

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

Институт №7 «Робототехнические и интеллектуальные системы»

Кафедра №701 «Авиационные робототехнические системы»

Тихонов К.М., Воронин В.В.

Введение в САПР *T-FLEX CAD*

Учебное пособие по курсу «Современные информационные
технологии конструирования и моделирования динамики
многостепенных роботизированных объектов»

Москва, 2021 г.

Оглавление

Введение	3
1. Начало работы в <i>T-FLEX CAD</i>	13
2. Разработка параметрической 3D модели винта с полупотайной головкой по ГОСТ 17474-80	26
3. Создание 2D сборок.....	52
3.1. Вектор привязки	58
3.2. Формирование файла 2D сборки	62
3.3. Удаление невидимых линий на чертеже 2D сборки.....	64
4. Создание 3D сборок в <i>T-FLEX CAD</i>.....	69
4.1. Создание трёхмерных моделей в <i>T-FLEX CAD</i> . Основные операции ...	69
4.2. Создание сборочных 3D моделей в <i>T-FLEX CAD</i> . Основные операции.	89
4.3. Создание 2D чертежа по сборочной 3D модели	96
5. Создание параметрического зубчатого колеса с диалоговым окном для использования в сборке верхнего уровня	105
5.1. Обзор ГОСТ 13733-77.....	105
5.2. Формирование исходных данных для создания модели.....	111
5.3. Создание параметров (переменных), баз данных и связанные с этим вопросы	118
5.4. Переменные эвольвентного зацепления и построение профиля зубчатого колеса.....	139
5.5. Построение пространственной модели венца зубчатого колеса и его ступицы	147
5.6. Создание диалогового окна.....	159
Приложение 5.1. Переменные группы «Исходные данные»	170
Приложение 5.2. Переменные группы «Результаты расчета».....	170
Литература.....	171

Введение

В настоящее время проектирование практически любых конструкций, а тем более таких сложных, как многостепенные роботизированные комплексы, невозможно без применения современных информационных технологий – систем автоматизированного проектирования (САПР). Как правило, разработчики САПР предлагают комплексные решения, обеспечивающие как проектирование конструкций и создание рабочей конструкторской документации (*CAD – COMPUTER-AIDED DESIGN*), так и проведение необходимых расчетов (*CAE – COMPUTER-AIDED ENGINEERING*), отладку технологий изготовления (*CAM – COMPUTER-AIDED MANUFACTURING*), управление данными (*PDM – PRODUCT DATA MANAGEMENT*) и производством и др. В связи с этим, веянием времени стало создание систем управления жизненным циклом изделий (*PLM – PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT*) и, как следствие, создание *CALS*-технологий, обеспечивающих непрерывную информационную поддержку и единообразие способов управления процессами и взаимодействием всех участников на всех этапах жизненного цикла изделий (от формирования технического задания до утилизации). Очевидно, что *CALS*-технологии существенно повышают эффективность создания и эксплуатации сложных изделий. При этом следует признать, что российские предприятия используют в своём подавляющем большинстве технологии импортного производства.

Президент и Правительство РФ озабочены отстаиванием нашей страны в развитии передовых информационных технологий, свидетельством чего является запуск с 2019 г. национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [1, 2]. Кроме того, уже с 2014 г. РФ взят курс на импортозамещение продукции [3].

Указанные решения призваны обеспечить в числе первоочередных задач и переход на отечественные системы автоматизированного

проектирования и управления жизненным циклом изделий, в первую очередь – продукции военного назначения, поскольку это напрямую связано с обеспечением национальной безопасности нашей страны. Работа в этом направлении уже ведется, свидетельством чего являются введенные в эксплуатацию два государственных стандарта [4,5]. Вместе с государственными стандартами [6-10] в рамках ЕСКД они обеспечивают надежную и унифицированную основу для скорейшего создания и внедрения в практику предприятий РФ отечественных *CALS*-технологий.

Несмотря на сложность и объём поставленных задач, они решаются не с «чистого листа». В нашей стране разработано значительное количество первоклассных технологий, связанных с проектированием и поддержкой жизненного цикла изделий (см., например, обзор части таких технологий в специальном выпуске журнала «САПР и графика» №9 за 2020 год, [11]).

Что касается технологий, в первую очередь связанных с проектированием сложных изделий, остановимся здесь на отечественной системе *T-FLEX PLM*.

T-FLEX PLM разрабатывается компанией «Топ Системы» с 1992 г. В 2019 г. на IT-Форуме «Российские решения *T-FLEX PLM*» компанией презентована новая версия *T-FLEX PLM* 17. На рис. В.1 [12] представлен состав указанной технологии.

Система *T-FLEX PLM* предназначена для разработки и управления полным жизненным циклом изделий машиностроения, в том числе авиакосмической, судостроительной и других высокотехнологичных отраслей промышленности. Все компоненты *T-FLEX PLM* работают с взаимосвязанными данными, что обеспечивает возможность коллективной работы и целостность электронного «двойника» изделия: и рабочей конструкторской документации, и технологии, и расчетных моделей, и т.д. Особенностью *T-FLEX PLM* является возможность для пользователей

«наращивать» систему, создавая приложения на основе встроенных программных средств. Также важной особенностью *T-FLEX PLM* (конкретно, основного компонента – *T-FLEX CAD*) является тот факт, что он построен на ядре геометрического моделирования *PARASOLID* – базовой платформе для многих ведущих САПР, систем технологической подготовки производства и инженерного анализа, таких как *SOLIDWORKS*, *SOLID EDGE*, *NX*, *ABACUS*, *ANSYS CFD*, *FEMAP*, *FIDESYS* и др. Это обеспечивает возможность обмена данными с другими системами, в частности, поддерживает прямое чтение файлов из других *CAD*-систем. Такая возможность может стать очень ценной в случае импортозамещения и необходимости перевода цифровых моделей изделий на отечественную платформу.



Рисунок В.1

Для непосредственных разработчиков конструкций и технологической подготовки производства в *T-FLEX PLM* имеются:

- *T-FLEX CAD* – профессиональная параметрическая САПР для 2D и 3D моделирования и создания рабочей конструкторской документации (РКД) в соответствии с ЕСКД;
- *T-FLEX PDM* – система управления данными, связанными с конструкторской подготовкой производства;
- *T-FLEX DOCS* – система управления конструкторским, технологическим и организационным документооборотом;
- *T-FLEX ТЕХНОЛОГИЯ*, *T-FLEX НОРМИРОВАНИЕ* – системы для технологической подготовки производства;
- *T-FLEX АНАЛИЗ*, *T-FLEX ДИНАМИКА*, *T-FLEX ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ*, *T-FLEX ПРУЖИНЫ*, *T-FLEX ЭЛЕКТРОТЕХНИКА*, *T-FLEX ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ* – для решения широкого спектра задач в области механики, электротехники и электроники, а также стандартных конструктивных элементов.

Таким образом, использование *T-FLEX PLM* позволяет предприятию создать защищенное информационное пространство, оптимизировать конструкторско-технологический оборот и повысить эффективность взаимодействия подразделений, наладить учет и контроль при работе с документацией, сократить сроки разработки новых изделий и т.д.

Основной, «несущей» средой любой *PLM* является *CAD*-система. Именно в ней создается электронный образ проектируемого изделия и его элементов, для которых разрабатывается РКД, реализуется документооборот, формируется технологический процесс производства и сборки, проводятся необходимые расчеты и т.д.

Какими возможностями сегодня обладает центральное звено *T-FLEX PLM* – *T-FLEX CAD*? В большой степени эти возможности определяются исходной идеей, положенной в основу первой версии тогда ещё двухмерной

системы *T-FLEX CAD 2D*. Идея эта – *ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ*. Первая версия рассматриваемой системы создавалась как средство для автоматизации подготовки чертежей, и разработчики использовали подход, который знаком каждому, кто хотя бы раз вручную создавал машиностроительный чертеж: сначала строится чертеж в тонких линиях, затем нужный контур обводится, а тонкие линии стираются (удаляются). Именно так решается задача создания чертежа в *T-FLEX CAD*. Роль тонких линий играют линии построения: прямые, окружности, эллипсы, сплайны. При построении они привязываются к системе координат и строятся либо в абсолютных координатах, либо в относительных, если наследуются от уже построенных линий. Все эти линии, если их специально не зафиксировать (задав относительные или абсолютные размеры или установив свойство «Зафиксированный»), обладают подвижностью. Очевидно, обладает подвижностью и созданный на основе этих линий контур: изменение положения и/или формы линий приводит и к соответствующему изменению контура. При этом можно, как и в других системах, создавать переменные для управления видом параметрической модели (размерная параметризация), но можно изменять её вид и без этих переменных, просто передвигая или деформируя линии построения (геометрическая параметризация). Важно понять, что создаваемый в *T-FLEX CAD* объект – параметрический *ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ*. В нем нет непараметрических элементов. Эти уникальные средства параметризации обеспечивают [15]:

- возможность использования геометрической или размерной параметризации для создания эскизов и чертежей, а также применения гибридной параметризации, объединяющей оба способа;
- редактирование переменных, создание и использование баз данных, графиков и диалогов управления моделью;
- поддержку конфигураций и исполнений;

- использование специализированных параметрических 2D и 3D-операций (тело по параметрам, параметрические массивы и др.), адаптивных фрагментов, 3D-коннекторов и 3D-манипуляторов для создания и управления моделью.

Кроме параметризации, *T-FLEX CAD* обладает очень высокой скоростью обработки данных, что делает его одной из самых эффективных систем проектирования в мире. *T-FLEX CAD* предоставляет также возможность коллективной работы над проектами, обладает инструментами создания 3D сборок изделий любой сложности практически без ограничений на количество деталей и глубину иерархии, поддерживает работу со ссылочной геометрией, позволяет комбинировать методы создания объектов «снизу-вверх» (от детали к сборке) и «сверху-вниз» (от сборки к детали).

Тот факт, что *T-FLEX CAD* создан на основе геометрического ядра *PARASOLID*, обеспечивает его хорошую интеграцию, в частности, с отечественным программным комплексом автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем *EULER*, предназначенным для анализа работы механических систем, включающих в себя сложную кинематику, большие перемещения, жесткие и деформируемые элементы конструкции, гидравлические, пневматические и электрические системы, системы управления и другие компоненты [16]. На рис. В.2 представлен вид в среде *EULER* модели авиационного катапультного устройства типа «ножницы» с массогабаритным макетом отделяемого груза. Эта модель в *EULER* создана на основе *CAD*-модели.

В свою очередь, *EULER* интегрирован с также отечественной технологией *SIMINTech* – средой динамического моделирования технических систем, предназначенной для расчётов и исследования работы систем управления сложными техническими объектами. *SIMINTech* осуществляет моделирование технологических процессов, протекающих в различных объектах, с одновременным моделированием системы управления и

позволяет повысить качество проектирования систем управления за счет проверки принимаемых решений на любой стадии проекта.

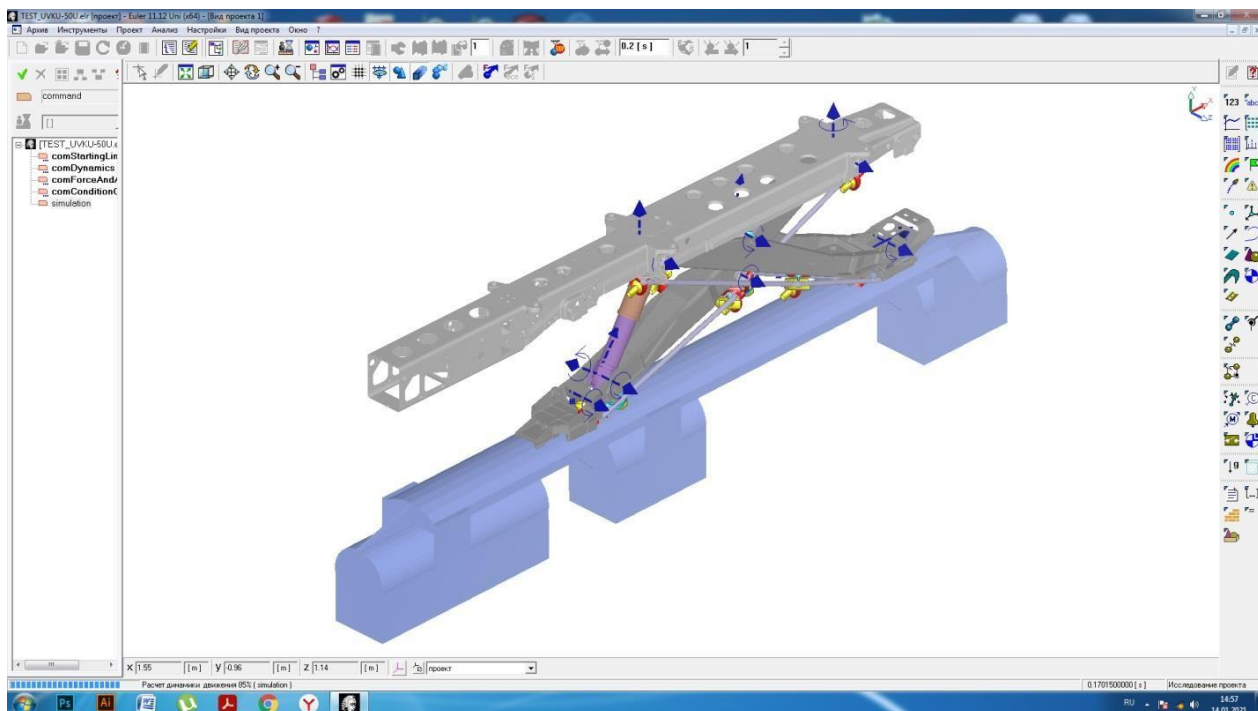


Рисунок В.2

SIMINTeCH предназначен [17] для детального исследования и анализа нестационарных процессов в ядерных и тепловых энергоустановках, в системах автоматического управления, в следящих приводах и роботах, т.е. в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических или разностных уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования. Программный комплекс *SIMINTeCH* в определенной мере является аналогом известной во всем мире технологии *SIMULINK*, работающей на платформе *MATLAB*, но в отличие от него, является самостоятельным и независимым приложением. На рис. В.3 представлена *SIMINTeCH*-модель системы управления отделением груза с авиационного катапультного устройства с качающимся цилиндром (пневмоприводом).

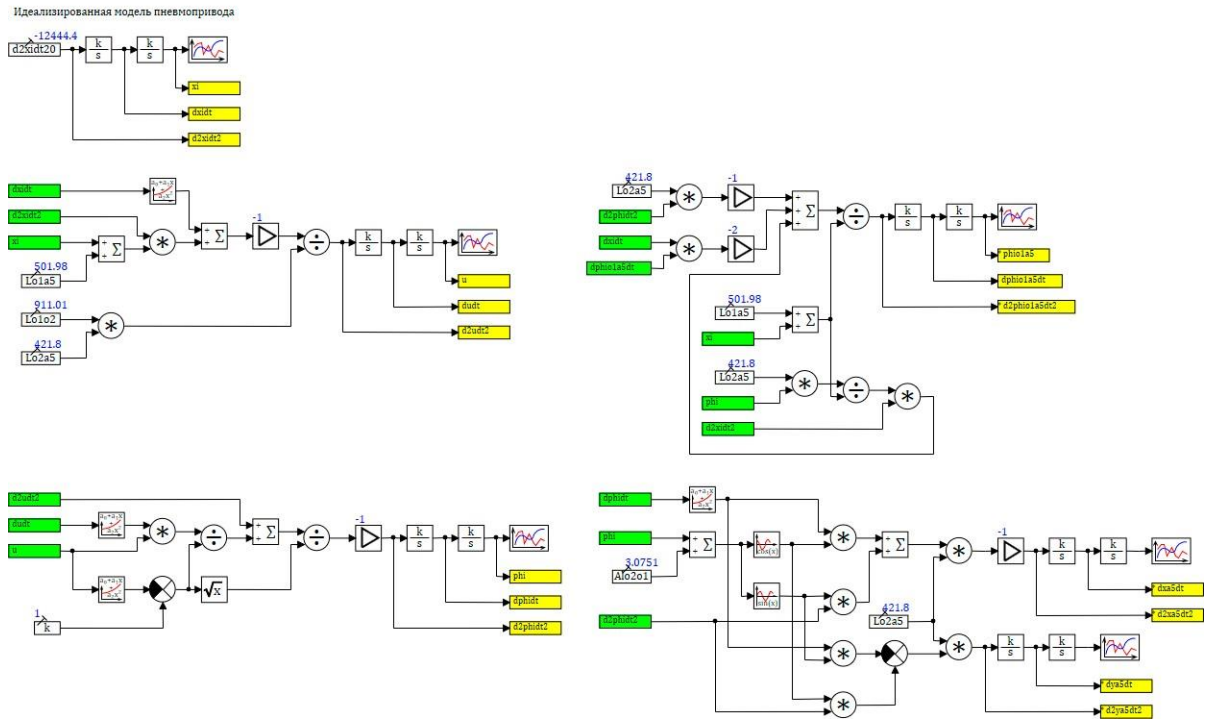


Рисунок В.3

Возможность интеграции указанных систем: *T-FLEX CAD*, *EULER* и *SIMINTeCH*, – может стать продуктивной основой для создания интегрированной инженерной программной платформы (ИИПП), тем более что компания «Топ Системы» имеет опыт участия в такой разработке (проект «Гербарий» российского Фонда перспективных исследований, 2015-2016 г.г., [18]). Под ИИПП понимается кроссплатформенная с открытым программным интерфейсом система, предназначенная для разработки моделей изделий, решения задач виртуального моделирования поведения изделий под воздействием различных внешних и внутренних факторов, проведения соответствующих расчётов и технологической подготовки производства. Предполагаемая структура ИИПП представлена на рис. В.4 [18].



Рисунок В.4

Понятно, что такая отечественная «суперсистема», обеспечивающая решение практически всех задач проектирования и создания новой техники, вплоть до проведения «виртуальных испытаний», является жизненно необходимой, особенно для крупных предприятий ОПК, где используется очень много различного инженерного ПО, как общего, так и специального назначения.

Настоящее учебное пособие представляет собой общее введение в среду *T-FLEX CAD* для лиц, никогда в этой среде не работавших, в первую очередь для студентов Института №7 МАИ «Робототехнические и интеллектуальные системы ЛА». В новом учебном плане по направлению подготовки 24.05.05 (специалитет) «Интегрированные системы ЛА» есть курс «Современные информационные технологии конструирования и моделирования динамики многостепенных роботизированных объектов». Именно для студентов, изучающих этот курс, в котором вопросы конструирования рассматриваются в опоре на *T-FLEX CAD*, в первую очередь предназначено это пособие. В нём на примерах, сложность которых постепенно возрастает, рассматриваются основные операции по созданию *2D* и *3D* деталей и сборок, чертежей, разъясняются основные принципы

параметризации. На примере мелко модульного зубчатого колеса показывается, как строится работа с базами данных, как правильно применять основные функции, обеспечивающие корректность отбора и передачи данных. В заключение сделан пример, показывающий как «поверх» параметрической модели создать диалог, обеспечивающий эффективный ввод и редактирование данных, а также перестроение как модели, так и созданного на её основе чертежа.

1. Начало работы в T-FLEX CAD

После запуска *T-FLEX CAD* открывается окно *Приветствие*, в котором устанавливается тип документа (см. рис. 1.1). Будем считать, что выбрано создание *2D* детали (*2D Деталь*).

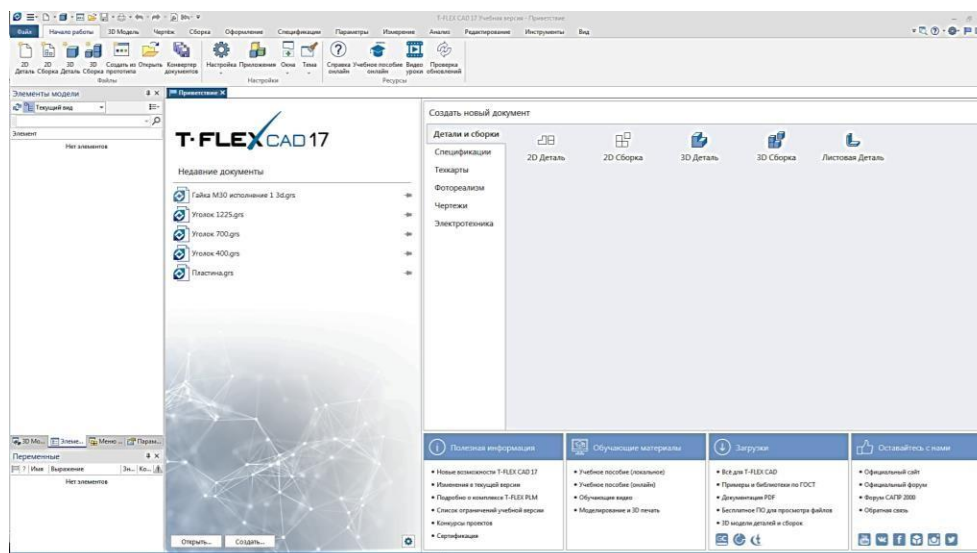


Рисунок 1.1

Следующий шаг состоит в том, чтобы установить, используя вкладку меню *Оформление* (см. рис. 1.2), параметры листа (его формат, ориентацию и масштаб, выделено красным контуром на рисунке).

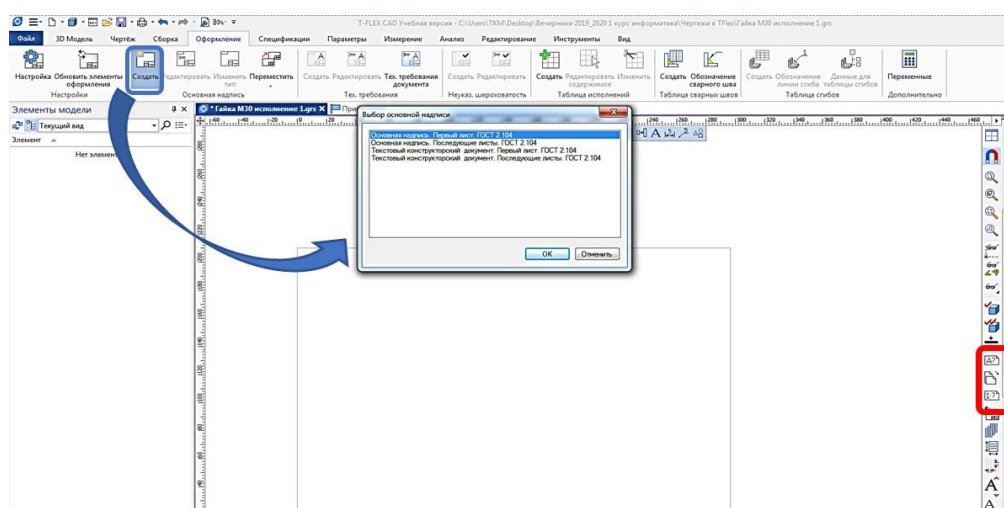


Рисунок 1.2

Далее, нажатием на кнопку *СОЗДАТЬ* (выделена синим контуром) активировать окно *Выбор основной надписи* и в нём выбрать верхнюю строку

Основная надпись. Первый лист ГОСТ 2.104. После этих операций открывается окно для заполнения штампа (основной надписи) (см. рис. 1.3). Штмп и надписи рекомендуется устанавливать до выполнения чертежа, так как это позволяет более рационально разместить все виды. Иначе можно столкнуться с необходимостью перемещать объекты после создания чертежа.

