножки	Вытянутая ножка
	
Эскиз головки	Болт



Следует отметить, что сейчас размеры модели несколько отличаются от размеров эскиза. Это вполне приемлемо, так как далее все равно связанные уравнениями размеры будут пересчитаны. Резьба в данном случае – это косметический элемент, который служит только целям оформления модели и чертежа изделия.

Процесс добавления зависимостей был подробно рассмотрен ранее, поэтому приведем сразу полный текст всех введенных уравнений:

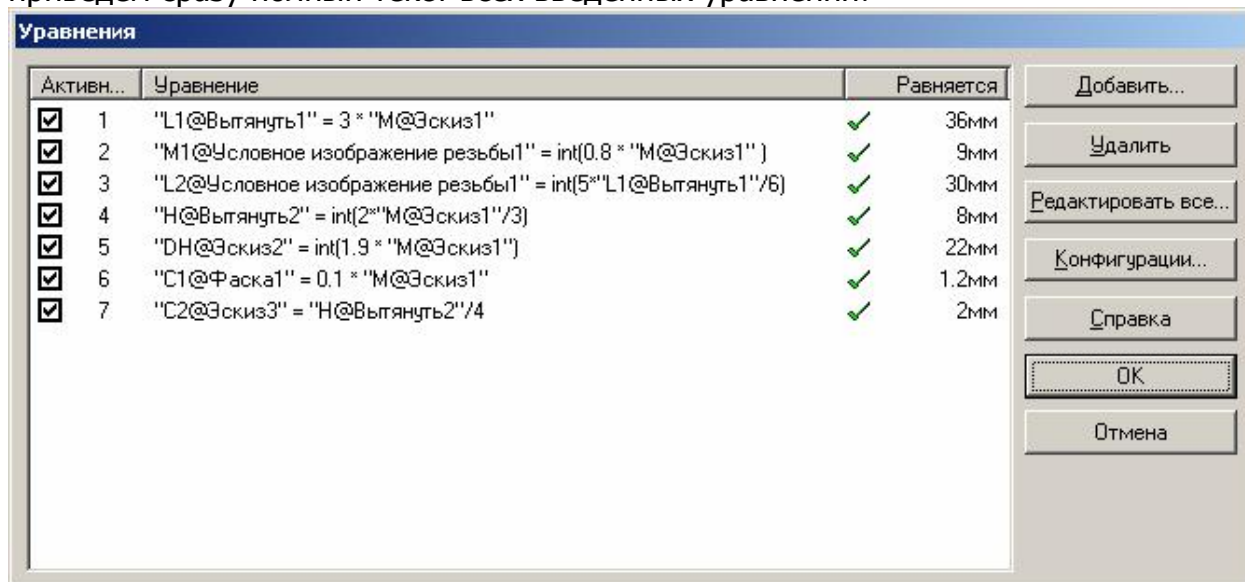


Рис. 29

Текст введенных уравнений приведен далее:

Таблица 6

Номер	Уравнение
1	"L1@Вытянуть1" = 3 * "M@Эскиз1"
2	"M1@Условное изображение резьбы1" = int(0.8 * "M@Эскиз1")
3	"L2@Условное изображение резьбы1" = int(5*"L1@Вытянуть1"/6)
4	"H@Вытянуть2" = int(2*"M@Эскиз1"/3)
5	"DH@Эскиз2" = int(1.9 * "M@Эскиз1")
6	"C1@Фаска1" = 0.1 * "M@Эскиз1"
7	"C2@Эскиз3" = "H@Вытянуть2"/4

Полученная в результате деталь является полностью параметризованной. При изменении диаметра резьбы остальные размеры болта будут автоматически и корректно пересчитаны.

Ниже приведены в сравнимом масштабе пересчитанная модель болта под размеры резьбы М 20, М 12 и М 2,4. На модели болта с параметром М 12 приведены размеры с их номинальными значениями.