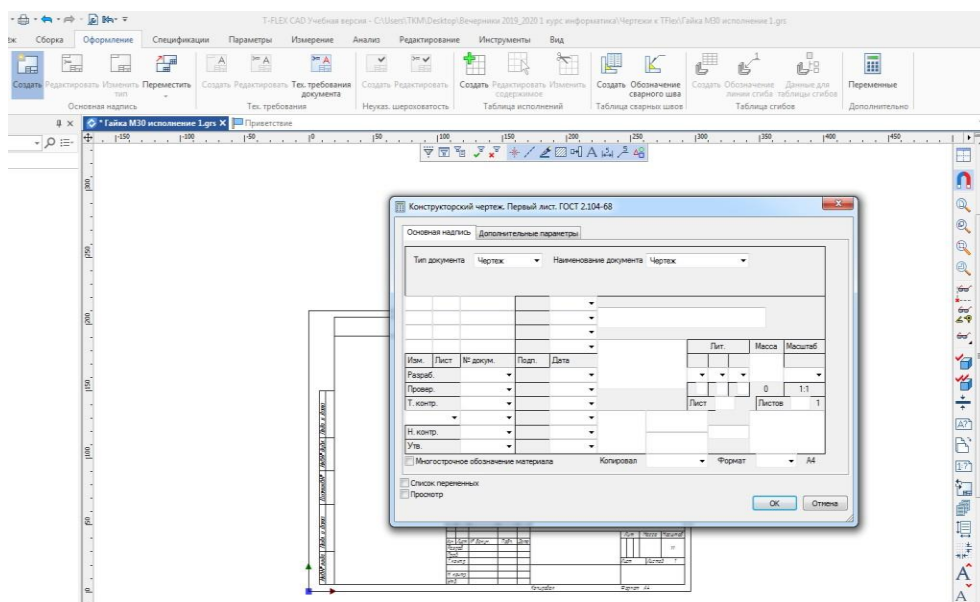


Рисунок 1.3

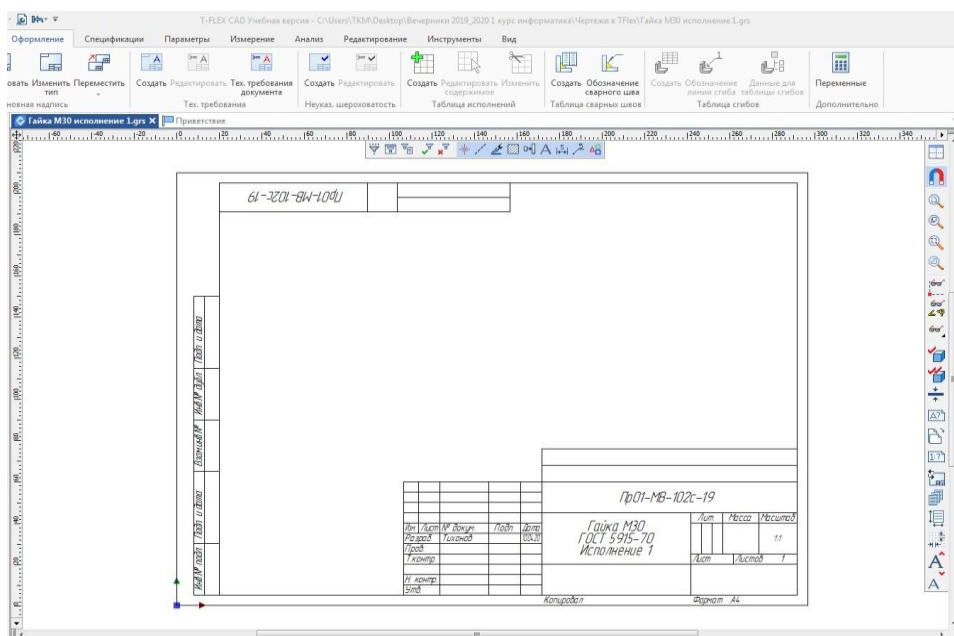


Рисунок 1.4

После указанных действий создаётся лист, готовый для выполнения на нём чертежа (см. рис. 1.4).

Рассмотрим основную вкладку, используемую при выполнении чертежа 2D-детали или сборки – *Чертёж* (рисунок 1.5) [19]. В ней содержатся различные инструменты для построения чертежа. Эти инструменты выделены контурами слева направо. Первая группа (контур синего цвета) объединяет Линии построения, те, которые определяют геометрию чертежа, взаимосвязь элементов, а также обеспечивают параметризацию. Вторая (красного цвета) обеспечивает собственно чертёж (обводку основного контура, оси, штриховку и др.). Третья (зеленого цвета) содержит команды для построения эскиза. Эта группа обеспечивает стиль создания 3D модели, присущий многим CAD-системам: от 2D эскиза к 3D модели. Важно понимать, что этот способ создания 3D модели НЕ ПОДДЕРЖИВАЕТ ПАРАМЕТРИЗАЦИЮ. Наконец, последняя группа (сиреневый контур) объединяет инструменты, связанные с обозначениями, предписываемыми ГОСТ (размеры, допуски и т.д.).

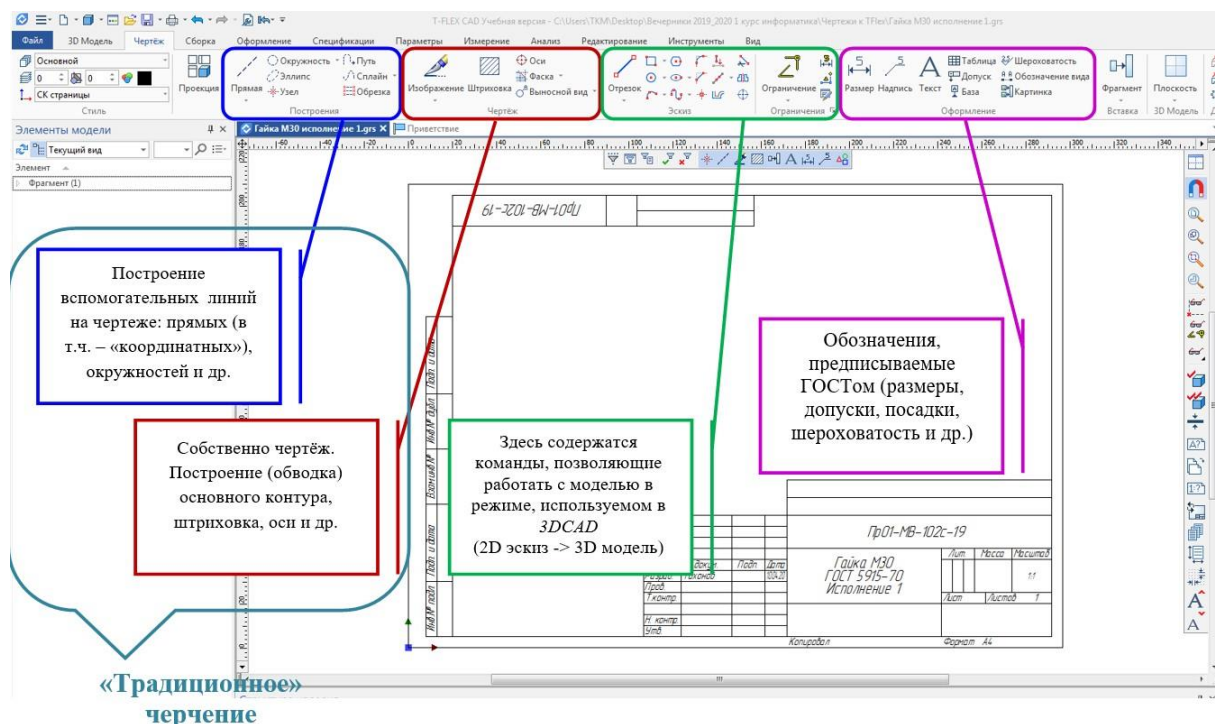


Рисунок 1.5

Рассмотрим теперь пример создания чертежа (2D модели) гайки. В соответствии с ГОСТ 5915-70 [20], у гайки может быть три исполнения (1 – с двумя фасками, 2 – на одной плоскости, 3 – с цилиндрическим основанием). На рисунке 1.6 показаны основные обозначения, используемые в ГОСТе.

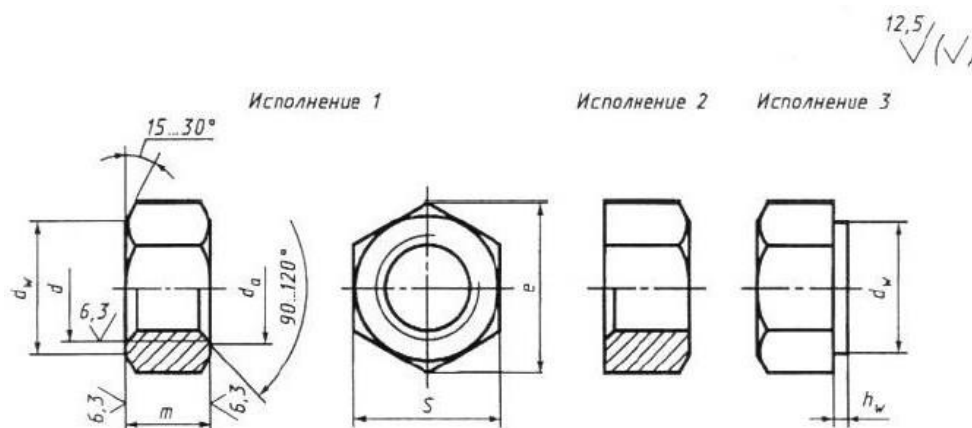


Рисунок 1.6

В таблице 1.1 представлены основные размеры (в мм) гайки М30 по ГОСТ 5915-70.

Таблица 1.1

d	d_w	d_a	S	e	t	шаг резьбы
30	≥ 42.7	$30 \leq d_a \leq 32.4$	46	50.9	25.6	3.5

Первым шагом в формировании чертежа будет создание «системы координат» (команда – *Прямая*, выбор – *Создать две перпендикулярные прямые*) (рисунок 1.7).

При создании двух перпендикулярных прямых необходимо задать координаты точки их пересечения («начало координат»). Эти координаты отсчитываются от точки, которая является началом «мировой» системы координат (0;0;0) и видна у левого нижнего угла листа. Текущие координаты точки пересечения отображаются на вкладке *Параметры прямой* (см. рисунок 1.8).

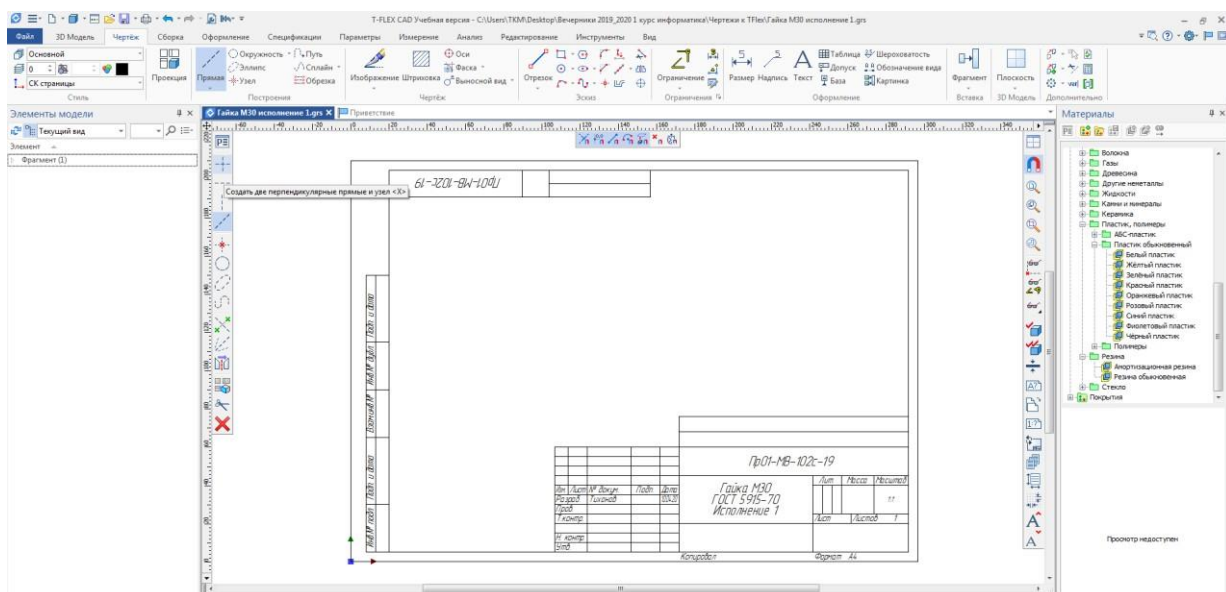


Рисунок 1.7

Прямые отображаются на листе взаимно перпендикулярными пунктирными линиями, точка пересечения знаком “×”(узел), а значения её координат – в полях вкладки *Параметры прямой* (выделено на рисунке синей рамкой). Можно установить значения приближённо (указателем мыши), можно точно – в полях *X* и *Y* (переключение полей – клавиша *Tab*). Выбор подтверждается клавишей *Enter* или щелчком левой кнопкой мыши.

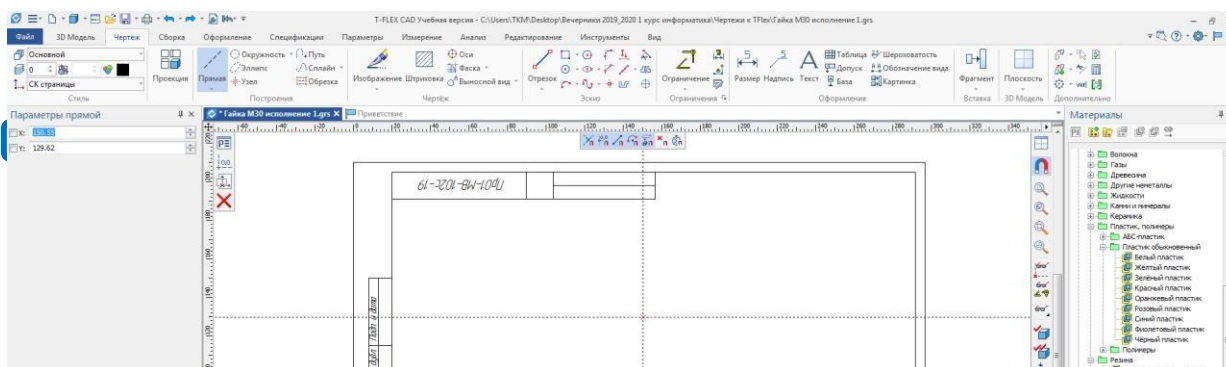


Рисунок 1.8

В данном случае установлены значения 150 (по горизонтали) и 130 (по вертикали). Такой выбор продиктован тем, что горизонтальная прямая будет использоваться как ось симметрии гайки (примерно в центре свободной рабочей области).

Созданную систему координат рекомендуется закрепить. Для этого необходимо подвести курсор к линии (она подсвечивается зелёным цветом),

щелкнуть правой кнопкой мыши и из контекстного меню выбрать команду, помеченную значком якоря. Такое действие нужно проделать для каждой из осей.

Далее проводится ряд построений, которые формируют облик гайки в виде спереди (правильный шестиугольник). На рисунке 1.9 показан результат построений.

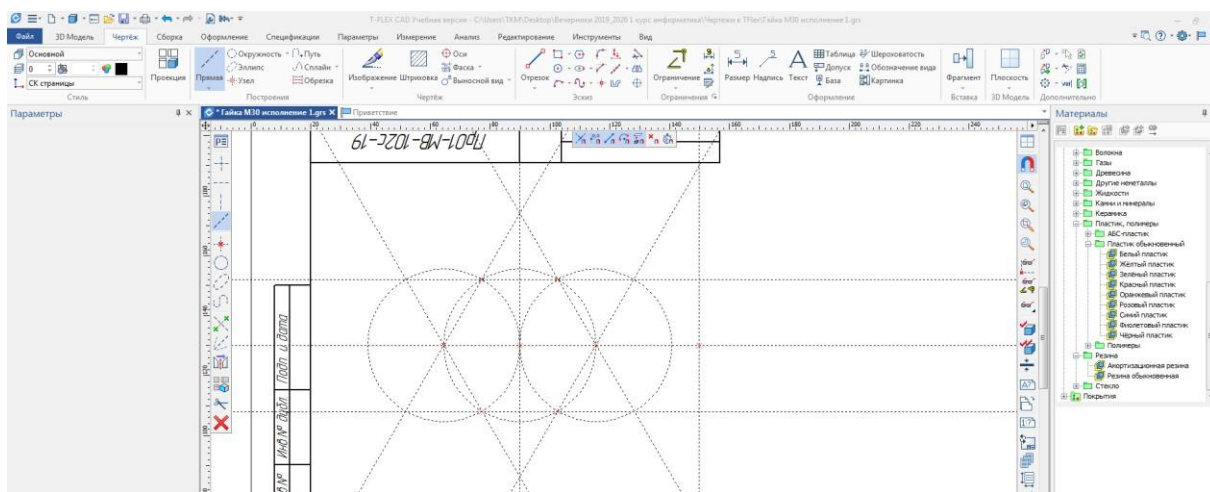


Рисунок 1.9

В приведённых построениях использованы инструменты: параллельная прямая (вертикальная ось симметрии гайки); окружность (диаметром 59,6 мм, равным величине e), две симметричные окружности с таким же диаметром, проходящие через центр первой (для создания вершин шестиугольника), и шесть прямых, проходящих через вершины (инструмент – *Прямая через два узла*), определяющих контур шестиугольника. Далее требуется построить ещё три окружности, соответственно диаметрами d (номинальный диаметр), d_a (внутренний диаметр резьбы, нужен для её обозначения на чертеже) и d_w (диаметр, по которому формируются фаски). Выберем в качестве значения диаметра для фасок величину, равную размеру под ключ S (т.е. это окружность, касательная к сторонам шестиугольника). Это допустимо, так как $46 > 42.7$.

На рисунке 1.10 представлен результат предварительных построений.

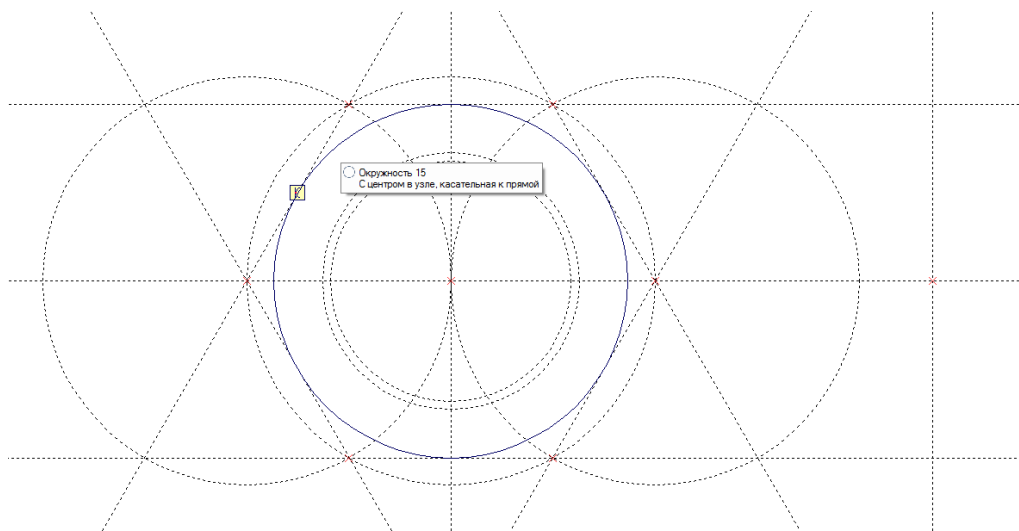


Рисунок 1.10

Две окружности (номинальный диаметр и внешний диаметр резьбы) строятся как *Окружность из центра* с заданием радиуса или диаметра (радиус или диаметр их задаются также, как и размер для прямой в соответствующих полях вкладки *Параметры элементов*). Окружность для формирования фасок (выделена на рисунке) – как окружность из центра, касательная к прямой. Очевидно, достаточно указать одну (любую) из сторон шестиугольника (в данном случае указана левая верхняя сторона).

Следующий этап – обводка чертежа. Для этого используется инструмент *Перо (Изображение)*. На рисунке 1.11 показаны параметры этого инструмента: основная линия, тонкая, волнистая, пунктир и т.д. Для каждой линии может быть установлена толщина, цвет и др. атрибуты. Обводка осуществляется линией основного контура, толщиной 0.6 мм (по умолчанию). Для обводки контура шестиугольника нужно, выбрав *Перо*, щелкнуть последовательно по его вершинам, замкнув контур. Обводка окружности осуществляется тем же инструментом. Для этого нужно выбрать точку на окружности (это не произвольная точка, а какой-либо узел на ней; в данном случае это точка касания окружности и левой нижней стороны шестиугольника), затем, немного отодвинув курсор, щелкнуть ещё по одной точке на окружности, после чего линия пойдёт за курсором точно по

окружности (кнопку удерживать в нажатом состоянии не требуется). Контур нужно замкнуть, щёлкнув по конечной точке (она же была и начальной).

На рисунке 1.11 представлена обводка контура.

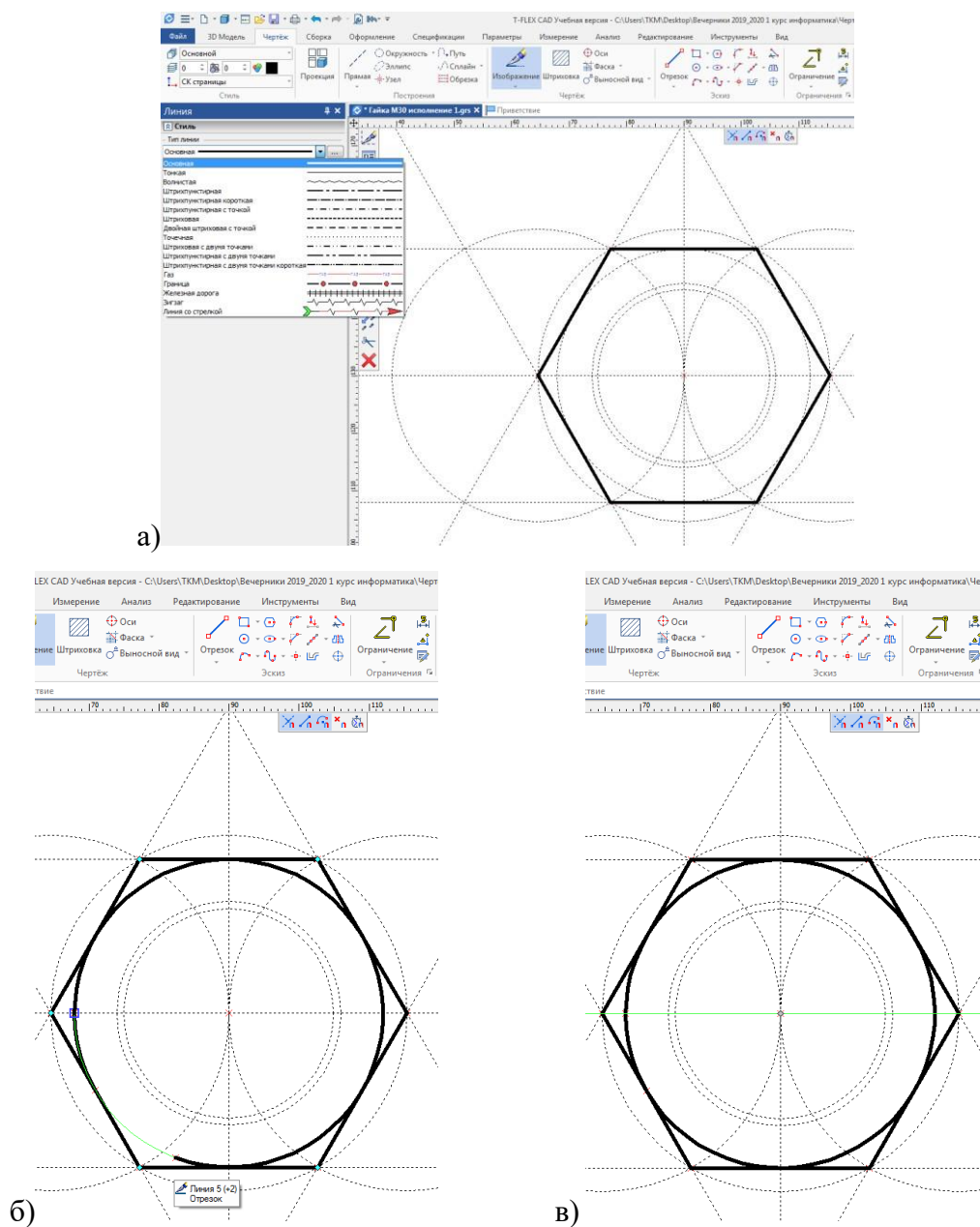



Рисунок 1.11

Таким же образом завершаем обводку. Для обводки резьбы, так как она по ГОСТу должна быть указана примерно на $\frac{3}{4}$ окружности, строим две вспомогательные прямые, определяющие начало и конец обводки. Для резьбы выбирается *Тонкая линия*. Вид полностью обведённого чертежа переднего вида гайки показан на рисунке 1.12. Там же показаны и оси

симметрии. Отметим, что все вспомогательные линии погашены (для этого на правой панели нужно нажать кнопку с очками ).

На рисунке 1.12 представлена установка осей симметрии на чертеже (красным кружком выделен соответствующий инструмент).

Для обозначения осей окружности нужно выбрать инструмент и щелкнуть по окружности (в данном случае – наибольшего диаметра, так как все окружности соосны). Как видно на рисунке 1.12а, оси не выходят за габарит шестигранника, что неверно. Поэтому удлиним их добавлением симметрии боковых сторон (см. рис. 1.12б: выбирается другой инструмент). Таким образом, чертёж приобретает вид, представленный на рис. 1.12в.

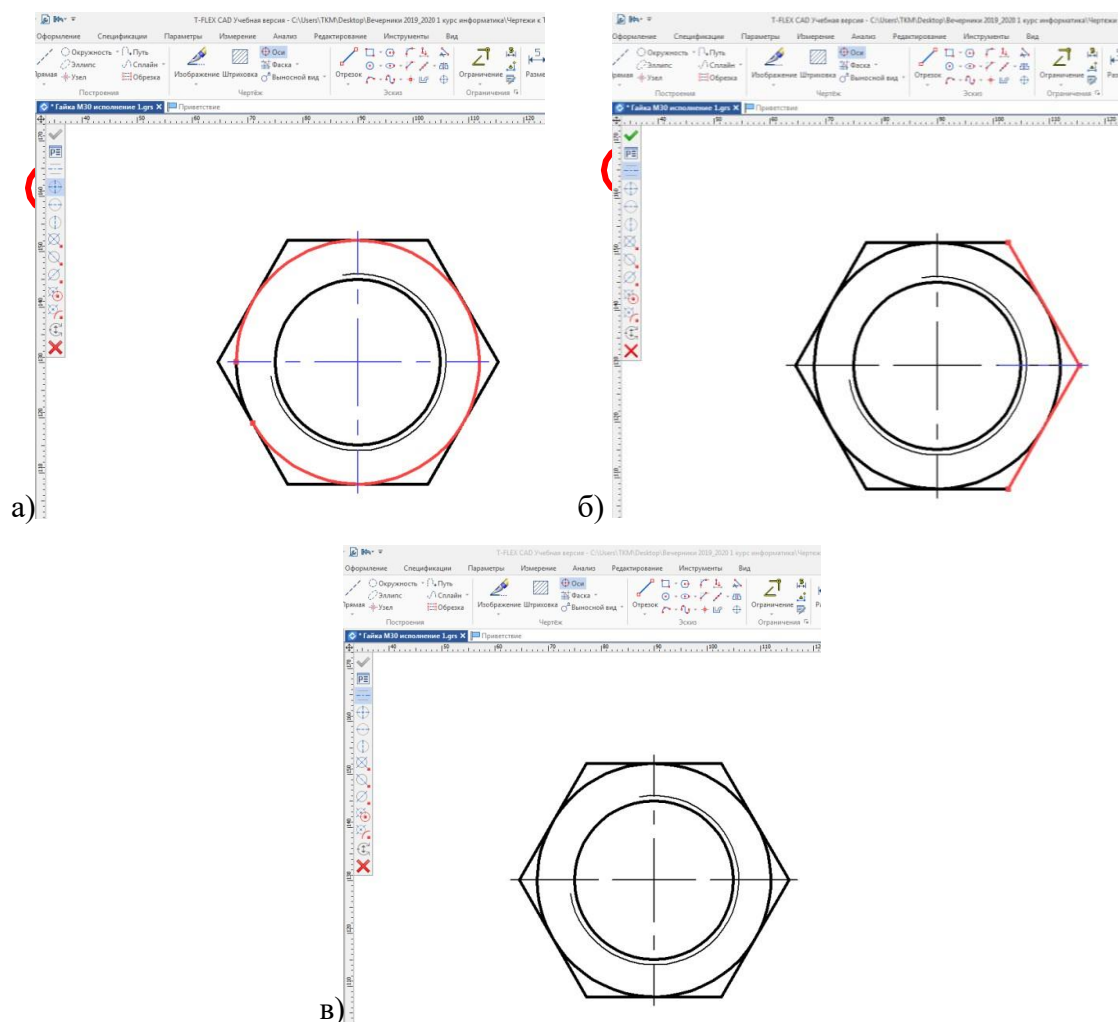


Рисунок 1.12

Перейдём теперь к построению совмещённого вида *Слева* и разреза. Эта модель, очевидно, наследует размеры построенного вида *Спереди* (отметим, что линии построения имеют «бесконечную длину»).

На рисунке 1.13а показан начальный этап построения. Построены две вертикальные линии, отстоящие одна от другой на величину, равную высоте гайки (см. размер 25.6 мм). Таким образом сформирован прямоугольник, определяющий габаритные размеры вида.

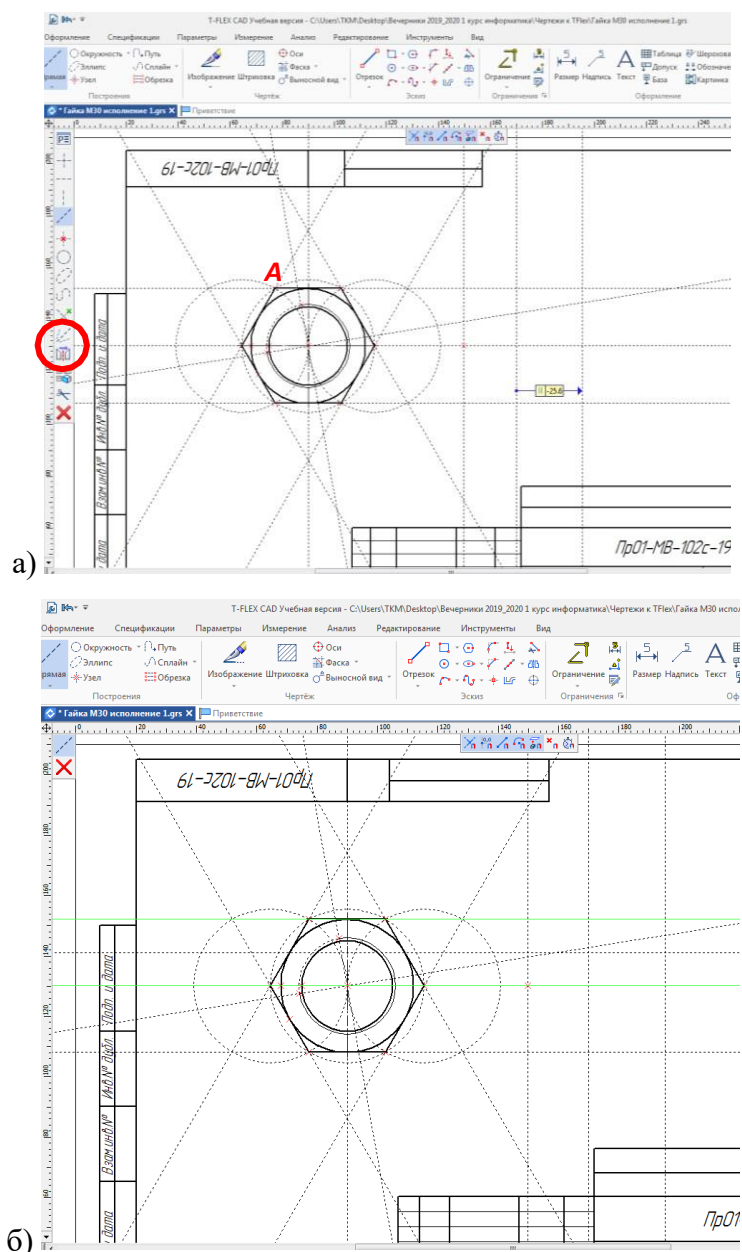


Рисунок 1.13

Будем использовать верхнюю половину этого прямоугольника для создания вида, а нижнюю – для создания половины разреза. В верхней части

нам нужно построить линии, которые являются следом фаски, а в нижней – показать внутреннюю часть гайки с обозначением резьбы.

Для построения линии от фаски (её кромки, образующейся как результат пересечения конуса и плоскости) воспользуемся инструментом *Сплайн*. Отметим, что точка касания кромки фаски и передней плоскости лежит в этой плоскости (так мы выбрали диаметр: окружность, определяющая фаску, касается граней гайки), и является вершиной гиперболы, которую фаска образует в плоскости каждой грани. Через эту вершину проходит ось симметрии грани. Поэтому построим горизонтальную линию симметрии верхнего прямоугольника. Процесс проиллюстрирован рис. 1.13а (выбор инструмента) и 1.13б (зелёным выделены две выбранные прямые, а между ними построена их ось симметрии).

Для построения крайних точек сплайна необходимо определить, на какое расстояние от передней плоскости смещена точка А (см. рис. 1.12а). Считаем, что фаска построена под углом 30° . Рисунок 1.14 иллюстрирует данные вычисления.

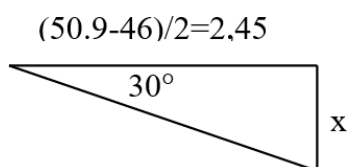


Рисунок 1.14

Очевидно, что искомое значение x (определённое через тангенс 30 градусов) равно ≈ 2.45 мм. Строим соответствующую прямую на втором виде. Далее строим сплайн, что проиллюстрировано на рисунке 1.15. На рис. 1.15а показано построение трёх узлов. В принципе, построение узлов не является обязательным. Они и так автоматически создаются при появлении пересечения линий. В данном случае они построены для наглядности. Далее выбирается инструмент *Сплайн*, выбираются указанные узлы (только последовательно, сверху вниз или снизу вверх) и подтверждается выбор

(после выделения последней точки около неё появится значок, по которому надо щёлкнуть левой кнопкой). Вид значка интуитивно понятен.

Процесс проиллюстрирован на рисунке 1.15б, а на 1.15в представлен результат обводки.

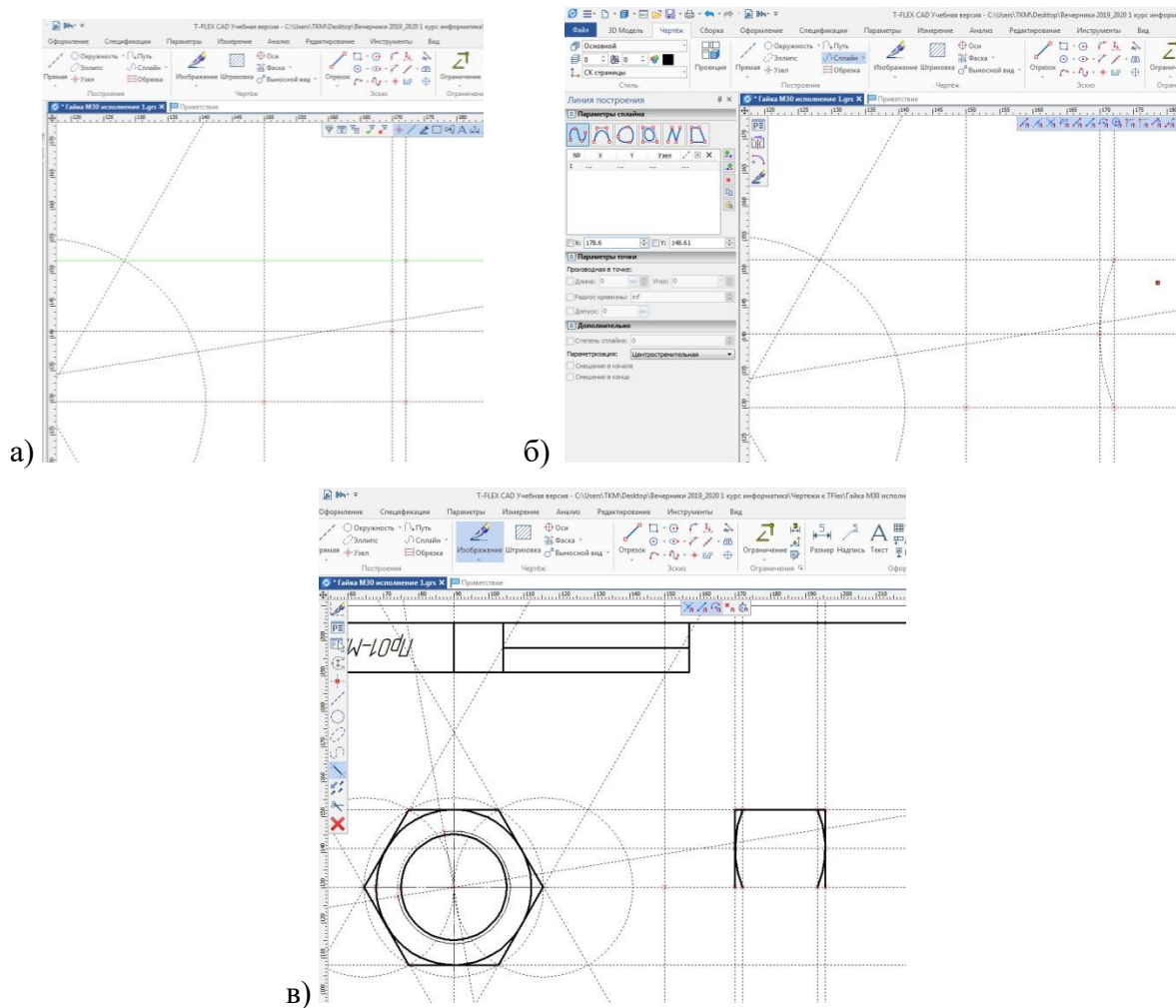


Рисунок 1.15

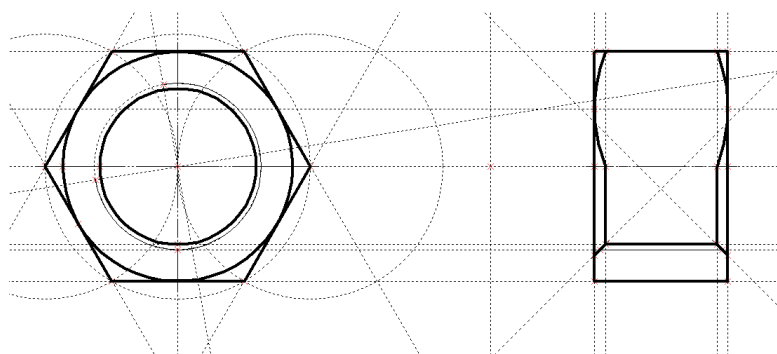


Рисунок 1.16

На рисунке 1.16 представлены завершающие построения (без штриховки). Построены две вспомогательные горизонтальные прямые,

связанные с номинальным диаметром и внутренним диаметром резьбы, а также две прямые под углом 45° для построения внутренних фасок. Обведён нижний контур основной линией и резьба – тонкой.

На рисунке 1.17 продемонстрирована штриховка сечения. При осуществлении штриховки нужно выбрать соответствующий инструмент (выделен на рисунке), установить параметры штриховки (левая часть – *Основные параметры*): в данном случае штриховка – металл, наклон 45° , шаг – 2 мм. Важная часть – выбор контура. Как только установлены параметры штриховки, система переходит в режим выбора контура. Этот выбор похож на обводку, только выделяется синим цветом. Контур надо замкнуть. Если это так, то область заштриховывается и ждёт подтверждения (та самая кнопка, вид которой интуитивно понятен).

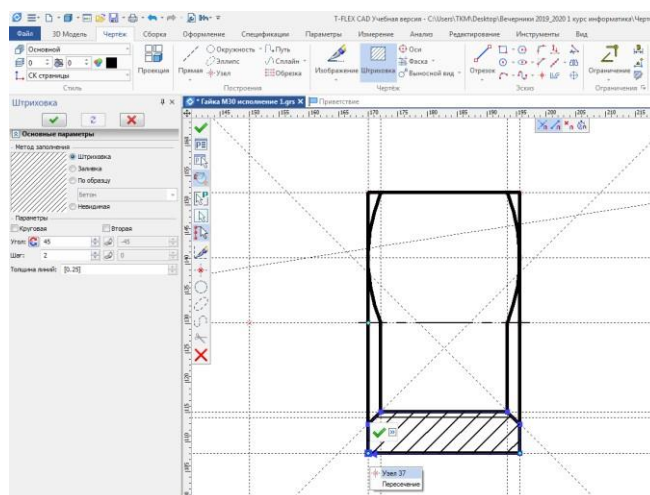


Рисунок 1.17

Окончательный вид чертежа гайки (без размеров) представлен на рисунке 1.18.

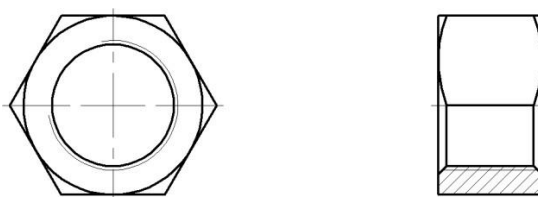


Рисунок 1.18

2. Разработка параметрической 3D модели винта с полупотайной головкой по ГОСТ 17474-80

T-FLEX CAD по определению является параметрической средой проектирования. Это связано с заложенной в него ещё при 2D черчении наличием линий построения. Эти линии строятся в заданной системе координат, а это значит, что каждой линии соответствует некоторая совокупность чисел (определяющих координаты её элементов). Координаты разных линий могут определяться независимо друг от друга (т.е. в мировой системе координат), но могут определяться и как зависимые, в относительных координатах (это происходит, например, когда одна прямая строится в зависимости от другой). Таким образом, даже не вводя в контекст документа *переменные (идентификаторы)*, пользователь создаёт *параметрическую модель* (параметризация без программирования). Тем более это верно, когда в процессе создания модели пользователь вводит некоторые переменные, связывая их с числовыми значениями (например, с координатами создаваемой точки как пересечения двух прямых). Как только это сделано, появляется возможность, не перестраивая вручную модель, изменять её конфигурацию за счёт изменения числовых значения введённых переменных. Значения переменных могут изменяться непосредственно, но могут определяться и формулами, причём сложными и альтернативными (в зависимости от условий). В этом случае речь уже идёт о параметризации с программированием, что существенным образом расширяет возможности создания сложных моделей и их семейств и т.д. Говорят, что переменные «...позволяют создавать различные негеометрические взаимосвязи между элементами...» модели. С помощью переменных в том числе можно управлять цветом элементов модели, их видимостью и т.д.

Итак, при параметризации *роль параметров*, управляющих конфигурацией и свойствами модели, *выполняют* введённые в контекст документа *переменные*.

Основными способами создания переменных являются:

- 1) с использованием редактора переменных;
- 2) при задании и редактировании параметров линий построения.

Как правило, переменные вводятся в контекст документа в процессе создания линий построения, а затем уже могут редактироваться.

Основные характеристики переменной – это уникальное имя и выражение, по которому вычисляется значение переменной. Кроме того, переменная может быть внутренней или внешней. Внешняя переменная доступна из других документов *T-FLEX CAD*, внутренняя – только в своём документе.

Как и в других системах программирования, для переменных в *T-FLEX CAD* установлены правила синтаксиса имён (идентификаторов): используются буквы (русские и латинские, причём *имеет значение регистр*), цифры, символ подчёркивания «_». Переменная может относиться к одному из двух predetermined типов данных: вещественному (двойной точности) или текстовому, при этом признаком текстовой переменной является символ \$ в начале имени.

Неотъемлемым элементом программирования являются *выражения*, состоящие из операндов (вещественных и (или) текстовых констант и переменных) и операций (арифметических, логических). Кроме того, *в выражениях могут использоваться функции* (математические, функции преобразования и функции работы с базами данных).

Полный перечень функций содержится в [21], «Приложение 1. Правила написания выражений. Функции работы с переменными».

Важную роль параметризация играет при создании моделей деталей, которые имеют подобную форму, но различаются размерами. Это часто встречается в стандартных деталях, например, в крепеже, в подшипниках, в различного вида стандартизованных опорах, фланцах и др.

Рассмотрим создание параметрической модели на примере винта с полупотайной головкой.

В таблице 2.1 представлены данные винтов с полупотайной головкой, исполнение 1 (ГОСТ 17474-80, [22]). Отметим, что в данной таблице представлены параметры винтов только с номинальным диаметром резьбы не менее 2 мм. Исполнение 1 определяет винт под шлицевую отвёртку. Размеры шлицев соответствуют ГОСТ 24669-81[23]. Чертёж винта представлен на рисунке 2.1.

Таблица 2.1. Размеры винтов

Диаметр резьбы	Шаг резьбы	Длина винта*	Диаметр головки	Высота потайной части головки, не более	Высота сферы	Радиус сферы	Длина резьбы	Ширина шлица	Глубина шлица
(все размеры – в мм)									
ГОСТ 17474-80								ГОСТ 24669-81	
<i>d</i>	<i>P</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>k</i>	<i>f</i>	<i>R₁</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>H</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0,4	3...20 (10)	3,8	1,2	0,5	4,2	10	0,5	0,6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,5	0,45	4...25 (12)	4,7	1,5	0,6	5,4	11	0,6	0,7
3	0,5	4...30 (14)	5,6	1,65	0,75	6	12	0,8	0,9
3,5	0,6	5...35 (16)	6,5	1,93	0,9	6,8	13	0,8	1
4	0,7	5...40 (16)	7,4	2,2	1	8	14	1	1,2
5	0,8	6...100 (40)	9,2	2,5	1,25	9,4	16	1,2	1,5
6	1	8...100 (40)	11	3	1,5	12	18	1,6	1,8
8	1,25	10...10 0 (45)	14,5	4	2	15	22	2	2,3
10	1,5	12...10 0 (50)	18	5	2,5	19	26	2,5	2,7
12	1,75	14...10 0 (50)	21,5	6	3	22,5	30	3	3,2
14	2	25...10 0 (60)	25	7	3,5	26	34	3	3,6
16	2	30...10 0 (60)	28,5	8	4	30	38	4	4
18	2,5	35...11 0 (65)	32,5	9	4,5	34	42	4	4,5
20	2,5	40...12 0 (75)	36	10	5	38	46	5	5

* - в скобках указано значение длины из нормального ряда, ближайшее к среднему значению диапазона длин

Как видно из таблицы, длина винта для каждого номинального значения диаметра резьбы лежит в широком диапазоне. Для удобства

возьмём для каждого значения диаметра одно значение длины, наиболее близко расположенное к её средней величине для соответствующего диапазона. Отметим также, что по умолчанию используется резьба с крупным шагом.

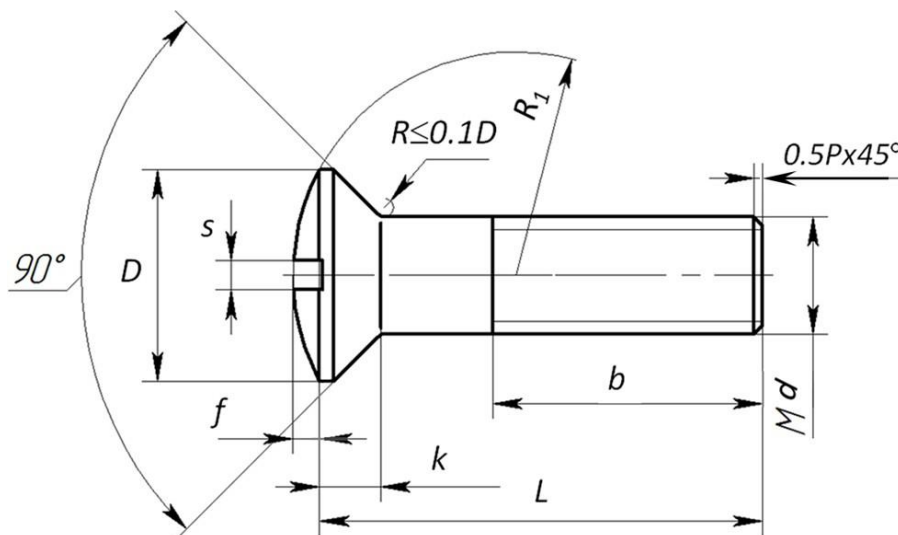


Рисунок 2.1. Общий вид винта

При создании параметрической модели винта в качестве идентификаторов будем использовать обозначения, указанные в таблице и на рисунке 2.1. Отметим, что размеры D , f и R_1 между собой связаны, что поясняет рисунок 2.2. Поэтому, если независимо задавать все три эти размера, построение головки винта становится затруднённым. Правильно будет, если задавать два из них, а третий рассчитывать. Будем задавать размеры D и f , а размер R_1 – определять в зависимости от них.