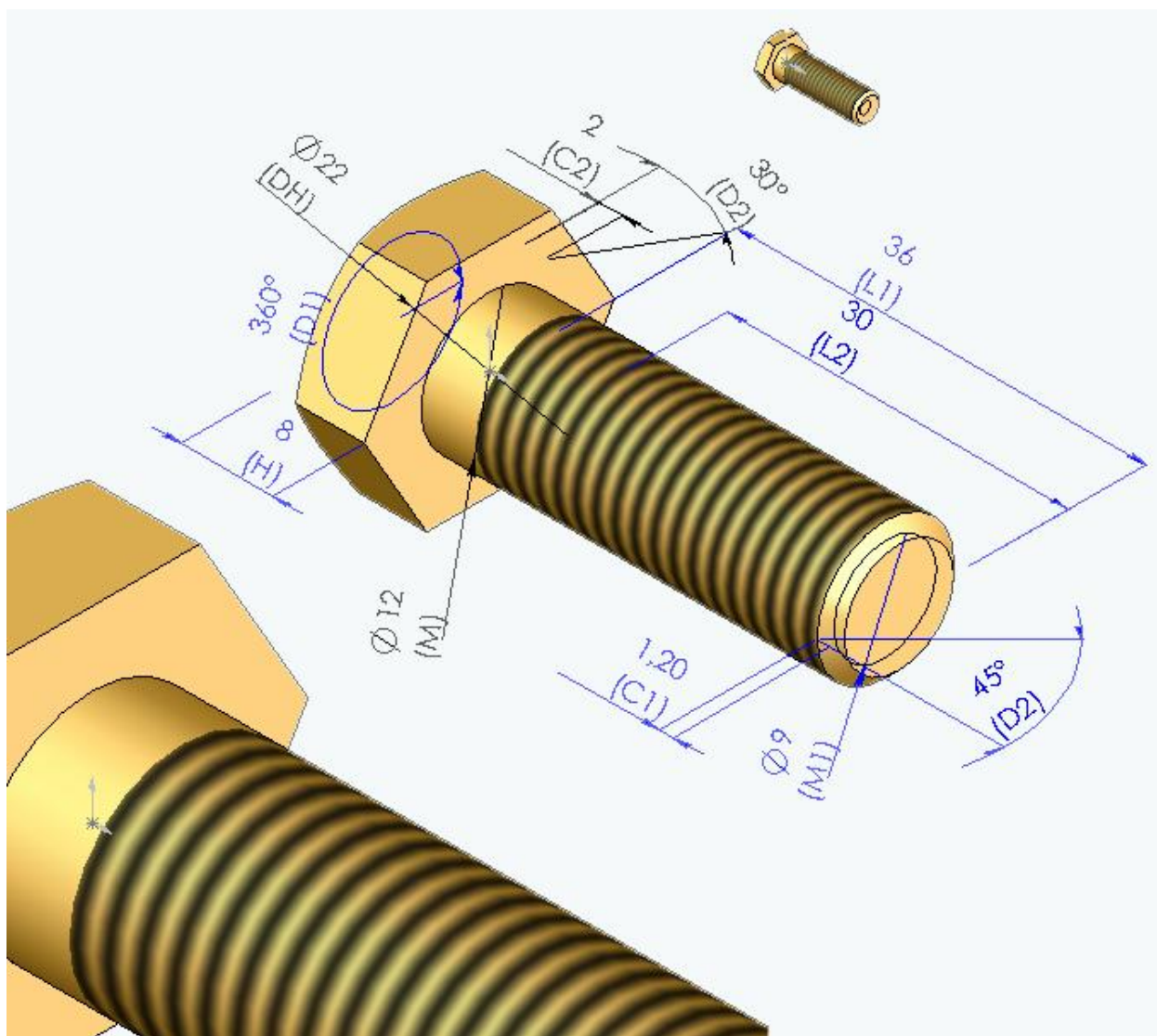


Рис. 30

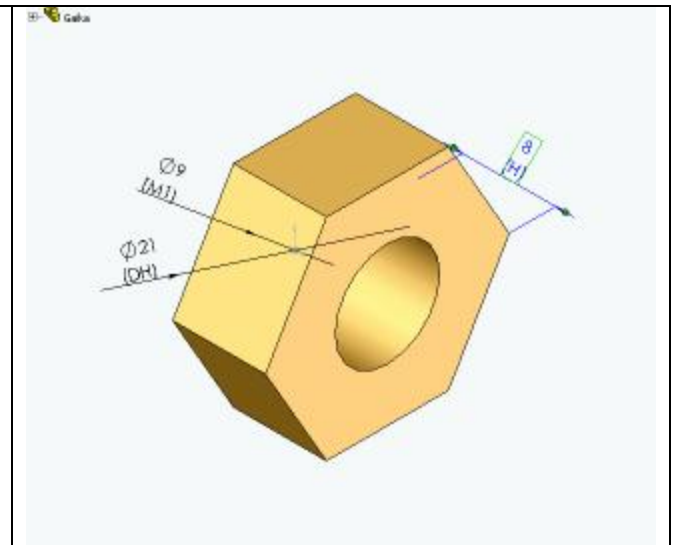
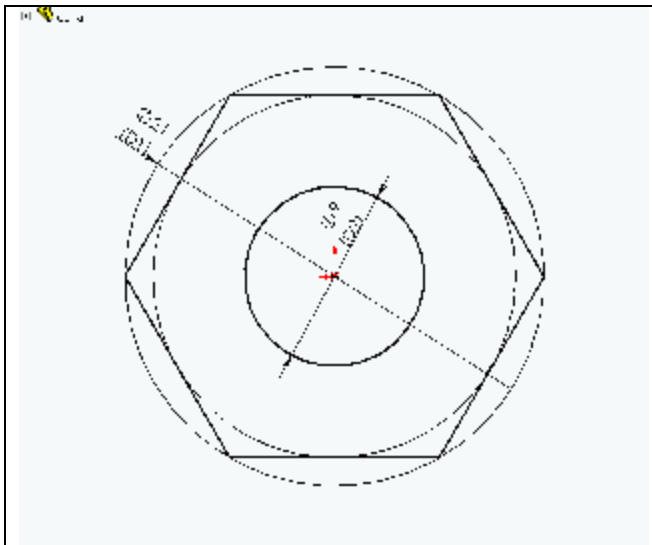
Проектирование гайки и шайбы

Поскольку принципиальные вопросы рассмотрены выше, коснемся лишь отличий при проектировании.

Для гайки диаметр резьбы – это диаметр элемента оформления. Диаметр отверстия гайки – это внутренний диаметр резьбы. Таким образом, при проектировании необходимо учесть эти особенности. Сведем основные этапы проектирования в таблицу:

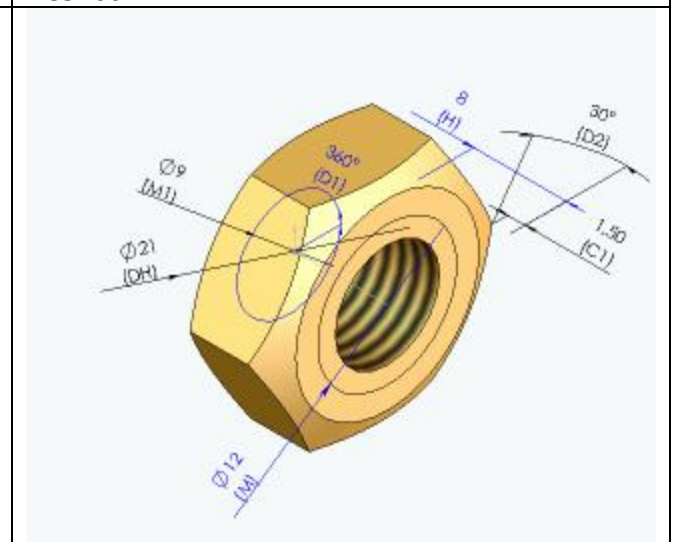
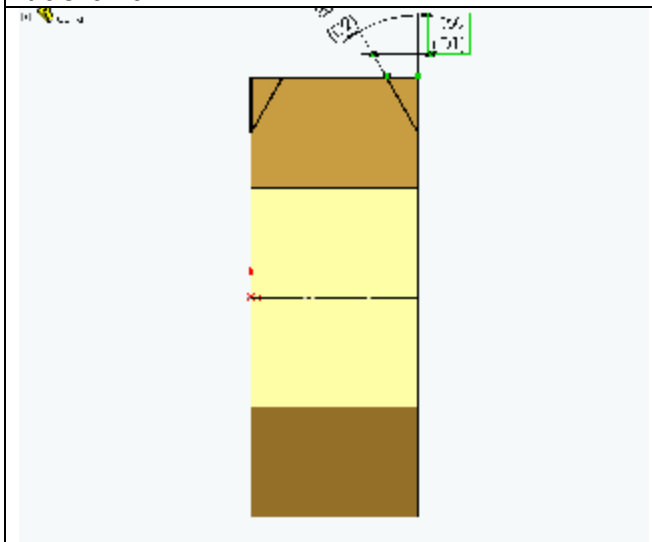
Таблица 7