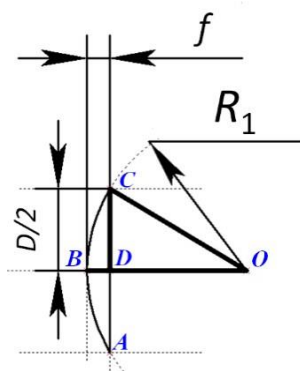


Рисунок 2.2. Связь размеров D , f и R_1

Как видно на рисунка 19 $R_1 = OC; R_1 = OB = OD + DB; R_1 = f + \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$.

Перенесём f в левую часть, возведём обе части в квадрат, приведём подобные члены и найдём выражение для R_1 : $R_1 = \frac{4f^2 + D^2}{8f}$. Например, для номинального диаметра 10 мм получим величину R_1 , равную 17,45 мм, отличающуюся от табличного значения.

Итак, приступим к созданию параметрической 3D модели винта как тела вращения. Для этого в плоскости *Вид СПЕРЕДИ* построим профиль половины винта без фаски и скругления. Фаску, скругление и шлиц выполним уже на 3D модели. Профиль строим в локальной плоской системе координат (ЛСК), совпадающей с системой xOz мировой системы.

На рисунке 2.3 показан первый шаг по созданию профиля. Обратим внимание на то, что ось Ox направлена ВЛЕВО. Это значит, что смещение влево – положительно, а вправо – отрицательно. Указанный факт важен при создании параметров и задании им значений.

После создания ЛСК и фиксации её осей создадим вертикальную прямую, определяющую высоту потайной части головки винта k . Линию строим от оси Oy влево на k мм. На рисунке 2.3 проиллюстрирован процесс построения и определения параметра. Он состоит в следующем. Как только начинается процесс построения линии, в окне *ПАРАМЕТРЫ ПРЯМОЙ* появляется окно, в котором отображается величина смещения строящейся прямой от исходной. В этом окне необходимо вместо числа ввести имя переменной k , нажать на клавишу *ENTER*, после чего открывается окно *ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ*, в котором нужно ввести значение и комментарий. Комментарий не является обязательным, но, следуя правильному стилю программирования, желательно его указывать.

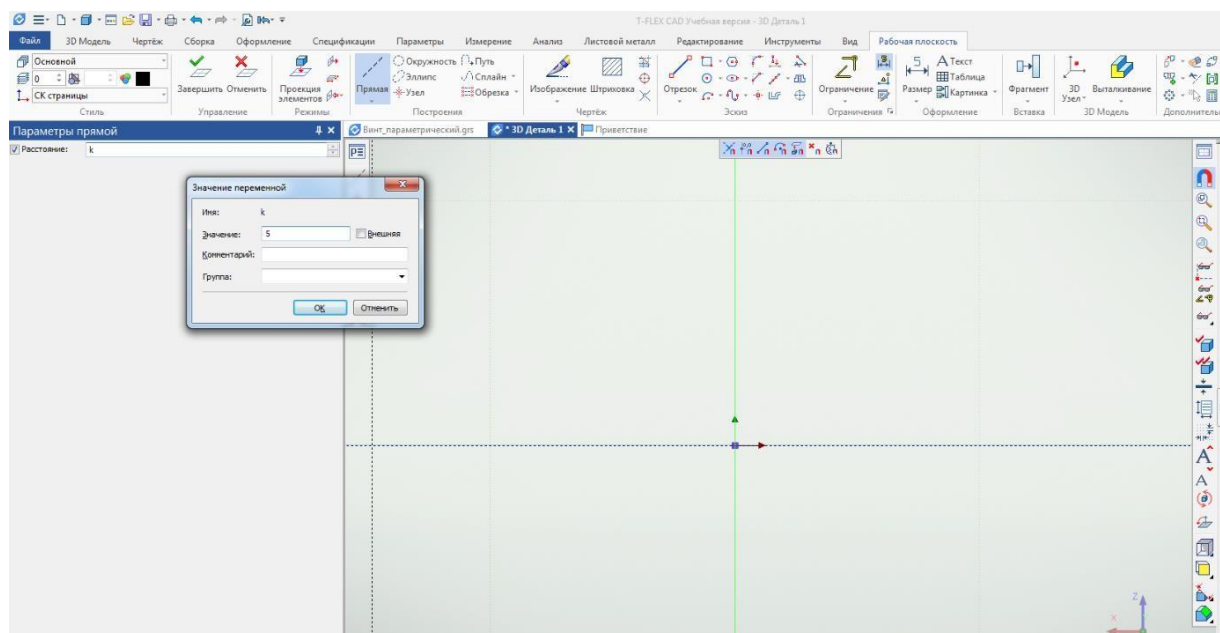


Рисунок 2.3. Создание вертикальной прямой и параметра k

После ввода значения, комментария «Высота потайной части головки винта» и подтверждения этих действий создаются прямая и параметр k со значением, равным 5 (рисунок 2.4). Отметим, что ввести можно только одно значение, но впоследствии, при редактировании переменной, вместо одного может быть введён список значений. Везде далее для каждой переменной устанавливаем значение, соответствующее винту M10 (см. табл.2.1).

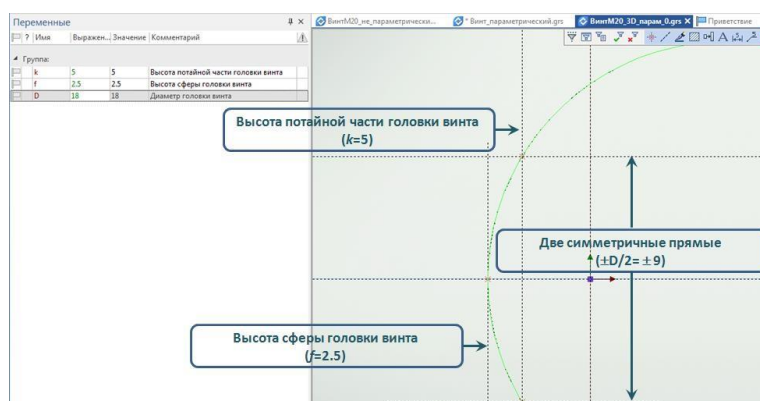


Рисунок 2.4. Созданы прямые с параметрами k и f , две симметричные прямые по диаметру D ($\pm \frac{D}{2}$) и окружность через три точки

На рисунке 2.4 показан результат формирования левой границы профиля – окружности через три точки, определяемые высотой потайной части головки винта, высотой сферы и диаметром цилиндрической части. Указанные точки получены как результат пересечения соответствующих

прямых. Исходными объектами для построения являются оси ЛСК. Дуга окружности впоследствии (при вращении профиля относительно горизонтальной оси) образует сферическую часть головки винта. Положение сферы в пространстве и её диаметр определяются тремя параметрами: k , f и D . Изменение величины любого из указанных параметров изменяет облик сферы.

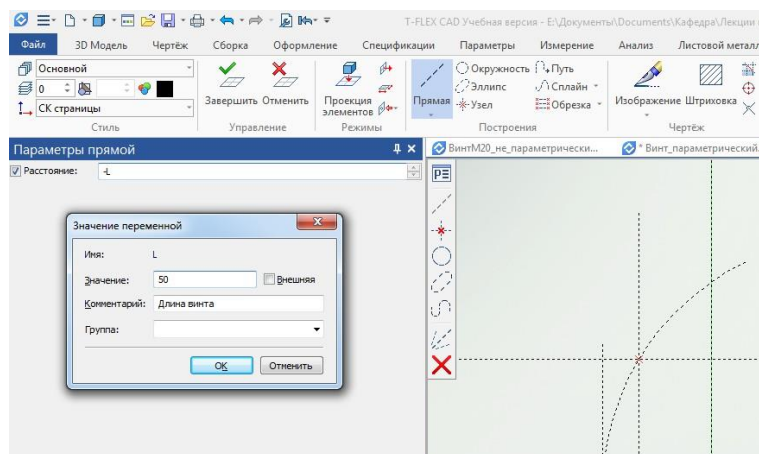


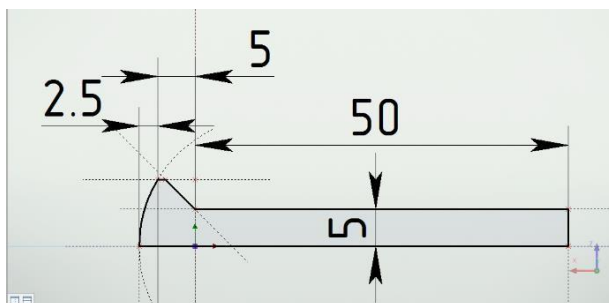
Рисунок 2.5. Создание размера и параметра при «отрицательном» перемещении линии построения

Проиллюстрируем построение правой границы профиля, определяемой величиной длины винта L . Отметим, что все параметры, в том числе и длина винта, являются величинами положительными, поскольку определяют его размеры. Другое дело, когда объекты создаются в координатном пространстве. Например, при создании прямой, определяющей правую границу профиля, её нужно расположить справа от начала координат (в плоскости профиля Вид спереди). Но ось Ox направлена влево. Значит абсцисса указанной прямой отрицательна. Это надо учитывать при введении параметра L (см. рисунок 2.5). В качестве величины смещения нужно указать $-L$, а в открывшемся диалоге задать положительное значение (в данном случае 50). Так нужно поступать во всех случаях, когда линия построения, с которой связывается значение какой-либо переменной, перемещается в отрицательном направлении. Сама переменная должна быть положительной. На рисунок 2.6 показан результат построения правой границы.

Для окончательного формирования профиля осталось построить горизонтальную прямую по параметру d (смещение вверх на $\frac{d}{2} = 5 \text{ мм}$), а также из точки пересечения полученной прямой с вертикальной осью – прямую под углом 45° , определяющую при вращении коническую часть головки винта. Полностью сформированный профиль показан на рисунок 2.7.



Рисунок 2.6. Результат построения правой границы



Переменные				
	Имя	Выражен...	Значение	Комментарий
Группа:				
	k	5	5	Высота потайной части головки винта
	f	2.5	2.5	Высота сферы головки винта
	D	18	18	Диаметр головки винта
	L	50	50	Длина винта
	d	10	10	Номинальный диаметр резьбы

Рисунок 2.7. Построенный профиль и введенные переменные (для винта M10)

Помимо профиля созданы также два 3D узла: один в начале координат, второй – на оси абсцисс, на правой границе профиля – обеспечивающие создание оси вращения. После выполнения операции Вращение создаётся заготовка винта (рисунок 25).

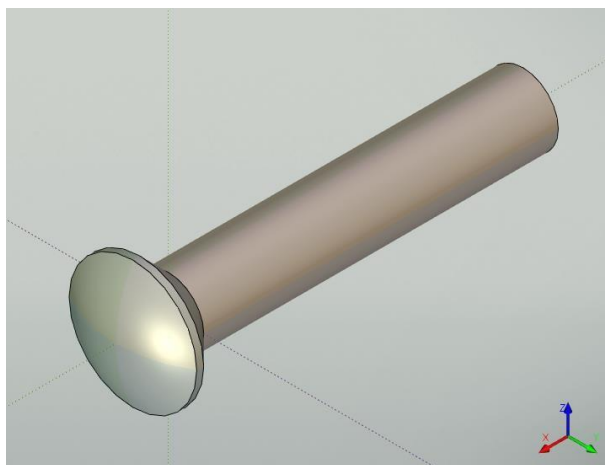
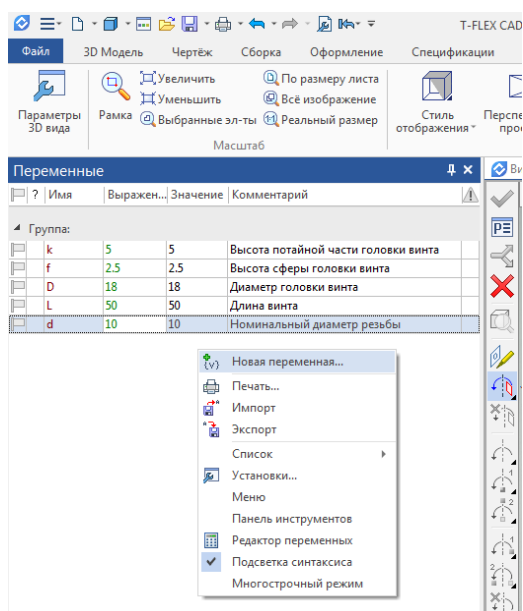


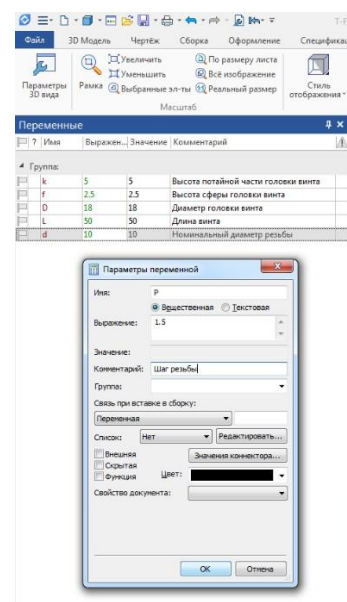
Рисунок 2.8. Заготовка винта

Для завершения создания 3D модели винта необходимо добавить резьбу, фаску, скругление на ребре, образованном пересечением цилиндрической и конической частей заготовки, а также создать шлиц.

Для выполнения указанных действий требуется дополнительно создать переменные: P – шаг резьбы, b – длина резьбы, s и H – ширина и глубина шлица соответственно.



а) начало создания



б) ввод имени, значения и комментария переменной

Рисунок 2.9. Создание новой переменной (параметра)

Таким же образом создаются и остальные переменные.

Выше рассмотрен способ создания переменных в процессе построения. Познакомимся ещё с одним способом – создание переменных непосредственно добавлением в таблицу. Для этого необходимо сделать видимой панель *ПЕРЕМЕННЫЕ*, щёлкнуть по этой панели правой кнопкой и выбрать из контекстного меню пункт *НОВАЯ ПЕРЕМЕННАЯ* (рисунок 2.9, а). В открывшейся форме указать имя переменной (в данном случае – *P*), её значение (в поле *Выражение*) и ввести комментарий.

Для создания резьбы необходимо на вкладке *3D* модель выбрать из расширенных опций инструмент *РЕЗЬБА*, далее в качестве начального элемента указать мышью правую кромку и установить параметры резьбы. Отметим, что выбор кромки сразу определяет диаметр резьбы и её шаг (по умолчанию установлена метрическая резьба, следовательно, никаких изменений не требуется). Поэтому остаётся только задать значение длины резьбы, установив для параметров *НАЧАЛО* и *КОНЕЦ* отсчёт от начала резьбы (от кромки): для начала – 0, для конца – *b*. Тип резьбы оставляем по умолчанию как правостороннюю. Процесс проиллюстрирован на рисунке 2.10.

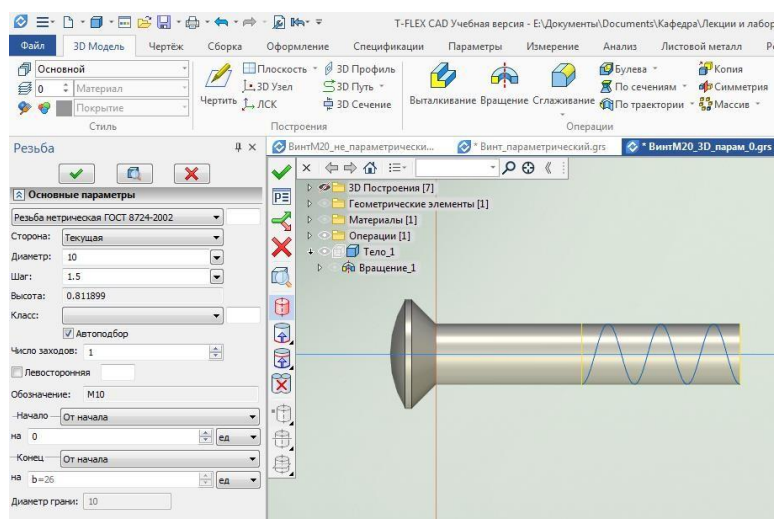


Рисунок 2.10. Установка параметров резьбы

При создании фаски будем считать, что её размер равен 0,6 шага резьбы, что не сильно противоречит реальности. Процесс создания фаски проиллюстрирован на рисунке 2.11.

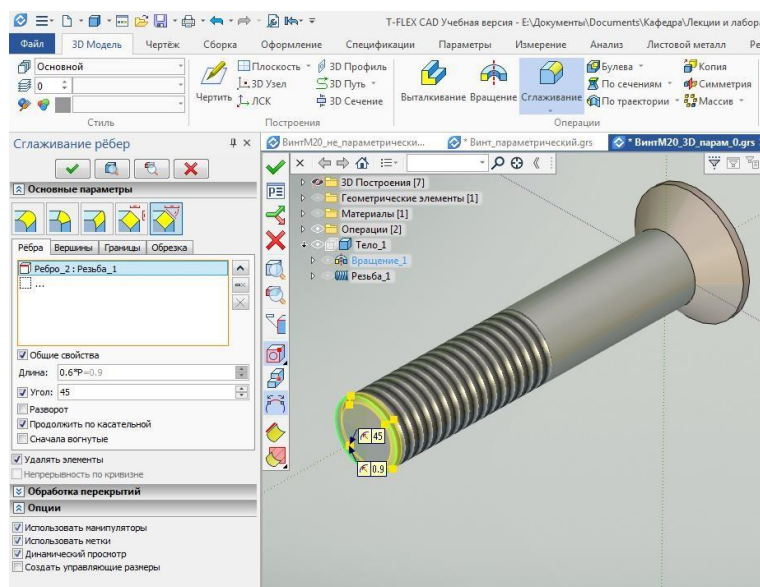


Рисунок 2.11. Создание фаски (длина фаски определяется как $0.6P$)

Радиус скругления определяется как $0,1D$. Процесс создания скругления практически аналогичен процессу создания фаски.

Большой интерес представляет процесс создания шлица, поскольку он связан с созданием его профиля, затем тела и, наконец, выполнения булевой операции. Размер профиля и величина вытягивания тела не могут быть взяты произвольно. Они должны обеспечивать правильность формирования шлица при всех возможных значениях диаметра головки винта и радиуса сферы. Рассмотрим подробно создание шлица. При этом для создания профиля выберем плоскость *ВИД СВЕРХУ*. На рисунке 2.12 показан профиль шлица.

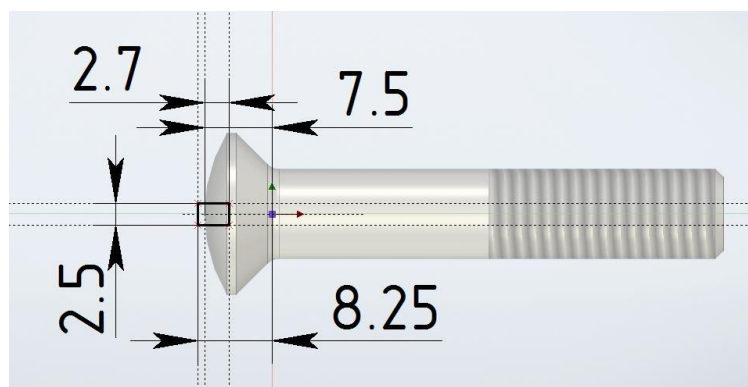


Рисунок 2.12. Профиль шлица

На рисунке 2.12 размер 7,5 – это величина, равная $f+k$; размер 2,7 – это глубина шлица H ; размер 2,5 – это ширина шлица s . Наконеч, размер 8,25 –

это величина, равная $1,1(f+k)$. Отметим, что размер $f+k$ определяет координату наиболее удалённой от начала координат точки сферы. Следовательно, левая граница профиля, определяемая размером $1,1(f+k)$ при любых значениях f и k выходит за границу сферы, что исключает создание внедрённого тела внутри головки винта и, как следствие, правильное формирование шлица: он всегда «доступен отвёртке». На основании созданного профиля вытянем тело. Здесь также важно правильно определить пределы выталкивания (см. рисунок 2.13).

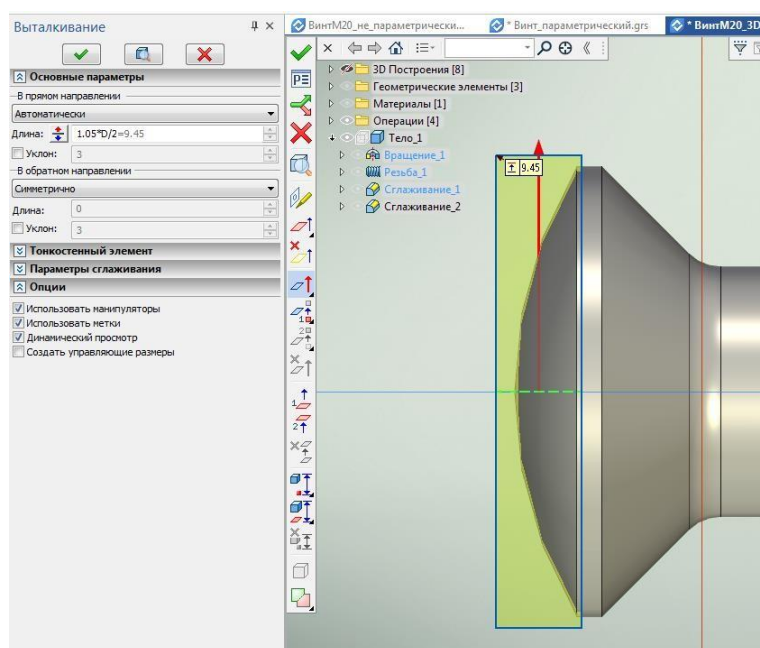


Рисунок 2.13. Выталкивание тела для создания шлица

Во-первых, выталкивание осуществляется симметрично в прямом и обратном направлении. Во-вторых, также обеспечивается запас в выталкивании тем, что величина выталкивания с каждой стороны имеет запас 5% по отношению к диаметру головки (см. параметр *ДЛИНА* в основных параметрах выталкивания). Так обеспечивается инвариантность шлица по отношению к диаметру головки винта, т.е. гарантия отсутствия в процессе выталкивания «нулевой толщины».

По окончании выталкивания необходимо выполнить булеву операцию *ВЫЧИТАНИЕ* и сформировать окончательно и шлиц, и 3D модель винта (рисунок 2.14).

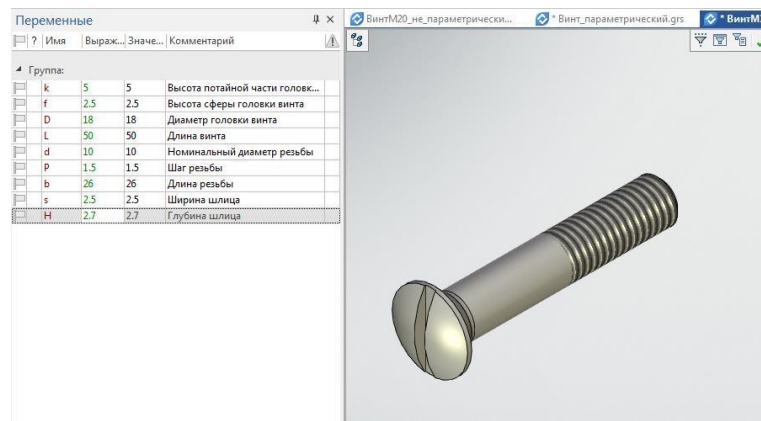


Рисунок 2.14. Созданная модель винта и её параметры

Как указано выше, параметризация обеспечивает возможность изменять геометрию, не прибегая к новым построениям. Действительно, можно изменить значение параметра, например, длины винта (параметр L), и это после пересчёта модели приведёт к её изменению. Рисунок 2.15 иллюстрирует указанный процесс. Отметим, что изменение значения переменной достигается щелчком по нему мышью и последующим изменением значения.

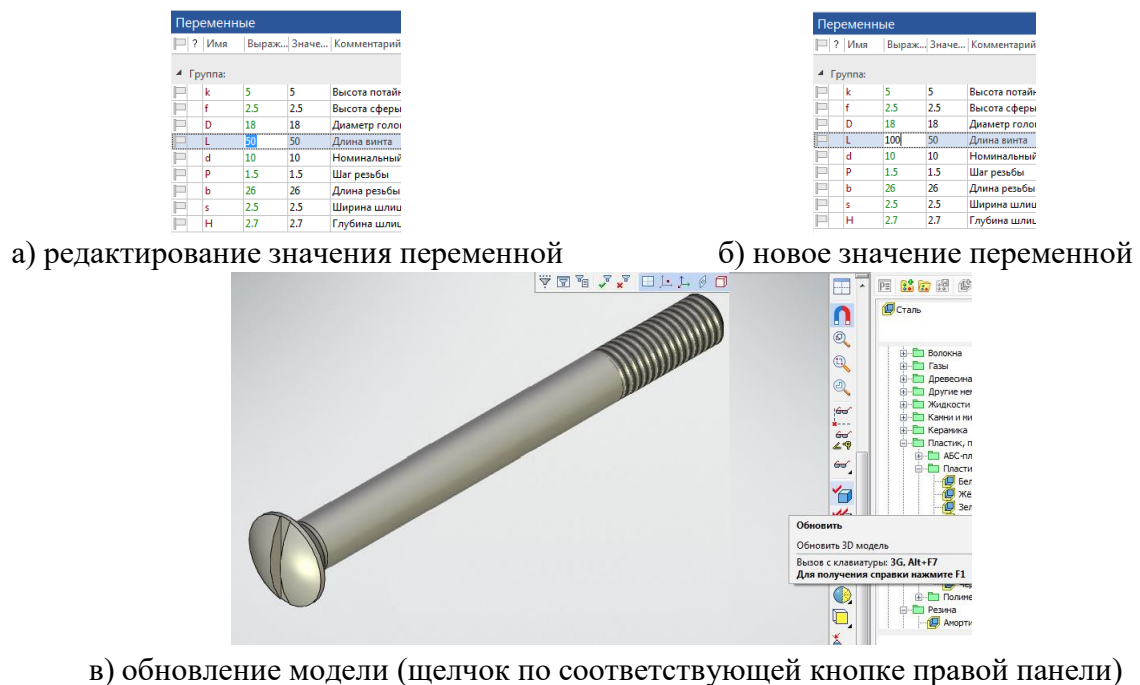


Рисунок 2.15. Изменение модели при изменении значения переменной L

Таким образом, параметрическая 3D модель винта создана. Но невооружённым глазом видна её ущербность: её параметры необходимо

изменять вручную. Причём практически все, поскольку они зависят от величины номинального диаметра. Изменив диаметр, мы обязаны изменить и значения других параметров. Но никакой из них (за исключением длины) произвольно изменять нельзя. Таким образом, модель требует существенной доработки, и она связана с созданием базы данных и синхронного пересчёта параметров при изменении номинального диаметра.

Итак, для автоматизации процесса перестраивания винта в соответствии с ГОСТ (таблица 2) необходимо на основе этой таблицы создать *базу данных* (БД). БД создаётся выбором пункта меню *БАЗА ДАННЫХ*, в нём – режима *СОЗДАТЬ*. В результате открывается окно *ПАРАМЕТРЫ БАЗЫ ДАННЫХ*

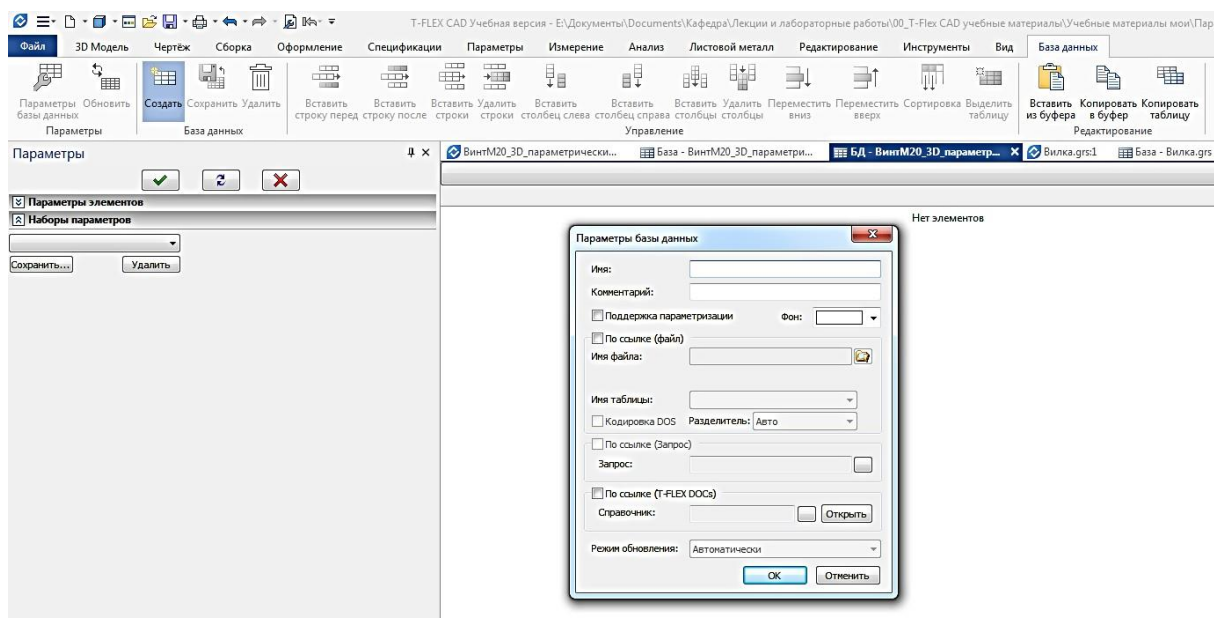


Рисунок 2.16. Создание базы данных

В окне необходимо ввести наименование БД (поле *ИМЯ*) и, желательно, комментарий. Назовём базу данных «База». При подтверждении ввода имени в следующем открывшемся окне необходимо указать наименование столбца, добавить комментарий и (обязательно) указать тип данных, которые будут в этом столбце. Это окно будет появляться до тех пор, пока не будут введены наименования всех столбцов. В нашем случае первый столбец назовём *ОБОЗНАЧЕНИЕ*, а тип данных в нём установим, как *ТЕКСТОВЫЙ* (рисунок 2.17).

Для следующих столбцов в качестве имени имеет смысл использовать те же обозначения, что и для переменных в модели (именно их значения будут храниться в БД).

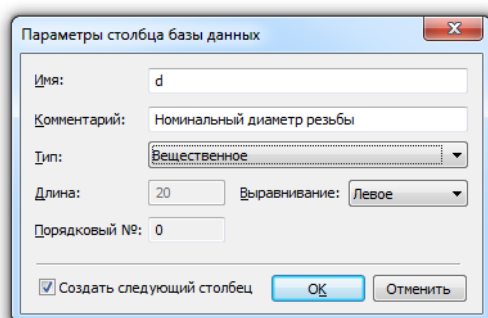


Рисунок 2.17. Окно ввода параметров столбца базы данных

В итоге создаётся пустая БД, в которую требуется ввести значения всех переменных в соответствии с таблицей 2.1. После ввода информации БД принимает следующий вид (рисунок 2.18):

№	Обозначение	d	L	D_big	f	k	b	P	s	H
1	Винт M2	2	10	3.8	0.5	1.2	10	0.4	0.5	0.6
2	Винт M2_5	2.5	12	4.7	0.6	1.5	11	0.45	0.6	0.7
3	Винт M3	3	14	5.6	0.75	1.65	12	0.5	0.8	0.9
4	Винт M3_5	3.5	16	6.5	0.9	1.93	13	0.6	0.8	1
5	Винт M4	4	16	7.4	1	2.2	14	0.7	1	1.2
6	Винт M5	5	40	9.2	1.25	2.5	16	0.8	1.2	1.5
7	Винт M6	6	40	11	1.5	3	18	1	1.6	1.8
8	Винт M8	8	45	14.5	2	4	22	1.25	2	2.3
9	Винт M10	10	50	18	2.5	5	26	1.5	2.5	2.7
10	Винт M12	12	50	21.5	3	6	30	1.75	3	3.2
11	Винт M14	14	60	25	3.5	7	34	2	3	3.6
12	Винт M16	16	60	28.5	4	8	38	2	4	4
13	Винт M18	18	65	32.5	4.5	9	42	2.5	4	4.5
14	Винт M20	20	70	36	5	10	46	2.5	5	5

Рисунок 2.18. Заполненная база данных

Отметим важное обстоятельство. *T-FLEX* работает с базой данных, ассоциированной с *MS ACCESS*, которая в идентификаторах не учитывает регистр. В нашем случае это значит, что наименования *d* и *D* – один и тот же идентификатор. Поэтому в БД необходимо ввести иное имя (в данном случае – *D_big*). Из этого следует практический вывод: если предполагается параметризация, то для каждой переменной нужно указывать **уникальное имя**.

После завершения заполнения БД её необходимо сохранить. По умолчанию она сохраняется в текущем каталоге.

Созданная база – это только хранилище данных. Для эффективного её использования необходимо связать БД с таблицей параметров и обеспечить при выборе обозначения конкретного винта синхронный выбор всех его параметров (то есть *из одной строки базы данных*).

Для этого в список параметров 3D модели необходимо добавить переменную, обеспечивающую выборку конкретной строки. Процесс создания такой переменной проиллюстрирован на рисунке 2.19.

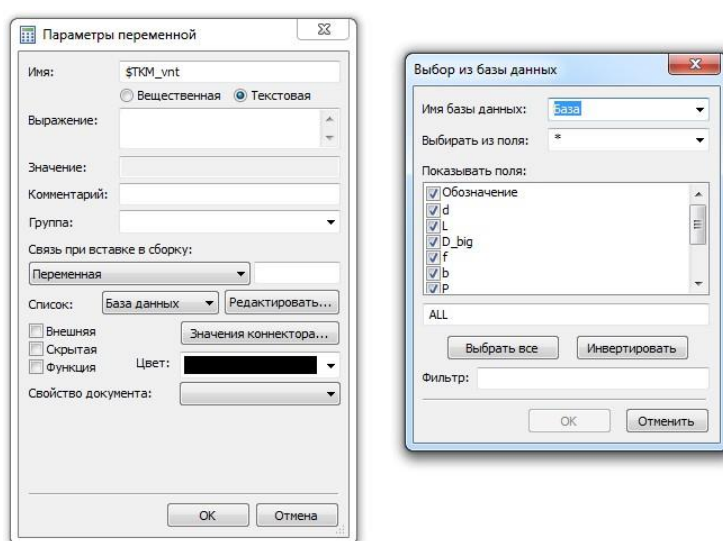


Рисунок 2.19. Добавление переменной – селектора записей базы данных

При создании переменной в её имени первым символом должен быть символ “\$”, поскольку ключом записи является поле *ОБОЗНАЧЕНИЕ*, а оно содержит текстовые данные (т.е. вводимая переменная относится к *текстовому типу*). Кроме того, должен быть взведён флажок в поле *ВНЕШНЯЯ*. Далее, эта переменная должна быть связана с БД, поэтому в поле *СПИСОК* (см. рисунок 36) необходимо установить значение *БАЗА ДАННЫХ*. Как только это сделано, открывается ещё одно окно, в котором нужно указать имя БД и указать поле, из которого будет осуществляться выборка (в данном случае – поле *ОБОЗНАЧЕНИЕ*). Вид окна перед закрытием показан на рисунке

2.20 (по умолчанию все флажки взведены; сеять их можно, нажав на кнопку *ИНВЕРТИРОВАТЬ*).

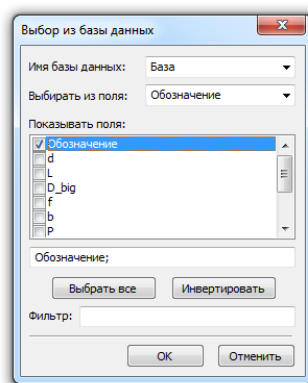


Рисунок 2.20. Настройка параметров выбора из базы данных

Обратим внимание, что в списке *ВЫБИРАТЬ ИЗ ПОЛЯ* установлено *ОБОЗНАЧЕНИЕ*, а в окне *ПОКАЗЫВАТЬ ПОЛЯ* флажок взведён только у поля *ОБОЗНАЧЕНИЕ*. После подтверждения выбора в список параметров добавляется эта новая переменная.

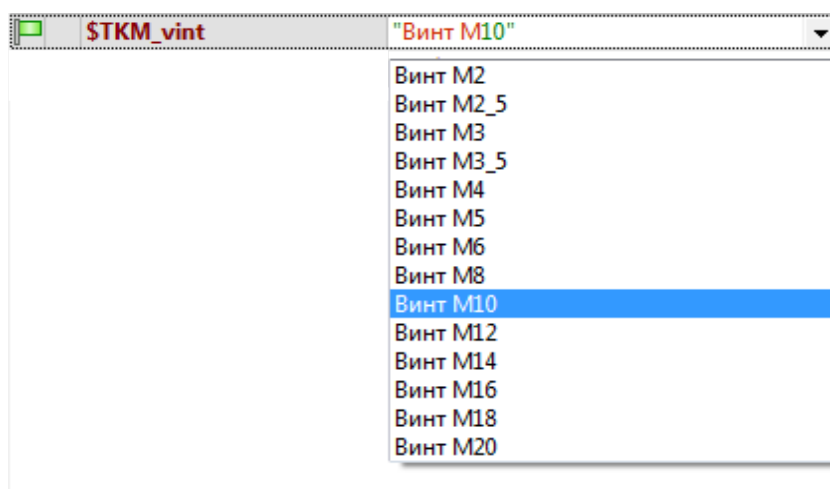


Рисунок 2.21. Создана новая переменная – селектор строки базы данных

Новая переменная представляет собой список, в котором содержатся значения поля *ОБОЗНАЧЕНИЕ* созданной БД. Из этого списка может быть выбрано только одно значение, т.е. одна, соответствующая этому значению, строка БД. Зелёный флажок слева от переменной свидетельствует о том, что она является внешней.

Созданная переменная обеспечивает доступ к конкретной записи БД. Но значения других переменных, которые в этой записи хранятся, пока никак не связаны с теми параметрами, которые использовались при создании модели и определяют её конфигурацию. Таким образом, *необходимо связать конкретную строку БД с этими переменными*.

Для решения этой задачи требуется создать ещё одну переменную, которая будет получать при каждом обращении к строке БД её номер. Для получения *номера записи* (строки), удовлетворяющего заданным условиям, используется функция *rec(<условие>)*, где условие – это выражение, принимающее значение ИСТИНА или ЛОЖЬ.

Создадим переменную с именем *find*, которая будет получать номер записи, соответствующий выбранному из списка наименованию (обозначению) винта. Процесс создания проиллюстрирован на рисунке 2.22. Как видно, переменная относится к вещественному (числовому) типу, её значение определяется выражением *rec(\$TKM_vint==База.Обозначение)*. Например, если выбрать из списка Винт М10, то это значение поля *ОБОЗНАЧЕНИЕ* содержится в девятой строке БД. Таким образом, переменная *find* получит значение, равное 9.

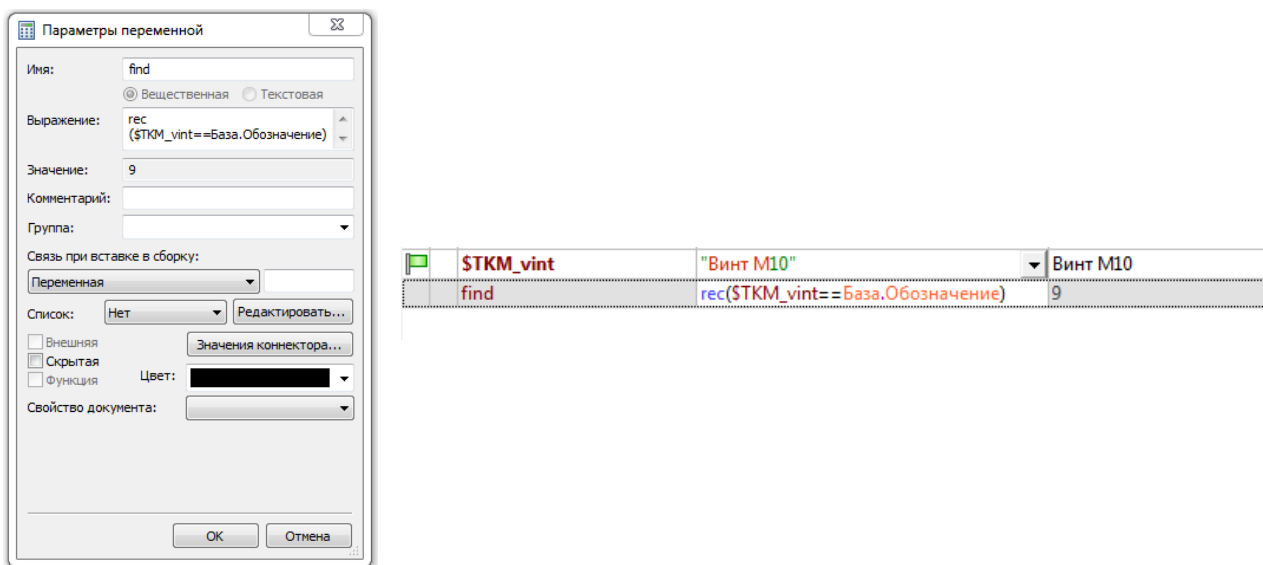


Рисунок 2.22. Создание переменной *find* для определения номера нужной строки БД

Последним шагом, обеспечивающим доступ параметрам *3D* модели к соответствующей записи БД, является коррекция их свойств.

Вспомним, что при создании каждой переменной ей задавалось конкретное значение (константа). Это значение соответствовало винту М10. Теперь каждому параметру нужно поставить в соответствие не константу, а выражение, обеспечивающее передачу ему соответствующего значения из выбранной строки БД. Для достижения указанной цели воспользуемся функцией *val*(<номер записи>,<поле БД>,<смещение>), где:

- а) <номер записи> – любое арифметическое выражение, значением которого является целое число;
- б) <поле БД> – обращение к конкретному полю БД из строки, номер которой есть <номер записи>;
- в) <смещение> - необязательный параметр (номер столбца, из которого выбирается значение, если отсчитывать от поля, указанного в <поле БД>); по умолчанию <смещение> равно нулю, то есть значение выбирается из поля, указанного в <поле БД>.

В нашем случае в качестве первого параметра будем указывать переменную *find* (напомним, что она получает номер конкретной записи, выбранной из списка), а в качестве второго – наименование БД и столбца, в котором хранятся значения конкретного параметра. Рисунок 2.23 иллюстрирует выбор для винта М10 (запись с номером 9) значения диаметра *D* (такое обозначение он имеет в списке параметров *3D* модели), которые для всех винтов хранятся в столбце *D_big*.

Таким образом, в поле *ВЫРАЖЕНИЕ* переменной *D* должно быть внесено обращение к функции *val* следующего вида: *val(find, База.D_big)*. Аналогичным образом должны быть внесены изменения в поле *ВЫРАЖЕНИЕ* и для всех остальных параметров *3D* модели. Для такого изменения требуется щелкнуть по параметру правой кнопкой, выбрать опцию *ПАРАМЕТРЫ* и внести изменения в открывшейся форме (рисунок 2.24).

База										
№	Обозначение	d	L	D_big	t	k	b	P	s	H
1	Винт M2	2	10	8	0.5	1.2	10	0.4	0.5	0.6
2	Винт M2_5	2.5	12	7	0.5	1.5	11	0.45	0.6	0.7
3	Винт M3	3	14	6	0.75	1.65	12	0.5	0.8	0.9
4	Винт M3_5	3.5	16	5	0.9	1.93	13	0.6	0.8	1
5	Винт M4	4	16	4	1	2.2	14	0.7	1	1.2
6	Винт M5	5	40	2	1.25	2.5	16	0.8	1.2	1.5
7	Винт M6	6	40	1	1.5	3	18	1	1.6	1.8
8	Винт M8	8	45	4.5	2	4	22	1.25	2	2.3
9	Винт M10	10	50	8	2.5	5	26	1.5	2.5	2.7
10	Винт M12	12	50	15	3	6	30	1.75	3	3.2
11	Винт M14	14	60	5	3.5	7	34	2	3	3.6
12	Винт M16	16	60	8.5	4	8	38	2	4	4
13	Винт M18	18	65	2.5	4.5	9	42	2.5	4	4.5
14	Винт M20	20	70	6	5	10	46	2.5	5	5

Рисунок 2.23. Выбор значения на пересечении строки 9 (Винт M10) и столбца D_big

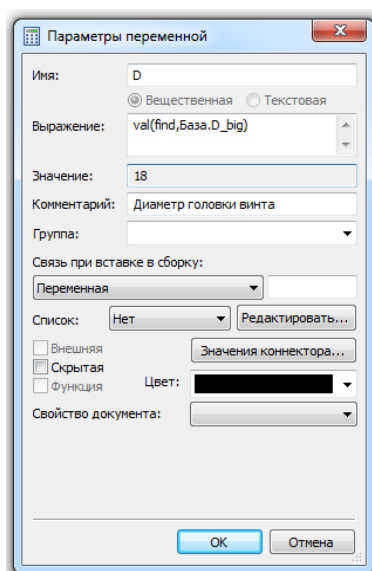
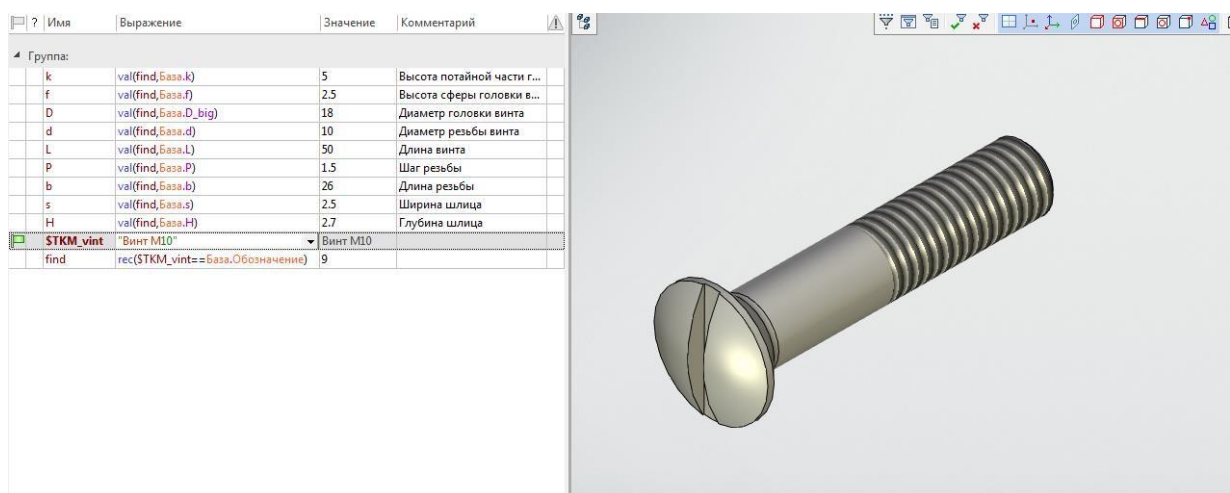
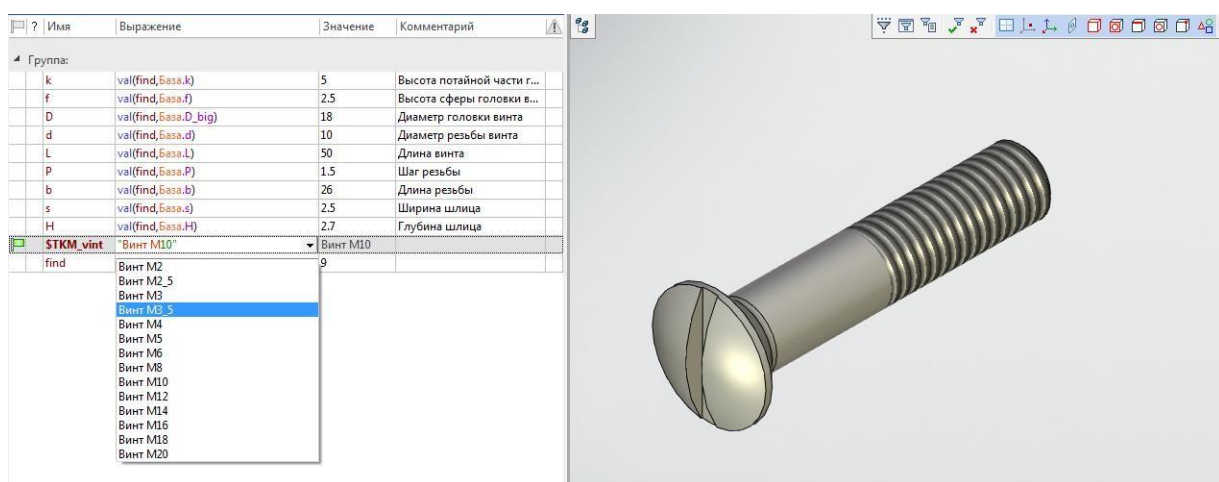


Рисунок 2.24. Внесение изменений в переменные 3D модели

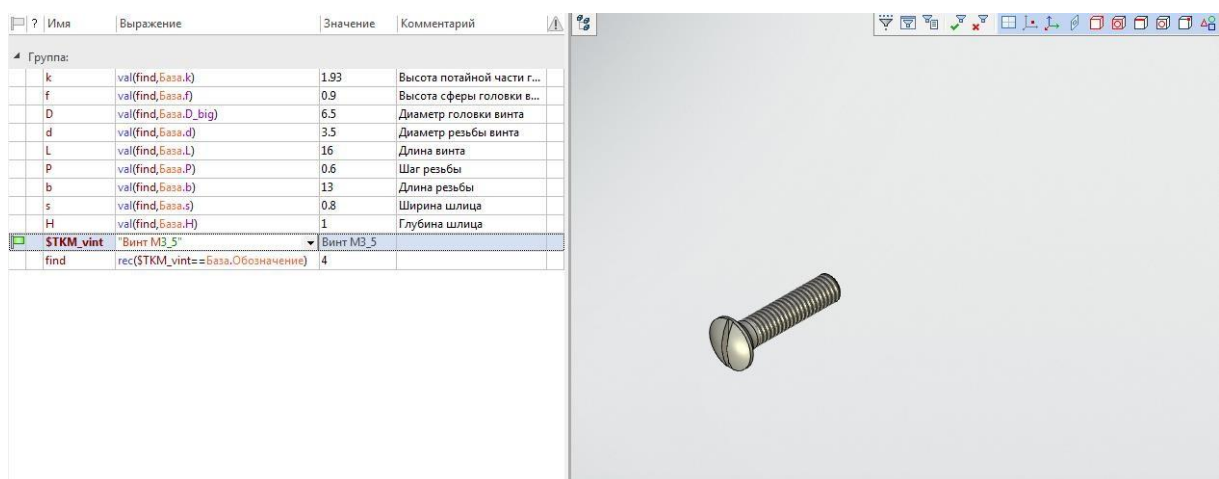
После выполненных действий можно выбирать любое обозначение винта, пересчитывать модель и получать её новое состояние. Например, если при заданном значении Винт M10 (запись номер 9, см. рисунок 2.25а) выбрать Винт M3_5 (рисунок 2.25б) и *пересчитать модель*, то получим 3D модель винта M3,5 (рисунок 2.25в; обратите внимание на изменения в поле *ЗНАЧЕНИЯ* при переходе от рисунка 2.25б к рисунку 2.25в: по этим значениям пересчитана модель).