Профиль гайки (шестигранник) с отверстием	с	Гайка
---	---	-------

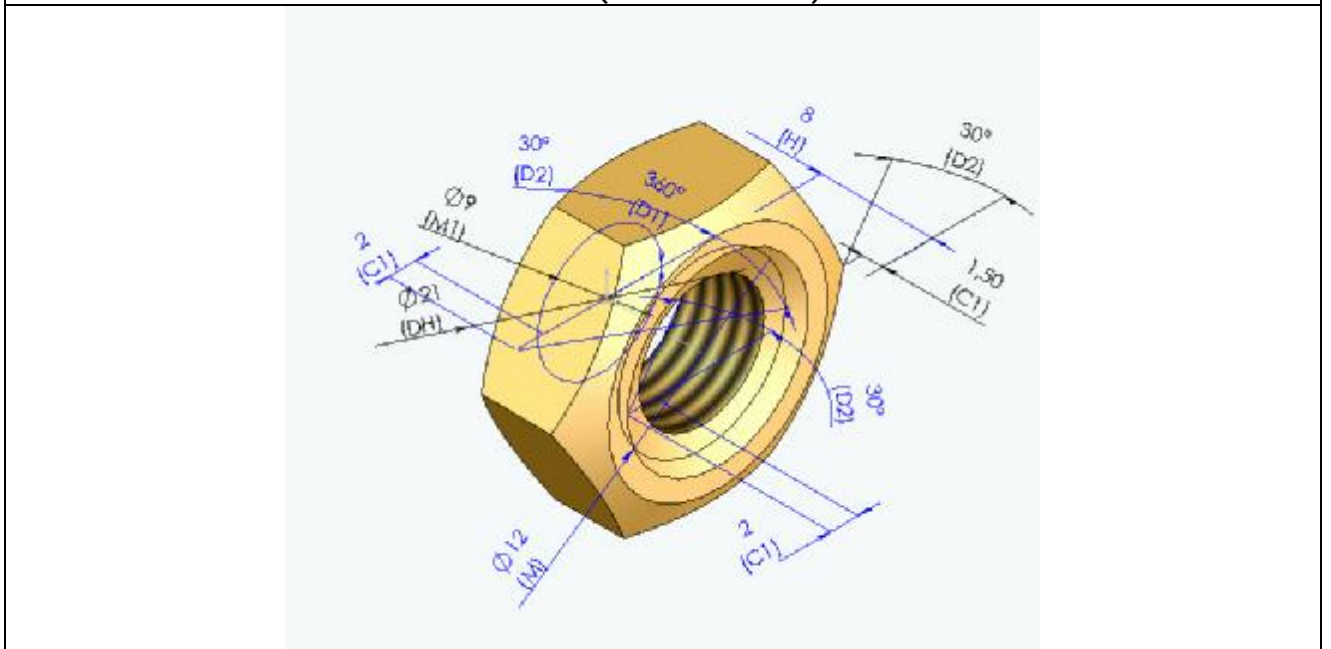


Фаска гайки

Резьба



Гайка (окончательно)



Основным параметром для определения размеров гайки является наружный диаметр резьбы – параметр М. После добавления уравнений получим приведенный далее набор уравнений (таблица в текстовой форме не приводится):

Активн...	Уравнение	Равняется	
<input checked="" type="checkbox"/>	"M1@Эскиз1" = int(3*"M@Условное изображение резьбы1"/4)	✓	9мм
<input checked="" type="checkbox"/>	"DH@Эскиз1" = int(1.8*"M@Условное изображение резьбы1")	✓	21мм
<input checked="" type="checkbox"/>	"H@Вытянуть1" = int(2*"M@Условное изображение резьбы1"/3)	✓	8мм
<input checked="" type="checkbox"/>	"C1@Эскиз2" = "M1@Эскиз1"/6	✓	1.5мм
<input checked="" type="checkbox"/>	"C1@Фаска3" = "H@Вытянуть1"/4	✓	2мм

Рис. 31

В сравнимом масштабе модели гаек для М 2.4, 12, 20 приведены на следующем рисунке (размеры модели скрыты для гаек М 2.4 и М 20).