а)



б)



в)

Рисунок 2.25. Модификация модели из винта M10 к винту M3.5

В T-FLEX CAD существует возможность создания диалога, позволяющего автоматизировать процесс модификации 3D модели.

Познакомимся с основными действиями и инструментами по созданию диалога на примере рассматриваемой модели винта.

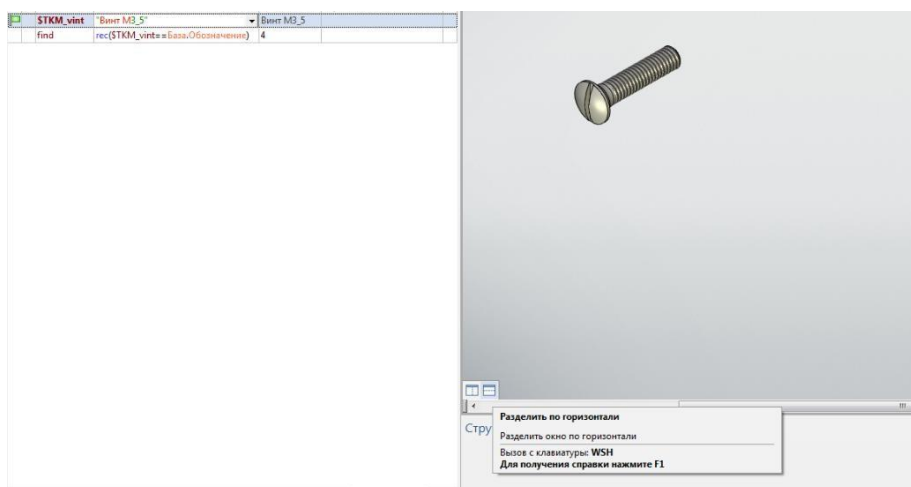


Рисунок 2.26. Разделение рабочей области по горизонтали для создания диалога

Разделим окно по горизонтали (рисунок 2.26), установим для окна диалога формат А4 (горизонтально).

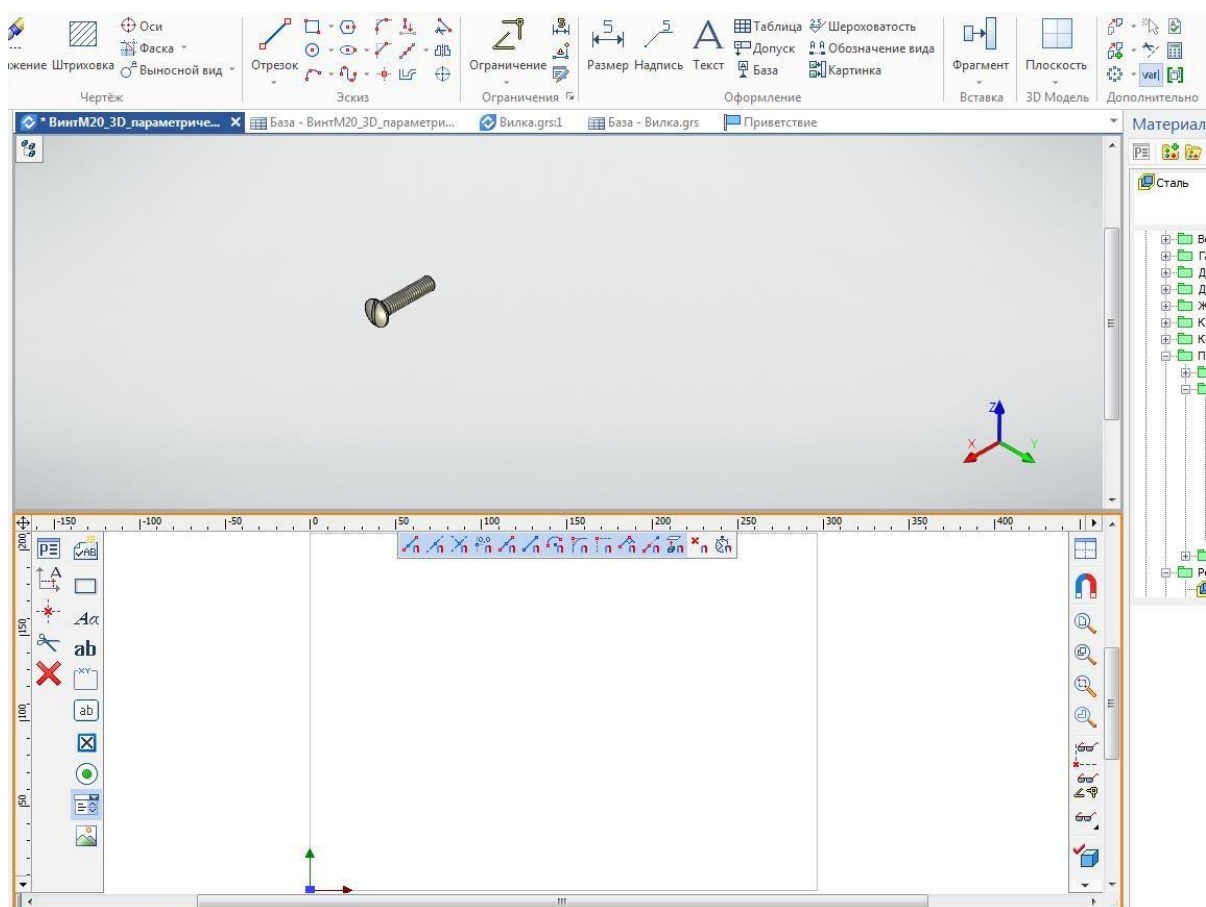


Рисунок 2.27. Подготовка к созданию диалога

Активизируем панель для создания элементов управления диалогом (рисунок 2.27) щелчком по кнопке *var* панели *ДОПОЛНИТЕЛЬНО* (справа вверху). Панель элементов диалога размещается слева в нижнем окне рабочей области. Для удобства в свойствах документа установим опцию *ПРИВЯЗАТЬ К СЕТКЕ*.

Создадим новый диалог (верхняя кнопка панели диалога, снизу появляется шильдик с надписью *ДИАЛОГ 1*), начертим рамку (кнопка с прямоугольником, рамка будет ограничивать размещение элементов управления) и разместим в верхней части рамки надпись «Винт ГОСТ 17474-80» (Кнопка «*Aa*»). Для надписи установлен шрифт 14, выравнивание по горизонтали и вертикали – по центру (рисунок 2.28).

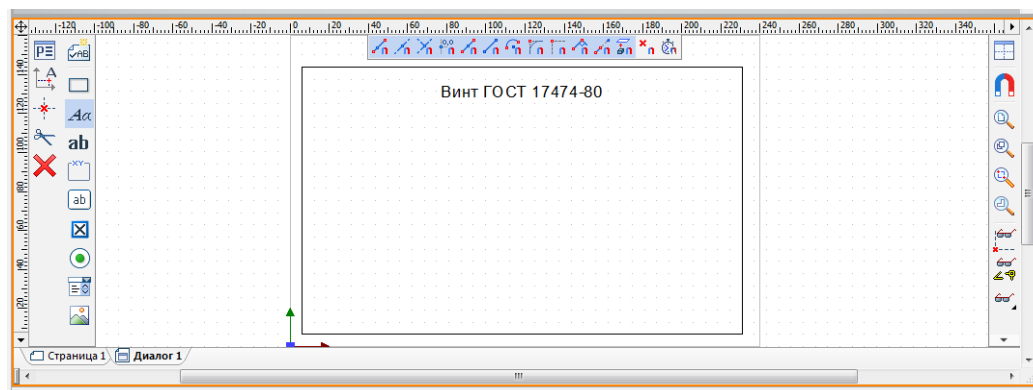


Рисунок 2.28. Созданные в окне диалога рамка и надпись

Создадим ещё одну надпись с текстом *ОБОЗНАЧЕНИЕ* и справа от неё добавим элемент *КОМБИНИРОВАННЫЙ СПИСОК* (рисунок 2.29).

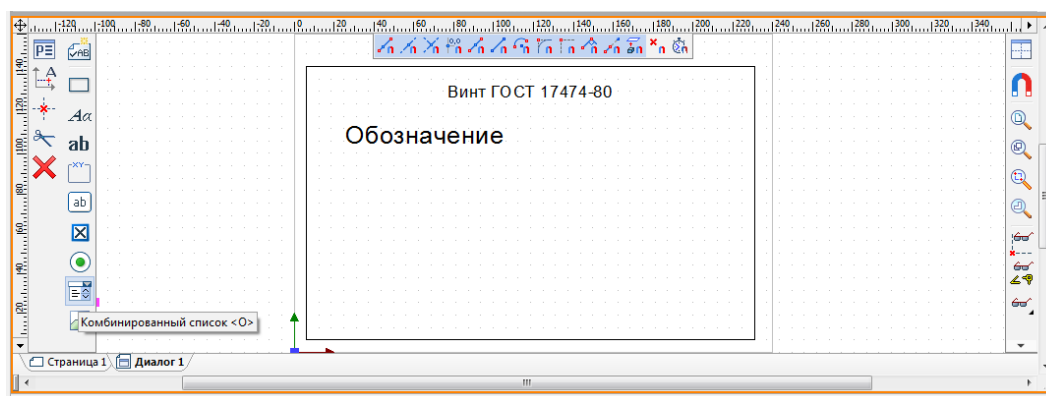


Рисунок 2.29. Добавление Комбинированного списка

При создании комбинированного списка открывается окно, в котором перечислены все переменные, предназначенные для выбора значений из списка. Среди параметров рассматриваемой модели такая переменная одна – *\$TKM_vint*, – поэтому только она и указана в окне (рисунок 2.30). Поскольку других переменных нет, выбираем эту переменную и подтверждаем выбор.

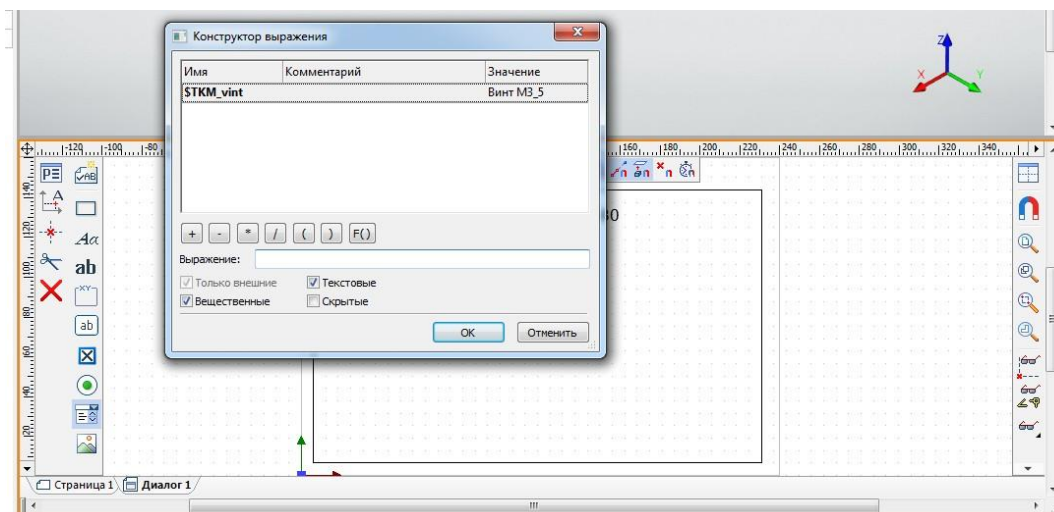


Рисунок 2.30. Настройка параметров комбинированного списка

В результате получается диалог, представленный на рисунок 2.31.

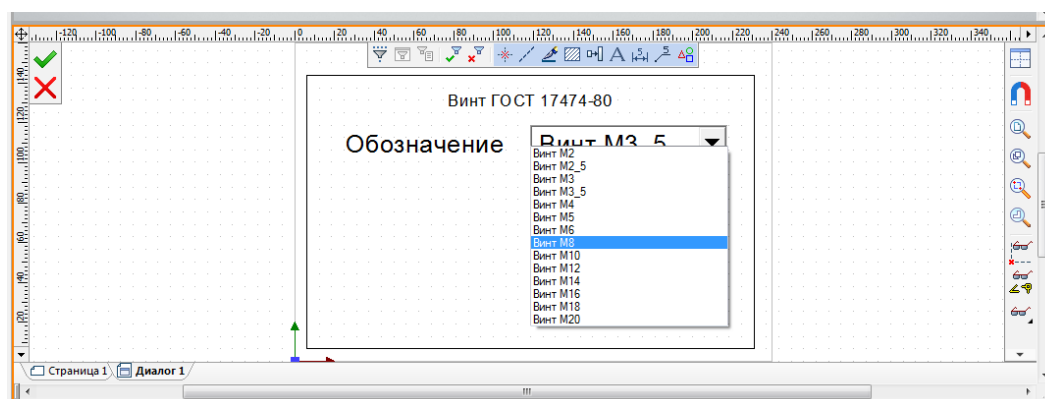


Рисунок 2.31. Комбинированный список добавлен

Наконец, осталось дополнить диалог кнопкой, при щелчке по которой пересчитывается модель (рисунок 2.32).

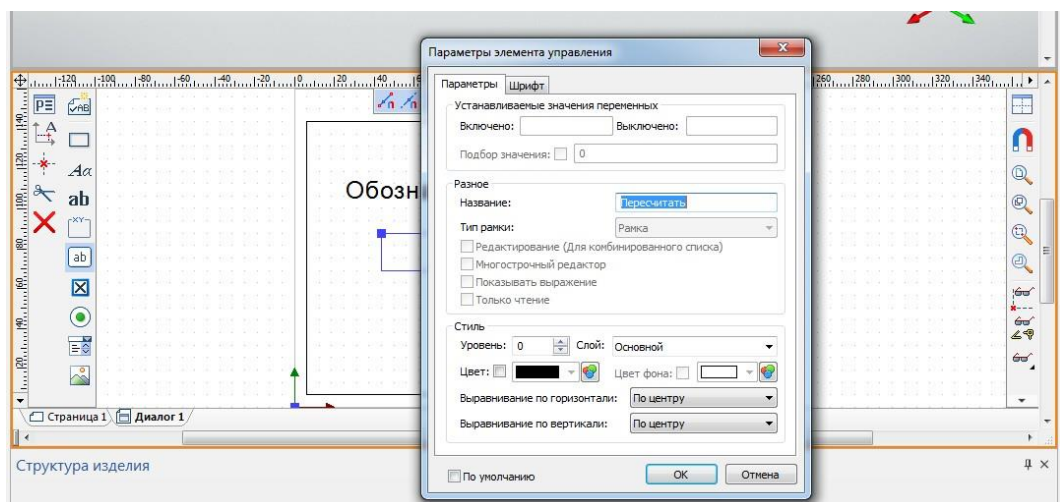
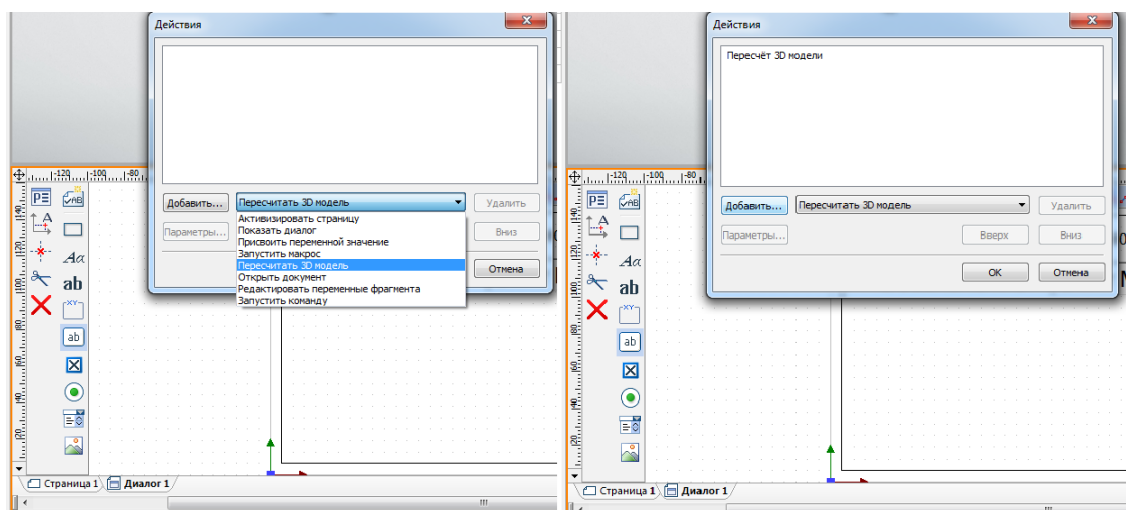


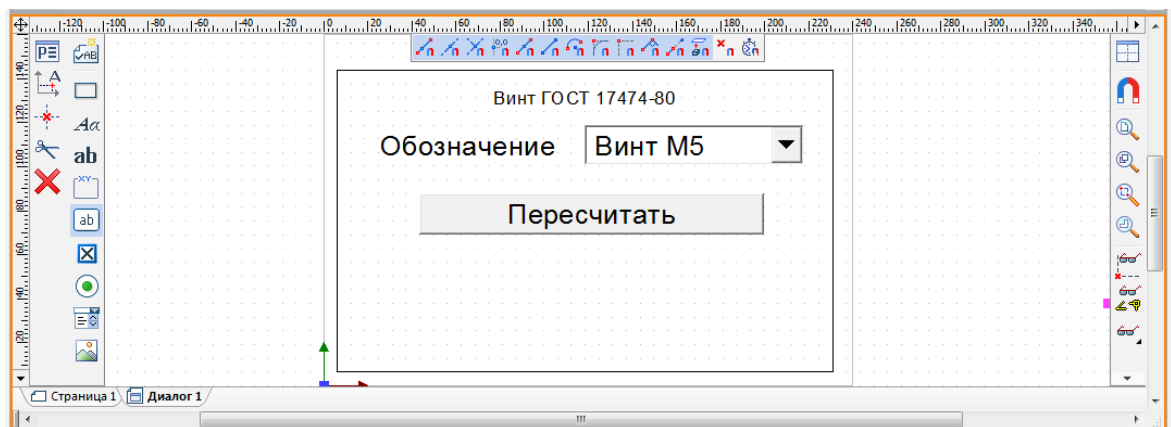
Рисунок 2.32. Создание кнопки Пересчитать 3D модель

При создании указанной кнопки открывается ещё одно окно, в котором нужно указать, какое действие требуется выполнить (рисунок 2.33).



а) выбрать ПЕРЕСЧИТАТЬ 3D МОДЕЛЬ

б) щелкнуть по кнопке ДОБАВИТЬ...



в) и подтвердить выбор: кнопка создана

Рисунок 2.33. Включение в диалог кнопки ПЕРЕСЧИТАТЬ

Теперь, если выбрать из списка конкретный винт и щёлкнуть по кнопке *ПЕРЕСЧИТАТЬ*, 3D модель будет перестроена. Отметим, что если с 3D моделью связан чертёж, то он также будет перестроен.

На этом закончено создание параметрической 3D модели винта с полупотайной головкой, использующей связь с базой данных, в которой хранятся параметры винтов по ГОСТ 17474-80, и диалогом, обеспечивающим ввод данных из указанной БД и пересчёт модели.

3. Создание 2D сборок

Сначала рассмотрим несколько важных понятий [24].

Любой чертёж можно включать в другие чертежи. В этом случае такой внедряемый чертёж принято называть *фрагментом*. В сборочном чертеже (в его внутреннем описании) фрагмент отображается ссылкой чертёж, на основе которого он получен.

Между фрагментом и его чертежом существует ассоциативная связь: изменение чертежа отражается на фрагменте.

Использование фрагментов при создании чертежей (особенно при создании сборочных чертежей) во многих случаях существенно упрощает процесс их разработки. Это связано с тем, что существуют стандартные библиотеки чертежей различных элементов (фрагментов): крепежа, подшипников и др. (см. рисунок 3.1).

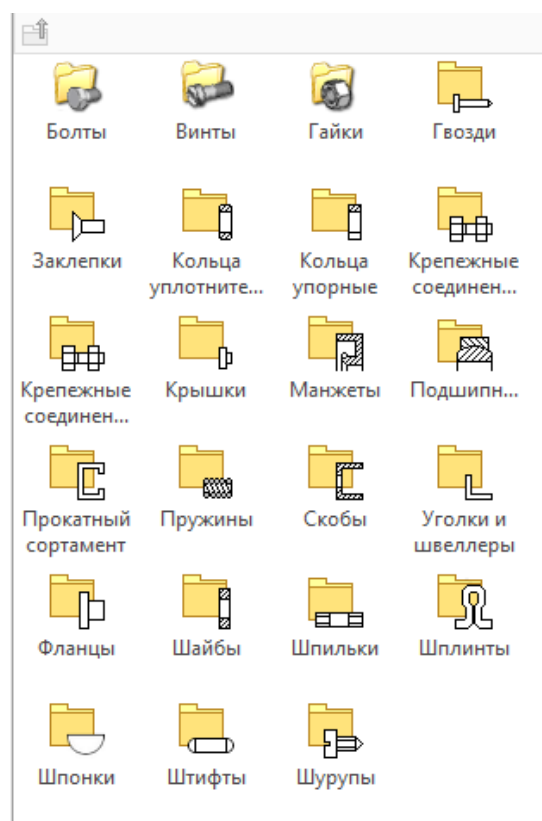


Рисунок 3.1. Библиотеки фрагментов стандартных изделия

Кроме того, в практической деятельности в процессе конструирования изделий, как правило, наследуются элементы из предыдущих прототипов. Это связано с тем, что у каждого предприятия есть свой профиль производства и, соответственно, конструирования. Такие наследуемые элементы (детали, узлы и др.) вполне могут быть оформлены как фрагменты и существенно снизят трудоёмкость процесса конструирования.