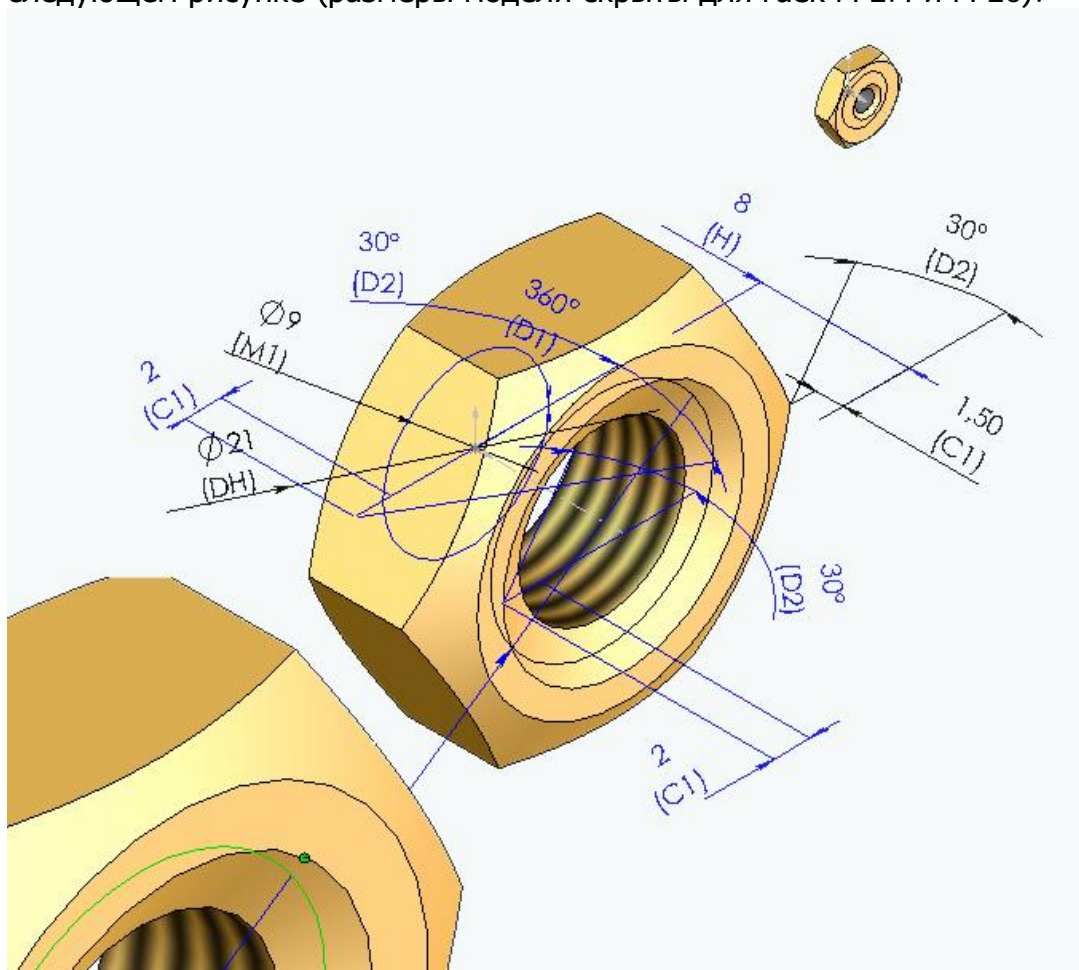
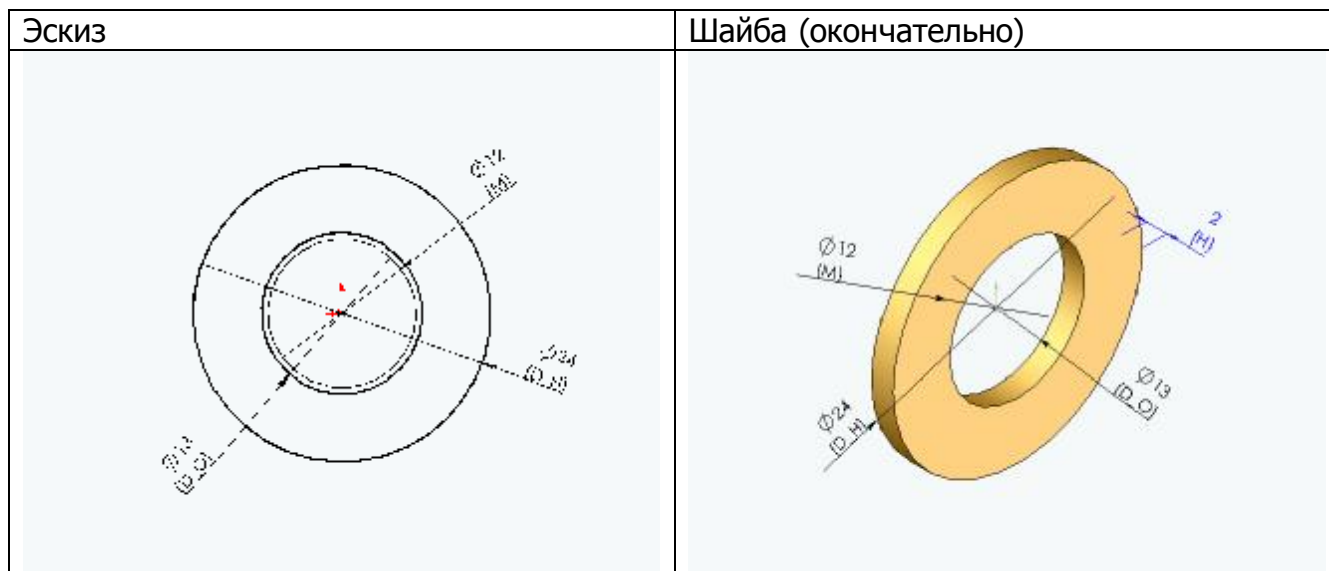


Рис. 32

Для шайбы построение еще проще, однако, для привязки к размеру резьбы на эскизе для вытягивания (см. ниже) придется ввести вспомогательную окружность (показана пунктиром, размер которой соответствует размеру резьбы).

Таблица 8



В данном случае размеры в уравнениях определяются размером невидимой окружности. Использование таких невидимых элементов может служить альтернативой отсутствующей в Solid Works возможности добавления промежуточных вспомогательных величин и уравнений.

После добавления уравнений на деталь, список зависимостей для шайбы имеет вид:

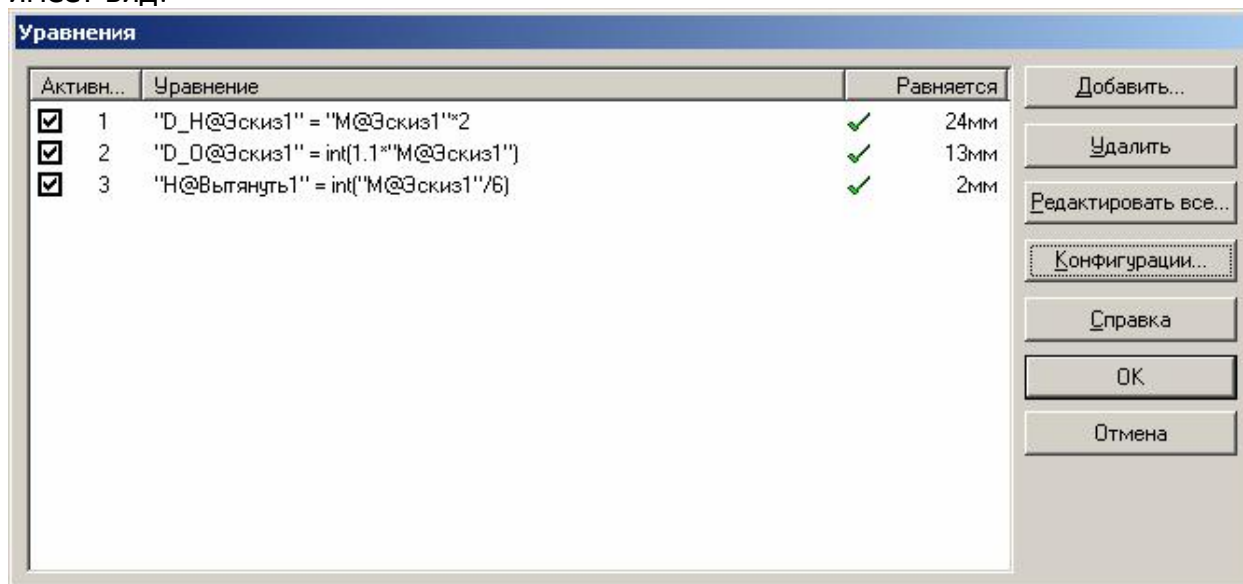


Рис. 33

Проектирование болтового соединения

Разработанные ранее элементы: болт, гайка и шайба могут служить основой для проектирования сборки – болтового соединения, как показано на Рис. 27. При проектировании сборки надо обеспечить кроме обычных сборочных взаимосвязей совпадение основного управляющего параметра – диаметра резьбы у всех трех

САПР ТО

компонентов сборки. Этой цели можно добиться, задав всего два уравнения, связывающие параметр М у гайки и шайбы с параметром М болта.