В этом контексте понятно, что и сам сборочный чертёж становится сборкой, включающей как вновь созданные узлы, так и ранее разработанные фрагменты.

Особую роль фрагменты имеют при создании параметрических объектов, тем более, если сами фрагменты являются параметрическими [24].

Рассмотрим процесс создания сборочного чертежа крепёжного соединения с использованием фрагментов. Основная цель – уяснить процесс создания фрагментов и включения их в 2D сборку.

Отметим, что существует два способа создания сборок: «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Первый способ является более продуктивным, поскольку позволяет создавать и редактировать элементы в контексте сборки, тем самым обеспечивая более рациональный путь разработки изделия (во многих случаях вид той или иной детали проявляется как раз при создании сборок, поскольку именно тогда и возникают ограничения и присоединительные элементы). Второй способ предполагает наличие всех элементов сборки, и их просто надо объединить в узел или изделие. Но, как правило, оба эти способа органично дополняют друг друга. Сборка начинает создаваться с каких-то базовых элементов, а затем, в процессе разработки создаются и другие элементы.

В нашем случае рассматриваем сборку снизу вверх. Но предварительно – создадим чертежи деталей для следующей сборки (рисунок 3.2):

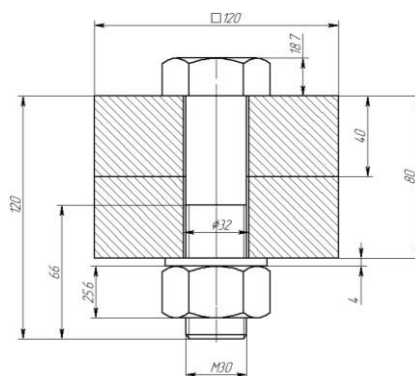


Рисунок 3.2. Чертёж крепёжного соединения

В ней присутствуют две детали, стягиваемые болтовым соединением, включающим болт, гайку и шайбу. Отметим, что рассматриваются не сами детали, а их чертежи. Более того, чертёж представляет собой один вид, в котором – один вид болта, один – гайки и один – шайбы. Ещё раз обратим внимание: в сборочном чертеже присутствуют не детали, а их чертежи, и в данном случае, поскольку рассматривается только один вид сборочного чертежа, то и детали представлены своим одним (соответствующим сборочному) чертёжным видом.

В следующих таблицах 3.1-3.3 содержатся размеры деталей (из ГОСТ, [25]), в соответствии с которыми построены чертежи.

Таблица 3.1. Болт М30 исполнение 1 ГОСТ 7798-70 (шаг резьбы 3,5 мм)

d (мм)	Номинальный диаметр резьбы	30
b (мм)	Длина резьбовой части	66
L (мм)	Длина стержня болта	120 (115)
K (мм)	Высота головки болта	18,70
e (мм)	Диаметр описанной окружности	50,9
D (мм)	Образующий диаметр фаски головки	44
φ (°)	Угол наклона образующей фаски	15...30
S (мм)	Размер под ключ	46

Таблица 3.2. Гайка М30 исполнение 1 ГОСТ 5915-70 (шаг резьбы 3,5 мм)

d (мм)	Номинальный диаметр резьбы	30
m (мм)	Высота гайки	25,60
e (мм)	Диаметр описанной окружности	50,9
dw (мм)	Образующий диаметр фаски головки	44
φ (°)	Угол наклона образующей фаски	15...30
S (мм)	Размер под ключ	46
da (мм)	Образующий диаметр фаски резьбы (не более)	32,4
γ (°)	Угол сверла под фаску резьбы	90...120

Таблица 3.3. Шайба плоская М30 ГОСТ 28961-91, [26]

$d1$ (мм)	$d2$ (мм)	h (мм)
Внутренний диаметр	Внешний диаметр	Толщина шайбы
33	50	4,00

Размер 115 в первой таблице взят в скобки, поскольку этот размер не принадлежит к нормальному ряду. Будем выполнять чертёж болта с длиной стержня, равной 120 мм.

Чертежи видов деталей (фрагменты сборочного чертежа) представлены на следующих рисунках (рисунки 3.3...3.6).

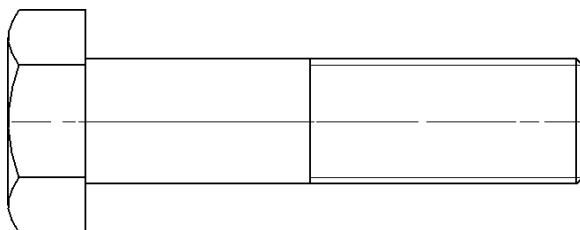


Рисунок 3.3. Болт М30 ГОСТ 7798-70

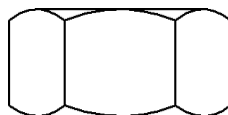


Рисунок 3.4. Гайка М30 исполнение 1 ГОСТ 5915-70

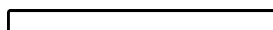


Рисунок 3.5. Шайба плоская М30 ГОСТ 28961-91

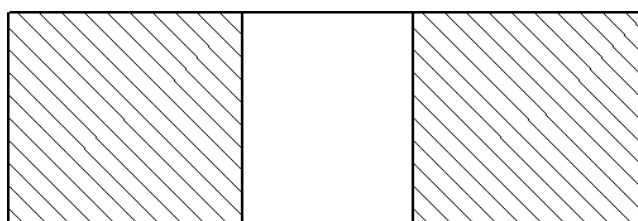


Рисунок 3.6. Стягиваемая деталь (в сборке она присутствует в двух экземплярах)

Итак, при создании сборок методом «снизу-вверх» первое, что необходимо сделать, это создать включаемые в сборку фрагменты.

Чертёж фрагмента [24] вначале создаётся как отдельный документ, но при его создании необходимо выполнить ряд дополнительных действий, обеспечивающих возможность правильно позиционировать фрагмент в сборочном чертеже (создать элементы привязки), а также обеспечить его правильный вид среди других фрагментов (обеспечить возможность управлять видимостью линий). Важными понятиями в этом смысле являются следующие: точка привязки, вектор привязки и приоритет.

Точка и вектор привязки дают возможность различным образом позиционировать фрагмент на сборочном чертеже (см. рис. 3.7).

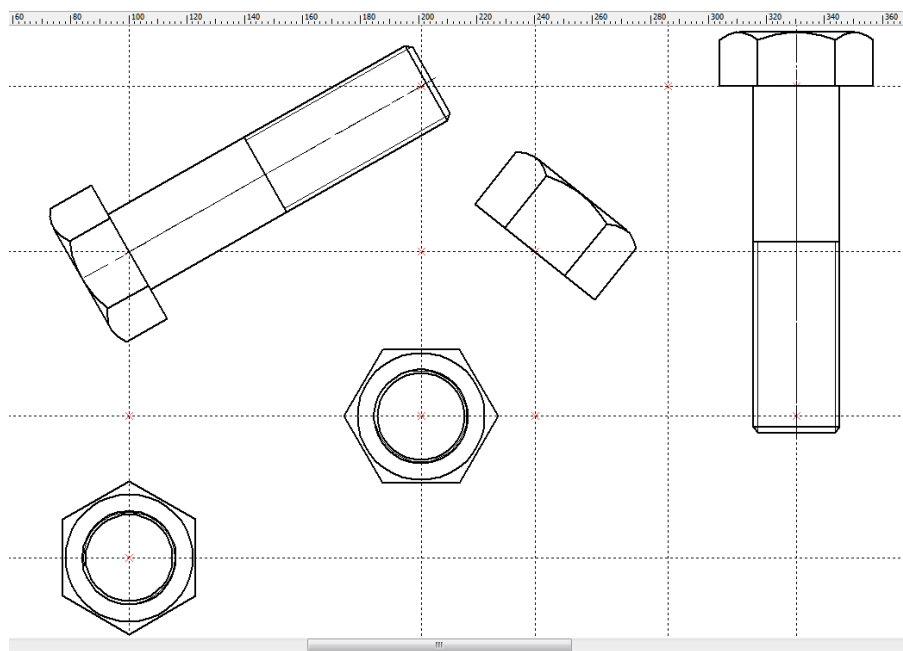


Рисунок 3.7. Расположение фрагментов на сборочном чертеже

На рисунке 3.7 видно, что фрагменты «привязаны» к точкам пересечения прямых (узлам сборочного чертежа). Точка привязки (начало вектора привязки фрагмента) обеспечивает позиционирование фрагмента на чертеже, а вторая (конец вектора привязки) – поворот его вокруг точки привязки. После задания этих узлов фрагмент соответствующим образом позиционируется (обеспечивается ассоциативная связь фрагмента и сборочного чертежа).

На следующем рисунке (рисунок 3.8) показана необходимость управления видимостью линий. Видно, что контур гайки не закрывает линии контура болта, хотя по смыслу конструкции они невидимы.

Отметим, что если на чертеже фрагмента точки привязки не созданы, то он позиционируется в соответствии с его исходными координатами ([24]).

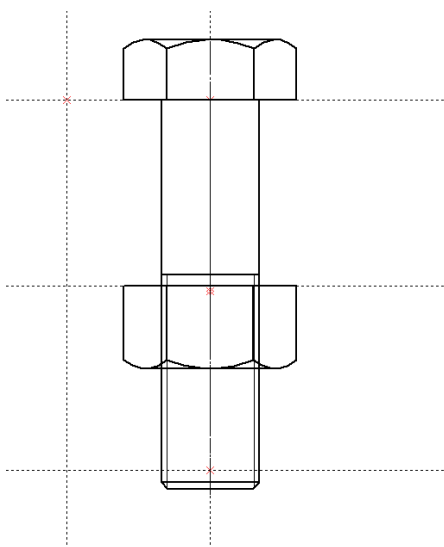


Рисунок 3.8. Ошибка в видимости линий (контур гайки не закрывает линии контура болта)

3.1. Вектор привязки

Прежде, чем перейти к иллюстрации создания вектора привязки, сделаем важное замечание.

Вектор в декартовой системе координат создаётся на основе ДВУХ точек (точки начала вектора и точки его конца). Известно, что равные векторы могут размещаться на одной прямой или параллельных прямых. В этом смысле вектор «подвижен». Это значит, что при использовании вектора привязки первая точка (его начало) позиционируется точно в каком-либо узле сборочного чертежа, а вторая (несмотря на её точное задание внутри фрагмента) «подвижна» вдоль вектора и может отстоять от начала на расстояние большее (или меньшее) длины вектора во фрагменте (важно не расстояние, а направление). Когда происходит выбор этой второй точки в сборочном чертеже фрагмент поворачивается вслед за перемещением мыши и фиксируется в момент подтверждения выбора (вектор устанавливается на прямую, связывающую две точки).

Другое дело, если используются точки привязки. Они не являются подвижными, и в сборочном чертеже должны быть таким же образом расположенные узлы, чтобы обеспечить привязку. Иными словами, совокупность точек привязки представляет собой жёсткую фигуру (как во

фрагменте, так и в сборочном чертеже). При такой привязке возможен только поворот фигуры, но не её деформация.

Рассмотрим создание вектора привязки на примере фрагмента болта.

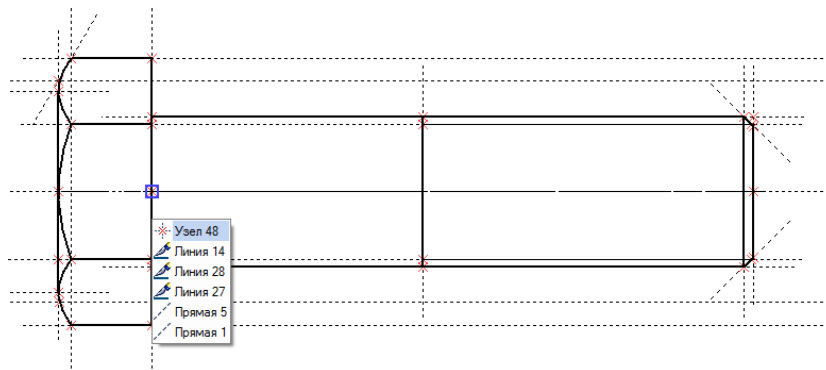


Рисунок 3.9. Чертёж фрагмента

На рисунке 3.9 показан чертёж фрагмента и выделена точка – узел 48. Этот узел выделен неслучайно. Именно его рационально использовать в качестве начала вектора привязки (точки привязки), так он находится на оси симметрии болта (позволяет обеспечить правильное центрирование фрагмента) и на поверхности головки болта (именно этой поверхностью болт устанавливается на плоскость стягиваемой детали или шайбы).

Для того чтобы создание вектора привязки проиллюстрировано на рисунках 3.10, 3.11 и 3.12.

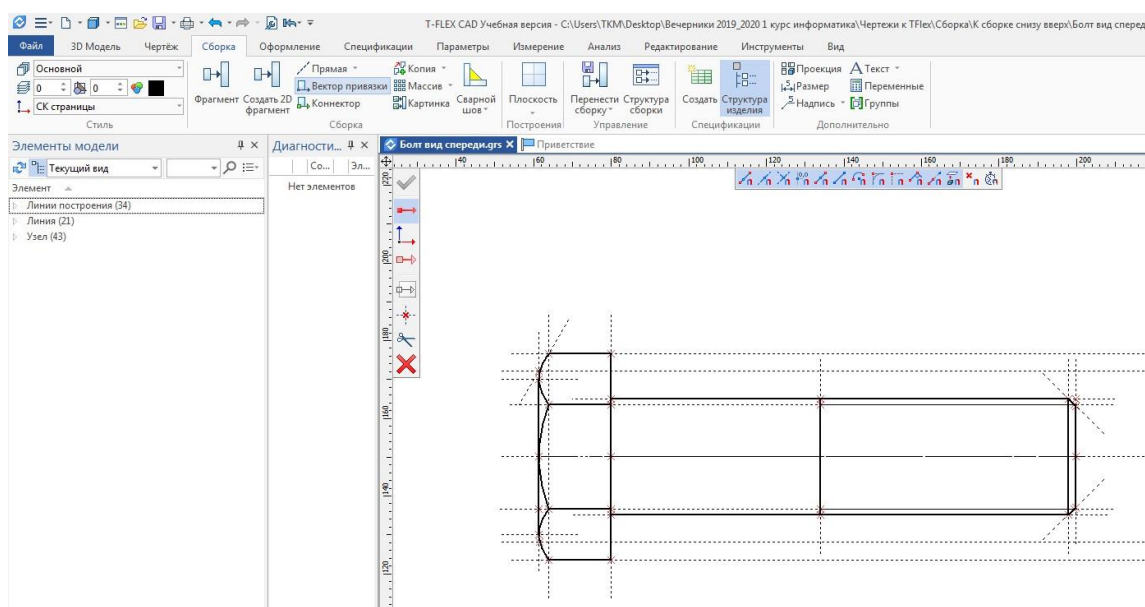


Рисунок 3.10. Создание вектора привязки

1. Необходимо выбрать вкладку *Сборка*, в ней опцию *Вектор привязки*.
При этом в поле чертежа слева появляется панель инструментов, и активным является инструмент создания вектора привязки (см. рис. 3.10).

2. Далее необходимо выбрать точку, о которой шла речь выше, и затем правую крайнюю точку (см. рисунок 3.11).

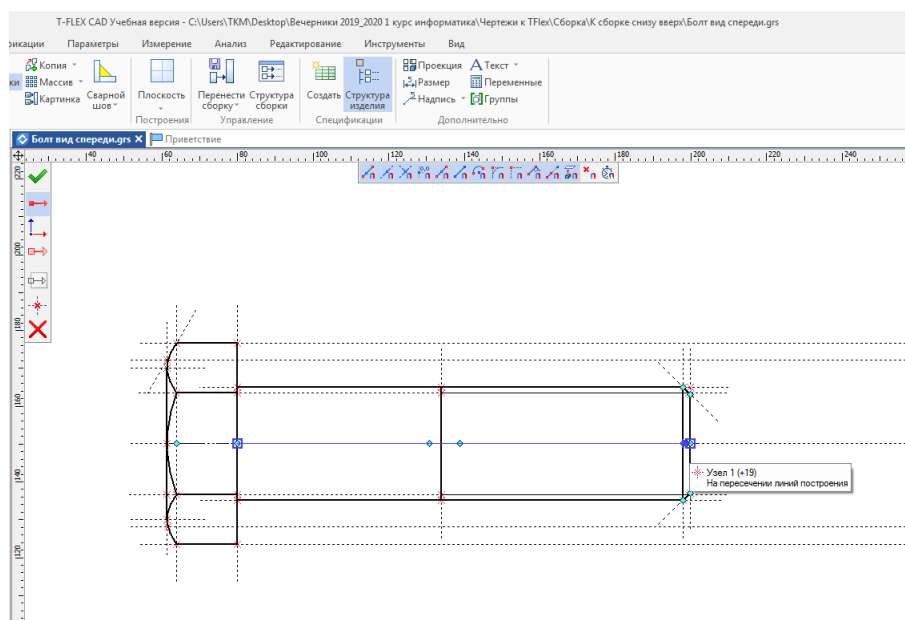


Рисунок 3.11. Выбор точек начала и конца вектора привязки

3. После подтверждения выбора открывается окно *Параметры вектора привязки* (см. рисунок 3.12).

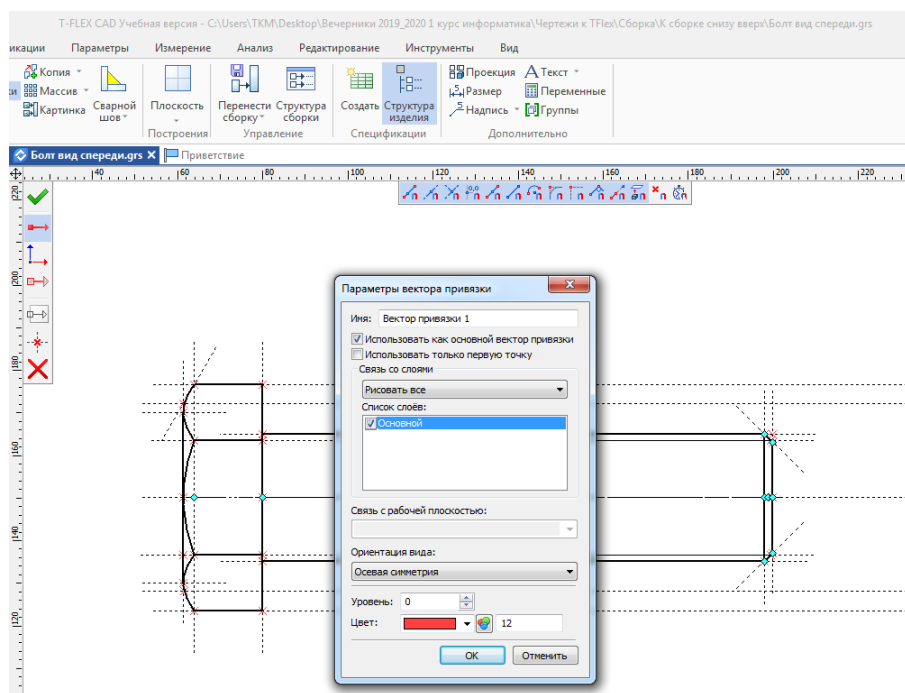


Рисунок 3.12. Установка значений параметров вектора

В качестве значений параметров вектора рекомендуется установить Использовать как основной вектор (взвести флажок), в Списке слоёв – Основной, в Ориентации видов выбрать Осевая симметрия. Во фрагменте может быть создано несколько векторов привязки, но только один из них может быть основным (он предлагается по умолчанию в момент вставки фрагмента в чертёж). Что касается списка слоёв, то в чертеже их может быть несколько (например, линии основного контура, размеры, штриховки и т.д.). В данном случае слой один.

По завершении выбора в составе фрагмента создаётся вектор привязки с установленными свойствами (см. рисунок 3.13, выделен красным цветом).

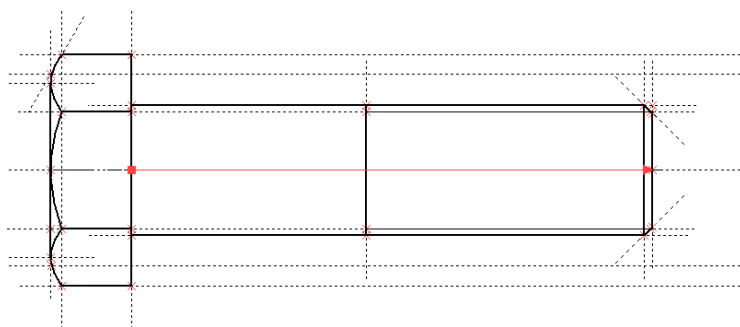


Рисунок 3.13. Создан вектор привязки

Таким же образом создаются векторы привязки и для других фрагментов (см. рисунок 3.14, векторы при построении окрашиваются красным цветом).

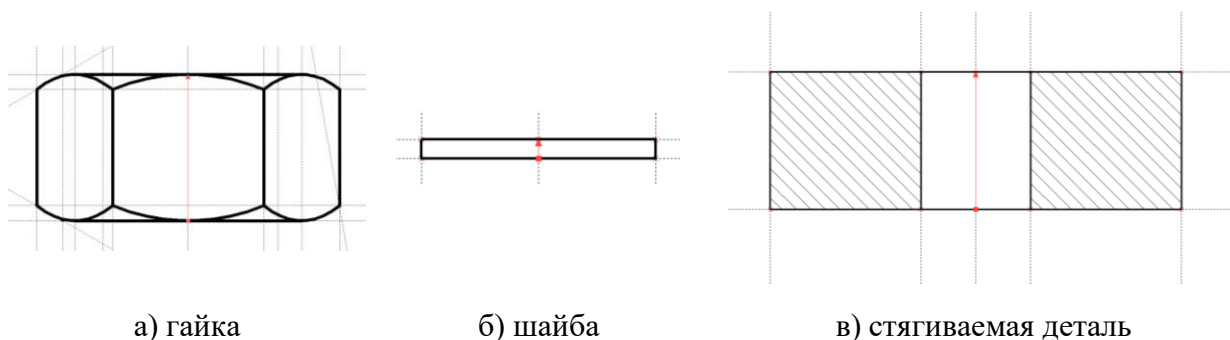
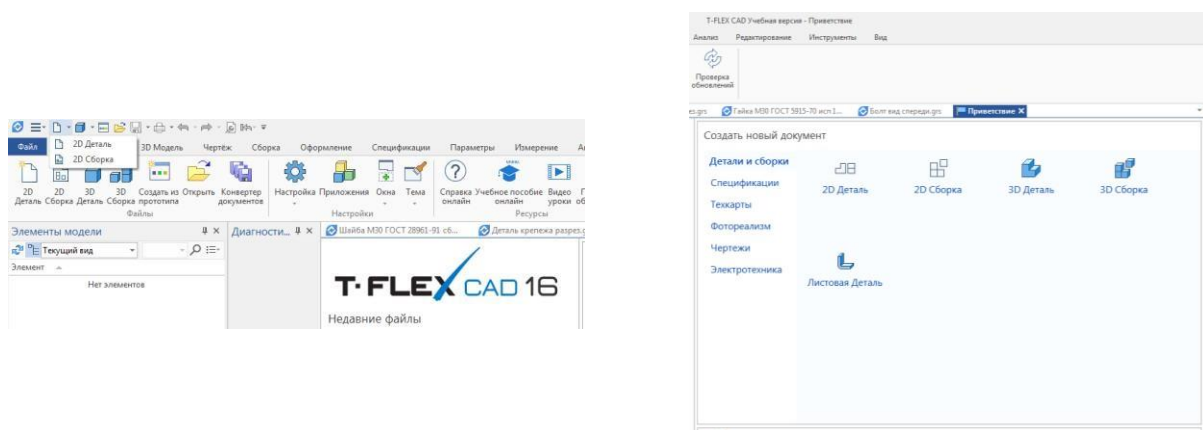


Рисунок 3.14. Фрагменты гайки, шайбы и стягиваемой детали

3.2. Формирование файла 2D сборки

Для создания 2D сборки необходимо создать файл её чертежа. Способы создания проиллюстрированы на рисунок 3.15.