Исходная сборка с добавленными в нее моделями приведена на следующем рисунке. Болт имеет размер М12, шайба – М18, гайка – М20. Компоненты расположены соосно по оси, болт зафиксирован.

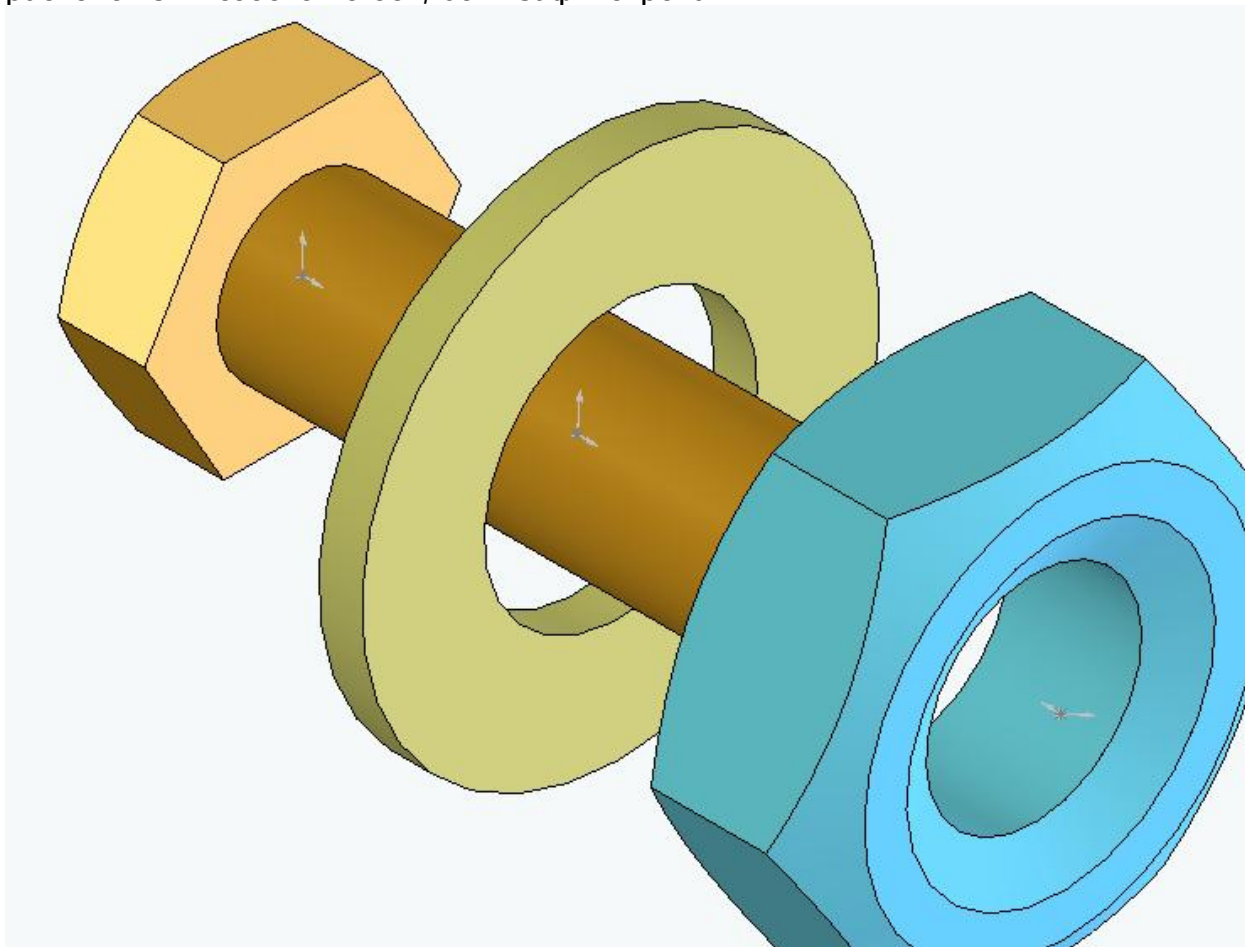


Рис. 34

Набор уравнений в сборке имеет вид:

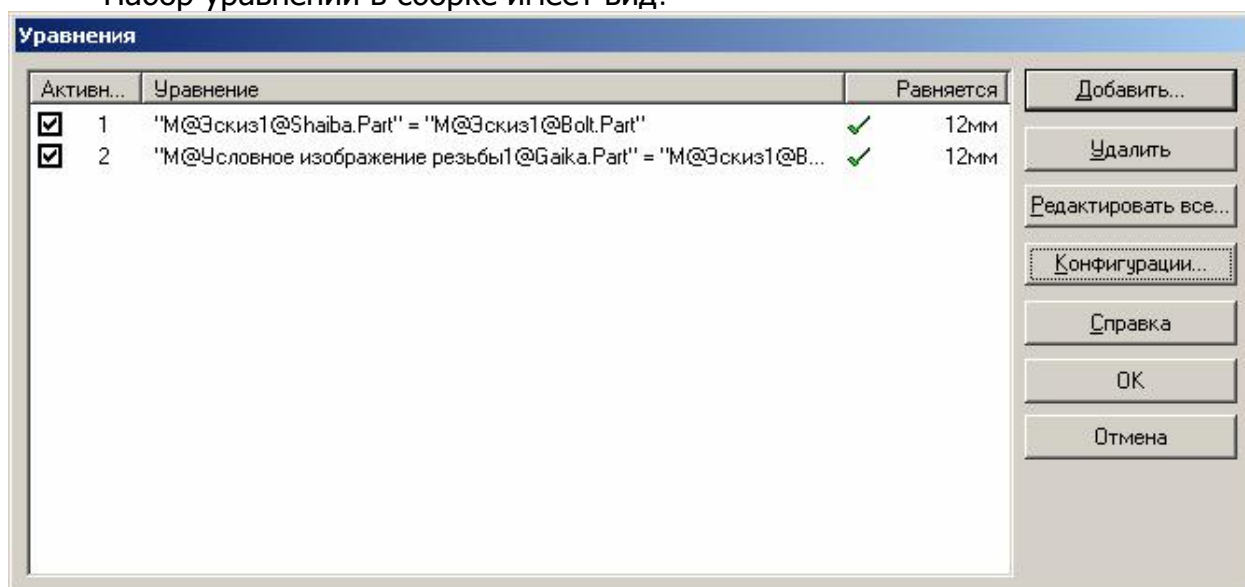


Рис. 35

В текстовой форме эти уравнения выглядят следующим образом:

Номер	Уравнение	Комментарий
1	"M@Эскиз1@Shaiba.Part" = "M@Эскиз1@Bolt.Part"	Значение параметра М шайбы совпадает со значением параметра М болта
2	"M@Условное изображение резьбы1@Gaika.Part" = "M@Эскиз1@Bolt.Part"	Параметр М гайки совпадает с параметром М болта

После добавления уравнений в сборку, перестройки сборки и добавления некоторых дополнительных сборочных взаимосвязей сборка примет вид:

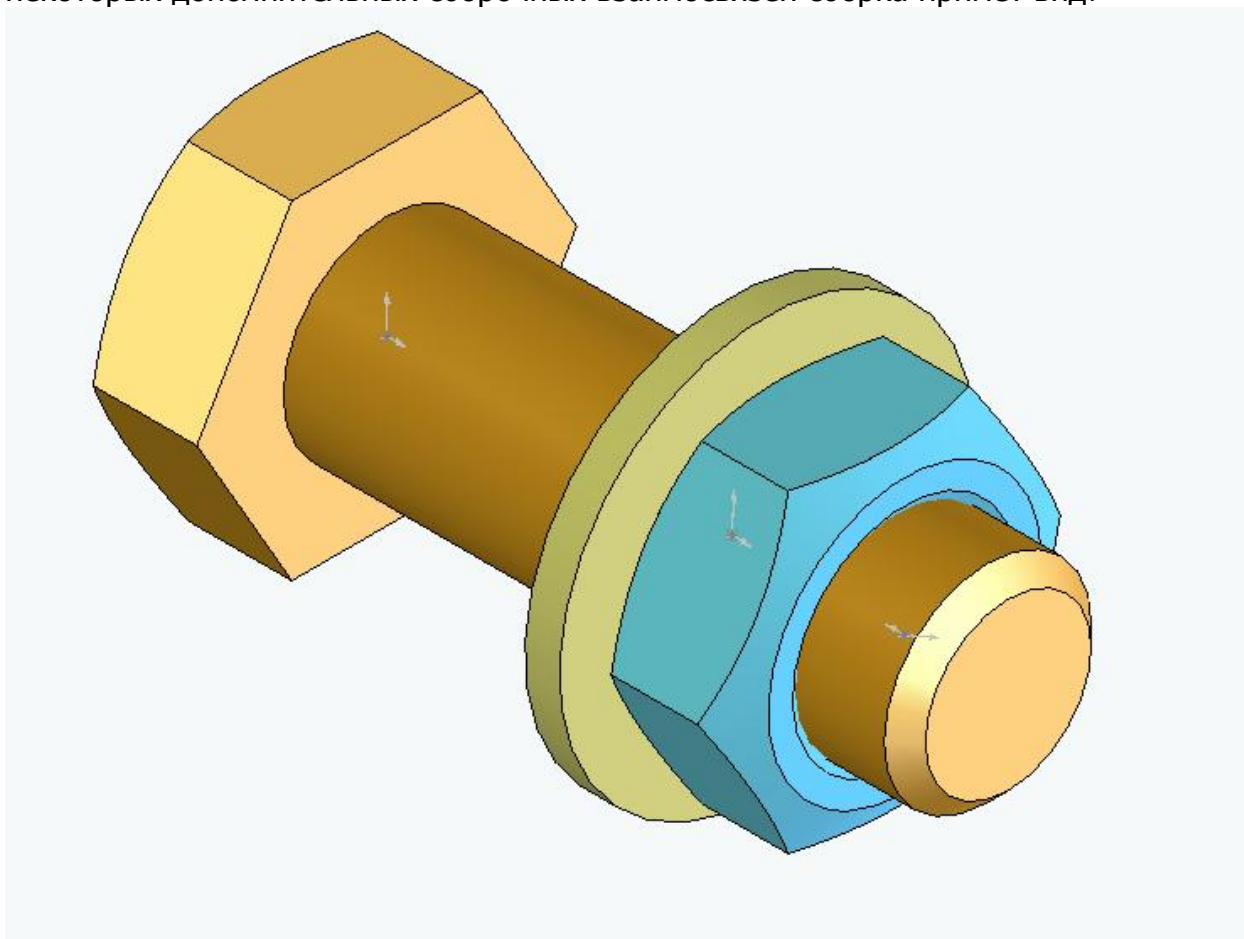


Рис. 36

При изменении размера М болта автоматически будут перестроены и размеры болта, и размеры шайбы, и размеры гайки, таким образом, оставленная при проектировании сборки задача выполнена.

Несмотря на то, что пример носит условный характер, он может служить иллюстрацией по добавлению уравнений в файлы моделей и сборок.

Проектирование быстросменной кондукторной втулки

Рассмотрим еще один пример – проектирование быстросменной кондукторной втулки для кондуктора, которая служит для направления сверла при производственной и обработке изделий при повышенных требованиях к точности.

Эскиз кондукторной втулки с основными параметрами приведен ниже:

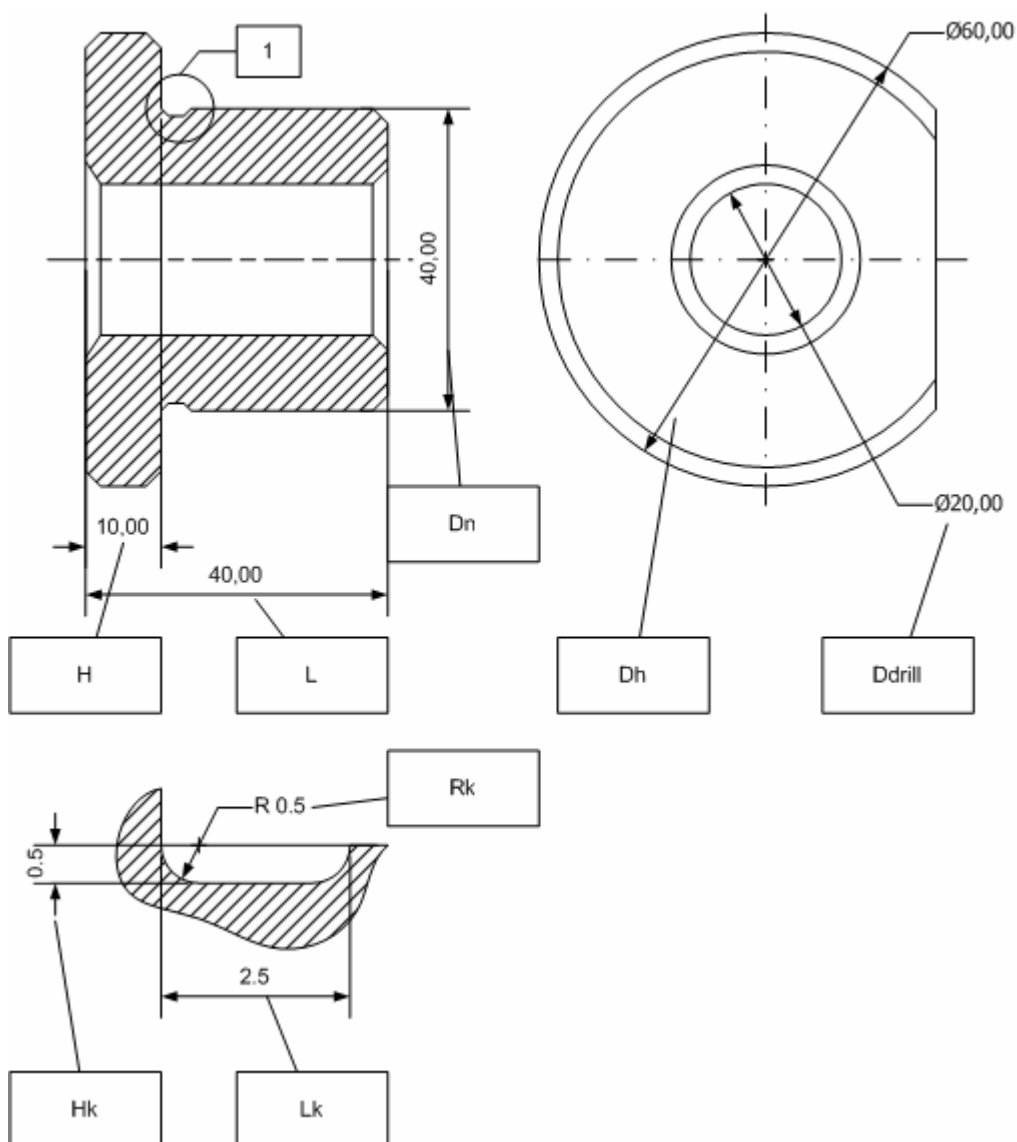


Рис. 37

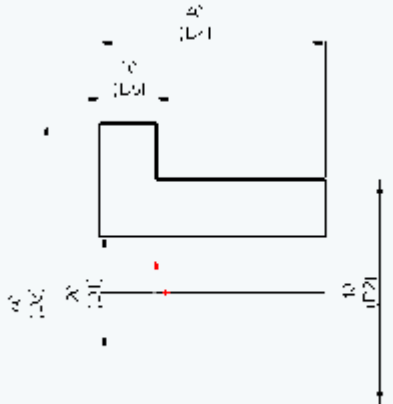
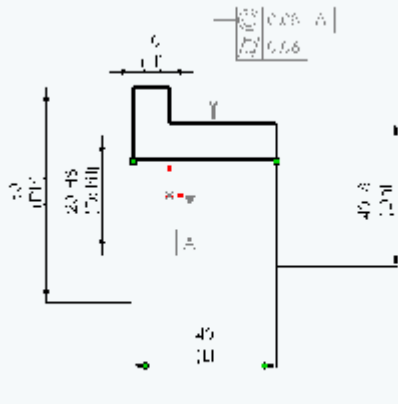
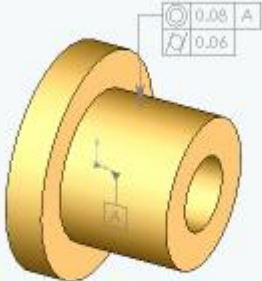
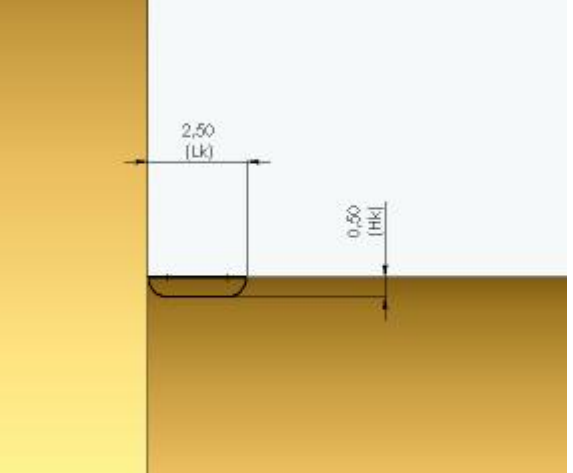
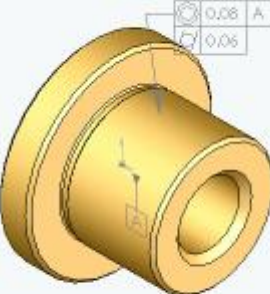
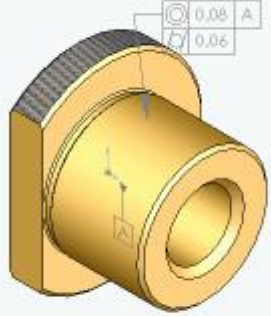
Смысл параметров очевиден из эскиза. Определяющим размером в данном случае является диаметр сверления (D_{drill}) основные размеры втулки (длина направляющей части L , посадочный диаметр D_n , диаметр головки D_h , высота головки H) как следует из рекомендаций по конструированию, пропорциональны указанному диаметру.

Размеры фасок и канавки принимаются конструктивно, пропорционально размерам втулки.

Длина направляющей части может меняться, исходя из конструктивных соображений, ее точное значение можно установить вручную, отменив или отредактировав соответствующее уравнение.

Процесс проектирования приведен в виде эскизов на следующей таблице:

Таблица 9

Эскиз профиля	Эскиз с именованными размерами и требованиями по точности
	
Втулка	Эскиз профиля канавки
	
Втулка с канавкой и фасками	Срез под фиксирующий элемент и накатка
	

Спроектированная втулка готова для задания уравнений на размеры. Отметим, что срез для фиксации втулки от поворота выполнен так, что линия среза будет касательной к посадочному диаметру втулки, то есть не требует уравнения для задания своих размеров. Не следует усложнять модель, если

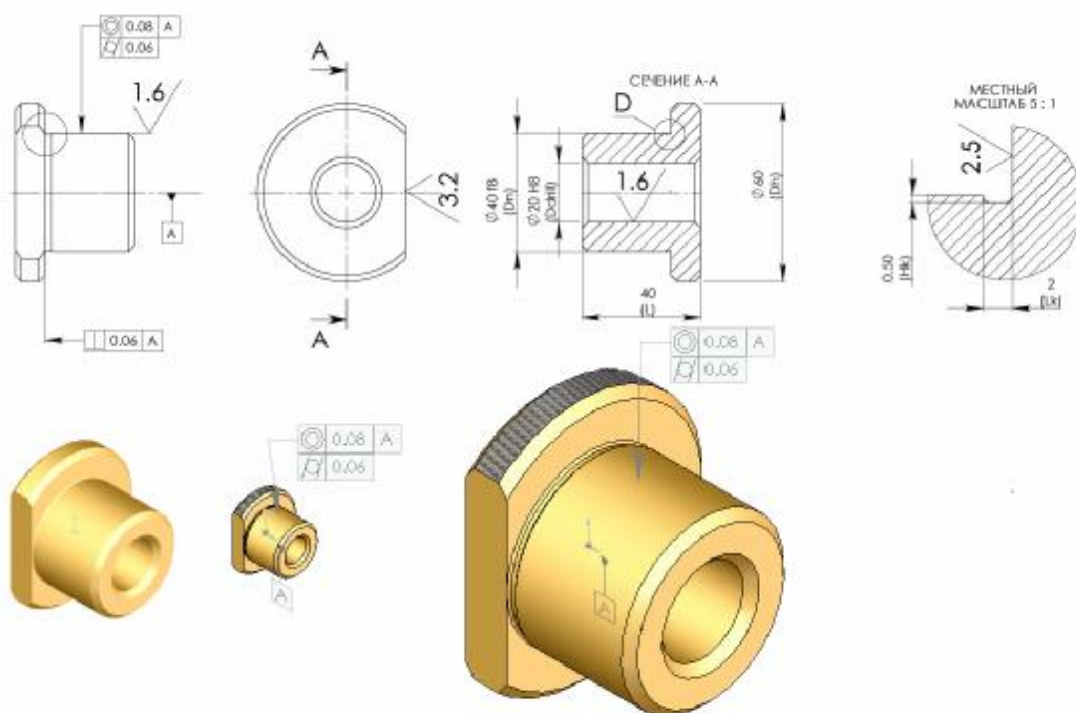
существуют более простые способы для достижения своих целей. Чем проще модель, тем меньше возможностей для ошибок.

Дальнейшая работа аналогична предыдущим примерам – на зависимые размеры накладываются взаимосвязи, что приводит к следующему набору уравнений, определяющих размеры втулки:

Активн...	Уравнение	Равняется	Добавить...
<input checked="" type="checkbox"/>	"L@Эскиз1" = "Ddrill@Эскиз1"*2	✓ 40мм	Добавить...
<input checked="" type="checkbox"/>	"H@Эскиз1" = "Ddrill@Эскиз1"/2	✓ 10мм	Удалить
<input checked="" type="checkbox"/>	"Dn@Эскиз1" = "Ddrill@Эскиз1"*2	✓ 40мм	Редактировать все...
<input checked="" type="checkbox"/>	"Dh@Эскиз1" = "Ddrill@Эскиз1" * 3	✓ 60мм	Конфигурации...
<input checked="" type="checkbox"/>	"Lk@Эскиз2" = "L@Эскиз1"/20	✓ 2мм	Справка
<input checked="" type="checkbox"/>	"Hk@Эскиз2" = "Lk@Эскиз2"/4	✓ 0.5мм	OK
<input checked="" type="checkbox"/>	"D1@Фаска1" = "Dn@Эскиз1"/20	✓ 2мм	Отмена
<input checked="" type="checkbox"/>	"D1@Фаска2" = "Ddrill@Эскиз1"/10	✓ 2мм	

Рис. 38

Построим на базе приведенной модели чертёж (рамка и основная надпись не показаны):



На чертеже приведены также изометрические проекции различных типоразмеров кондукторных втулок.

Заключение

Возможность создания уравнений, которые создают зависимости между отдельными размерами модели или размерами отдельных компонентов в сборках – мощный и удобный инструмент, который весьма широко используется в различных САПР.

Несмотря на некоторые отличия, которые касаются, прежде всего, интерфейса (а значит – определяют доступность и удобство в использовании уравнений), схема работы с уравнениями примерно одинакова и заключается в использовании имен размеров как переменных в выражениях.

Существует также возможность создания также таблиц параметров, которые управляют конструкцией размеров в целом. Создание моделей управляемых параметрами, рассматривается в следующей работе.

Литература

1. Solid Works 2004, User manual, 2004 г., 680 стр.
2. Autodesk Inventor, User Reference, 2003 г., 590 стр.
3. Pro Engineer, Специальный справочник, Санкт-Петербург: Питер, 2001. – 752 стр.

Список иллюстраций

Рис. 2	6
Рис. 3	7
Рис. 4	8
Рис. 5	10
Рис. 6	11
Рис. 7	12
Рис. 8	13
Рис. 9	15
Рис. 10	15
Рис. 11	16
Рис. 12	17
Рис. 13	17
Рис. 14	18
Рис. 15	19
Рис. 16	20
Рис. 17	23
Рис. 18	24
Рис. 19	24
Рис. 20	25
Рис. 21	25
Рис. 22	26
Рис. 23	27
Рис. 24	27
Рис. 25	28
Рис. 26	30
Рис. 27	31
Рис. 28	34
Рис. 29	35
Рис. 30	37
Рис. 31	38
Рис. 32	40
Рис. 33	40
Рис. 34	41
Рис. 35	42
Рис. 36	42
Рис. 37	43
Рис. 38	44
Рис. 39	46

Список таблиц

Таблица 1	9
Таблица 2	21

САПР ТО

Таблица 3	31
Таблица 4	34
Таблица 5	35
Таблица 6	37
Таблица 7	38
Таблица 8	41
Таблица 9	45

Сведения о торговых марках

SolidWorks® является зарегистрированной торговой маркой SolidWorks Corporation.
FeatureManager® является общей зарегистрированной торговой маркой SolidWorks Corporation.

Feature Palette™ и PhotoWorks™ являются торговыми марками SolidWorks Corporation.

ACIS® является зарегистрированной торговой маркой Spatial Corporation.

FeatureWorks® является зарегистрированной торговой маркой Geometric Software Solutions Co. Limited.

GLOBEtrötter® и FLEXlm® являются зарегистрированными торговыми марками Globetrotter Software, Inc.

Остальные фабричные марки и названия продуктов являются торговыми знаками или зарегистрированными торговыми марками, принадлежащими их владельцам.