После создания файла необходимо подготовить поле чертежа для размещения в нём фрагментов.



а) создание 2D сборки в верхней панели инструментов

в) создание 2D сборки в окне приветствия

Рисунок 3.15. Способы создания 2D сборки

В нашем случае достаточно создать локальную систему координат и узел на вертикальной оси (построением дополнительной вспомогательной горизонтальной прямой). В случае, если понадобятся для привязки и другие узлы, их можно создать добавлением необходимых вспомогательных прямых, окружностей и др. Кроме того, помещаемые фрагменты также вносят в чертёж свои узлы.

В созданном документе активизируем пункт меню Сборка, в нём – Фрагмент (рис. 3.16).

В результате открывается панель инструментов по работе с фрагментами, в которой верхняя кнопка – Выбрать файл. В списке файлов выбираем Деталь для крепежа, после чего на отображается в поле чертежа (первоначально своей точкой привязки в точку поля чертежа с такими же абсолютными координатами).

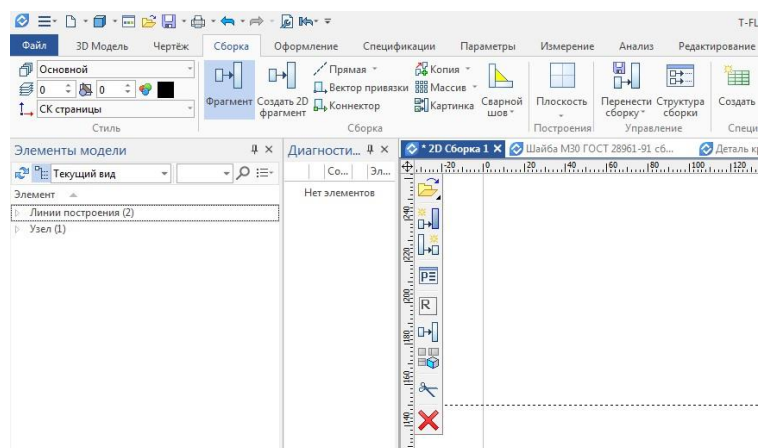


Рисунок 3.16. Диалог по добавлению фрагмента

Но так как используется привязка вектором, то фрагмент подвижен, связан с указателем мыши. Переместив его в узел центра локальной системы координат, зафиксировав его, следующим шагом поворачиваем вектор привязки вертикально вниз и также фиксируем. Фрагмент установлен.

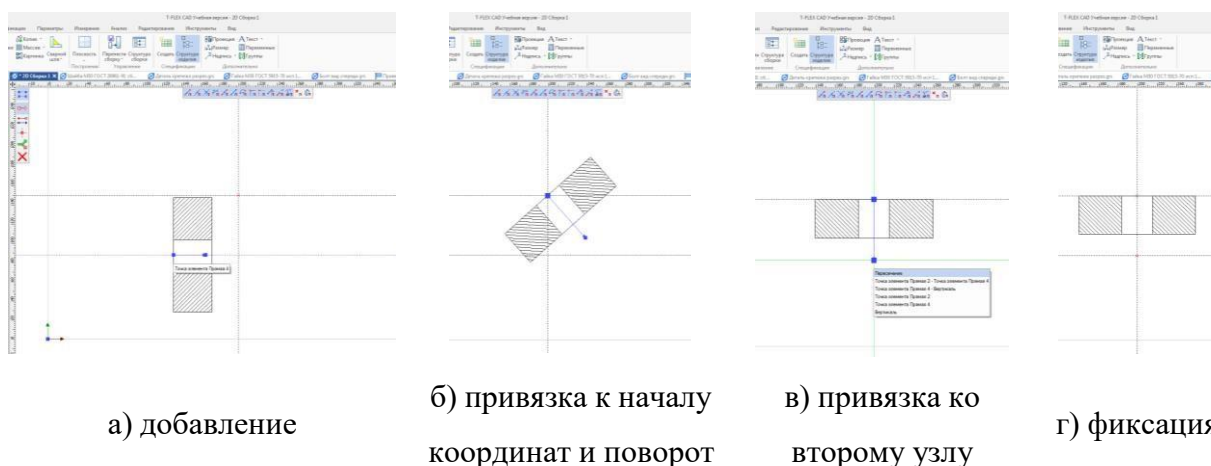


Рисунок 3.17. Этапы добавления фрагмента в файл сборки

Таким же образом добавляются и другие фрагменты. Созданная сборка показана на рис. 3.18.

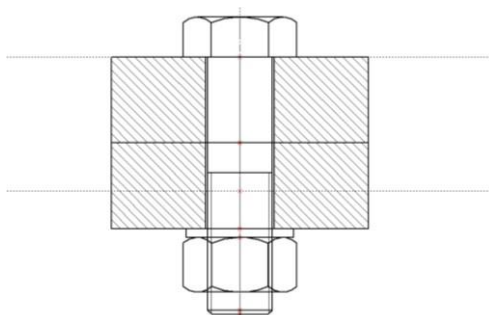


Рисунок 3.18. Фрагменты, помещённые и файл 2D сборки

Как видно, сборка выглядит некорректно. Детали не заслоняют друг друга, что приводит к неправильному восприятию: видны все линии, как основного контура, так и обозначающие резьбу. Таким образом, необходимо решить ещё одну задачу: удалить (в данном случае – скрыть) невидимые линии.

3.3. Удаление невидимых линий на чертеже 2D сборки

Действия по удалению (скрытию) невидимых линий не являются сложными, но требуют внимательности и некоторого терпения. Эти действия, по сути, состоят из создания штриховки на тех элементах фрагментов, которые должны закрывать линии других фрагментов, а также в управлении приоритетом.

Рассмотрим эти действия на примере болта, а затем покажем, как удобно и быстро можно применить их по отношению к гайке (обратим внимание, что у гайки несколько участков с криволинейными границами, которые также должны закрыть линии болта и детали).

Действия по отношению к фрагменту болта проиллюстрированы на следующих рисунках (рис.3.19 ... 3.28).

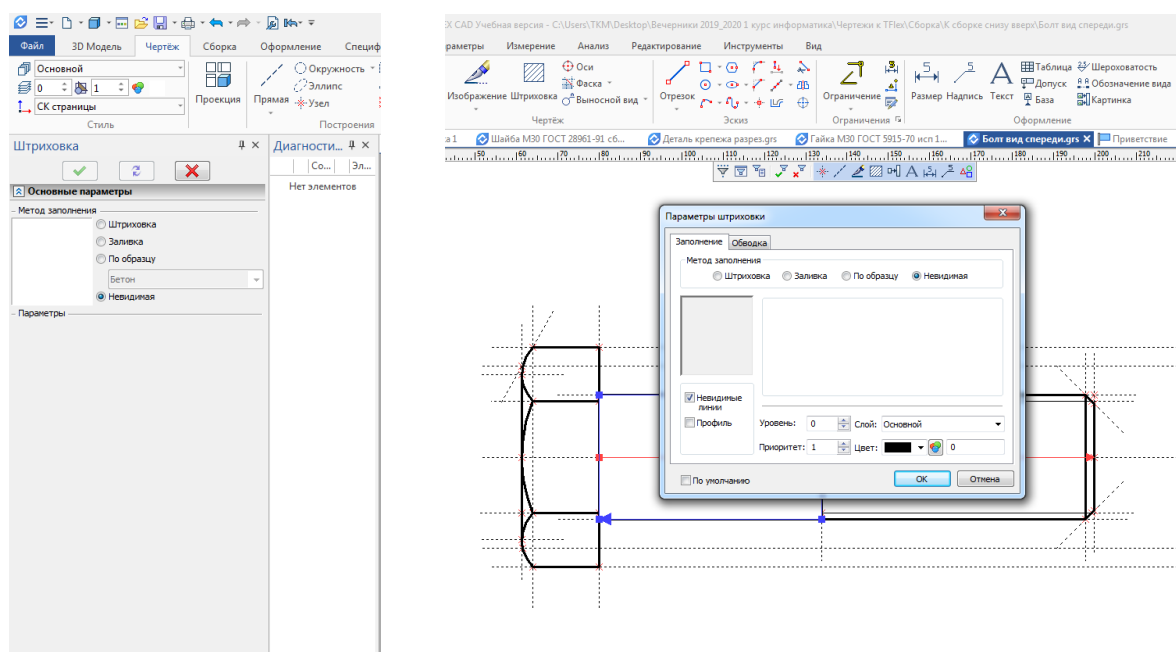


Рисунок 3.19. Создание невидимой штриховки на части болта

При создании штриховки нужно выбрать невидимую штриховку, обвести контур той части чертежа, которая на сборке должна закрыть линии (сделать их невидимыми), и подтвердить выбор. Далее необходимо щелкнуть правой кнопкой внутри созданного контура и взвести флажок у опции Невидимые линии, а также задать приоритет (в данном случае 1). Выбранная часть контура скрывает линии чертежа, в том числе и линии основного контура (см. рис.3.20). Если приоритет оставить равным нулю, то и в сборочном чертеже скрывания невидимых линий не произойдёт, так как у них одинаковый приоритет с линиями других фрагментов. При установленном приоритете линии в сборочном чертеже скрыты, но и скрыты линии контура.

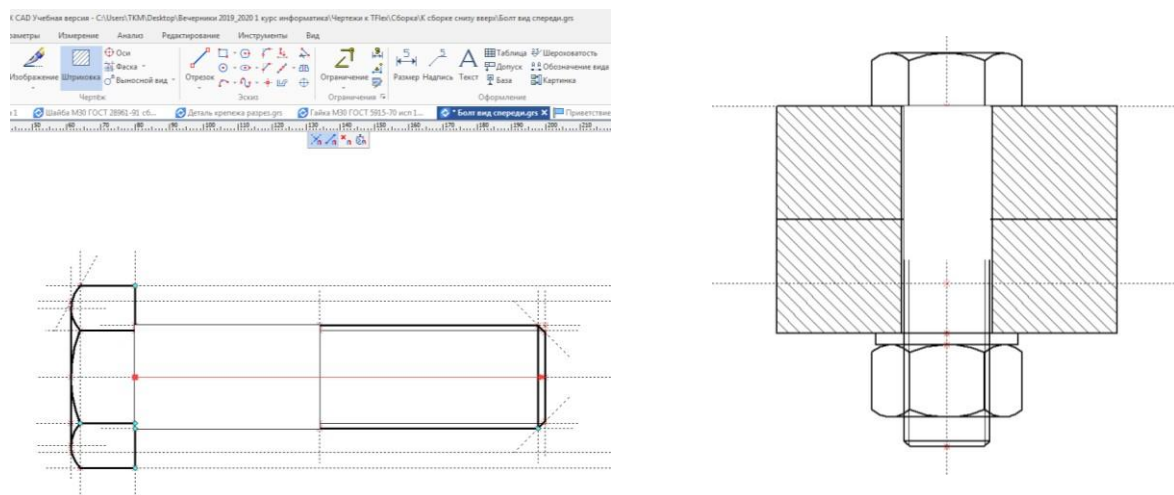


Рисунок 3.20. Невидимая штриховка скрывает линии основного контура

Приоритет линий контура нужно отредактировать в документе фрагмента. Как это сделать, показано на рис. 3.21 ... 3.24.

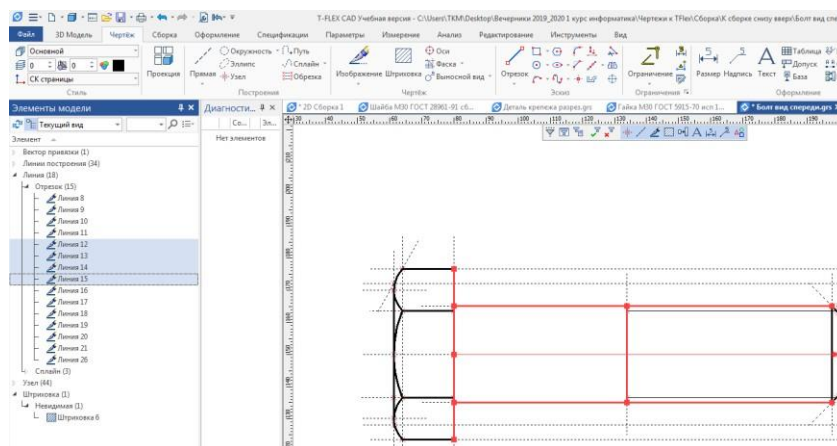


Рисунок 3.21. Линии контура, которые ограничивают контур штриховки

На рис. 3.21 показаны линии, ограничивающие контур, по отношению к которому применена невидимая штриховка. В данном случае это линии 12, 13, 14 и 15. Каждую из них необходимо отредактировать.

Процесс редактирования состоит в следующем. Необходимо в окне Элементы модели щелкнуть правой кнопкой по нужному объекту (Линия 12) и выбрать опцию Параметры (рис. 3.22).

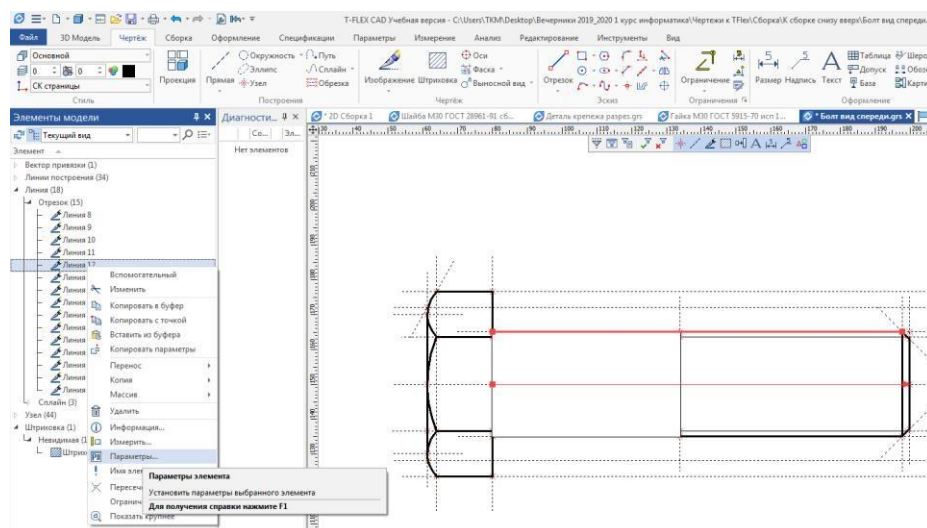


Рисунок 3.22. Выбор свойства Параметры элемента для его редактирования

Далее в форме Параметры линии изображения установить приоритет (в данном случае, равный 1), см. рис.3.23. Поскольку у линии приоритет такой же, как у штриховки, она также теперь отображается во фрагменте (см. рис. 3.24).

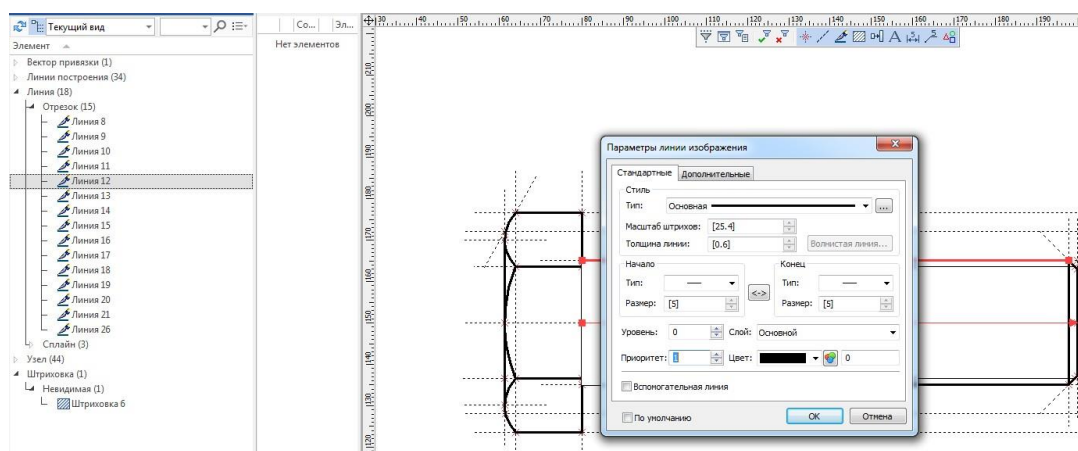


Рисунок 3.23. Установка значения приоритета Линии 12 (линии изображения)

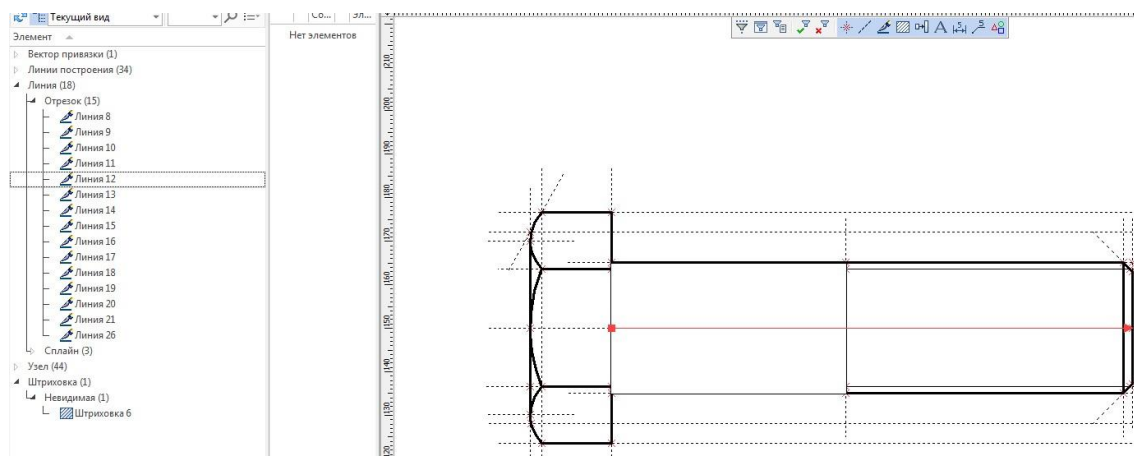


Рисунок 3.24. Линия 12 отображается в чертеже фрагмента

Таким же образом нужно поступить и с остальными линиями рассматриваемого контура. В конечном итоге, после сохранения файла фрагмента и переходе в файл сборки появится окно с сообщением о том, что фрагмент изменён, и вопросом об обновлении объекта в чертеже сборки (рис. 3.25). При нажатии на кнопку Да, чертёж обновляется и принимает вид, как на рисунке 3.26.

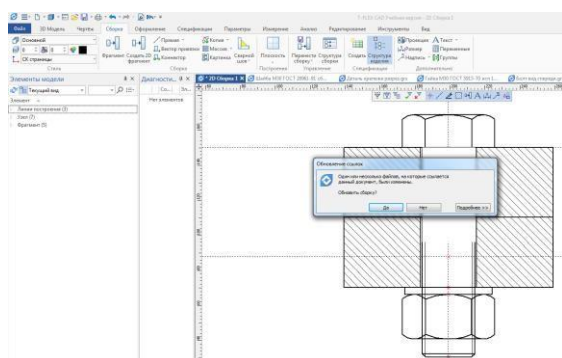


Рисунок 3.25. Запрос на обновление фрагмента

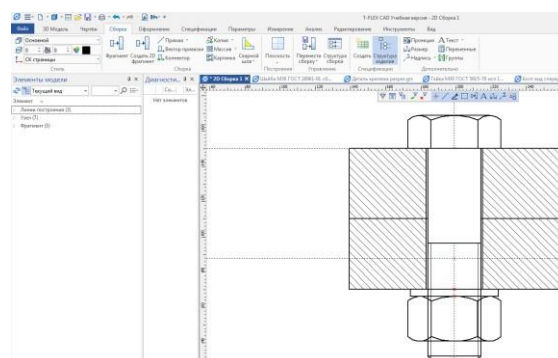


Рисунок 26. Обновлённый вид чертежа сборки

В случае, если обновления не произошло, необходимо отредактировать параметры фрагмента в чертеже сборки. Для этого нужно подвести мышь к фрагменту так, чтобы он выделился сиреневой рамкой, щёлкнуть правой кнопкой мыши, выбрать в открывшемся окне значок Параметры фрагмента (рис. 3.27) и установить приоритет 1 (по умолчанию у него приоритет 0). Поступая таким же образом по отношению к другим фрагментам, добиваемся в конечном итоге корректного изображения сборки (рис. 3.28). Отметим, что

Т-FLEX CAD 2D Сборка 1

рение Анализ Редактирование Инструменты Вид

ость Перенести Структура сборки* Создать Структура изделия Надпись Группы

ения Управление Спецификации Дополнительно

ГОСТ 28961-91 сб... Деталь крепежа разрез.gis Гайка МЭО ГОСТ 5915-70 исп 1... Болт вид сверху.gis

140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260

Параметры фрагмента

Параметры фрагмента Преобразование

В сборке снизу вверх Шаблон МЭО ГОСТ 28961-91 сборку

C:\Users\TKM\Desktop\Вечерники 2019_2020 1 курс информати

Масштаб: 1 Угол поворота: 0

☒ Масштабировать толщину линий

☐ Оmitировать оmитирование векторов

☐ Игнорировать оmитирование текстов

☐ Всегда пересчитывать 3D модель

☐ Постоянный фрагмент (символ)

Включать в новую структуру изделия: без вложенных элементов

Включение в структуру изделия...

Уровни: 0 Слои: Основной

Приоритет: 0 Статус: документа фрагмента

Цвет: ☐ ☐ 0

Установки... ☐ По умолчанию

OK Отмена

68

4. Создание 3D сборок в *T-FLEX CAD*

4.1. Создание трёхмерных моделей в *T-FLEX CAD*. Основные операции

Знакомство с «твердотельным» моделированием (3D-моделированием) проведём на примере создания сборки крепёжного соединения, в которое входят следующие детали: деталь, которая подлежит стягиванию болтовым соединением (присутствует в сборке в двух экземплярах), болт М30, гайка М30 и соответствующая резьбе М30 шайба. Сборка представлена на рисунке 4.1.

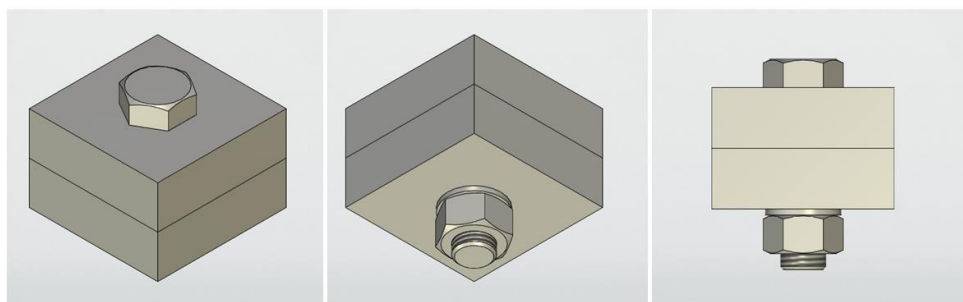


Рисунок 4.1. Болтовое соединение

Важно понимать, что для создания 3D-моделей используют специализированные информационные технологии, которые принято называть технологиями твердотельного моделирования (автоматизированного проектирования). Они оперируют такими понятиями как «твёрдое тело», «оболочка», «поверхность», «грань», «ребро (кромка)», «вершина» и др. В разных технологиях эти понятия могут иметь отличающиеся названия. Например, в *SOLIDWORKS* используется понятие «кромка» (правда, это в определённой мере зависит от перевода с английского языка), а в *T-FLEX CAD* – «ребро», при этом суть объектов одинакова. В основе представления всех указанных объектов – их математическое описание, дополненное, если необходимо, физическими параметрами.

Рассмотрим прямой параллелепипед и на его примере поясним суть указанных выше понятий.

Каждый из элементов параллелепипеда имеет своё математическое описание в виде соответствующего ему уравнения (или системы, или совокупности уравнений). Параллелепипед $ABCD A_1 B_1 C_1 D_1$ (см. рисунок 4.2) расположен в координатном пространстве $Oxyz$ так, что нижняя его грань ($ABCD$) находится на плоскости xOy (в терминологии *T-FLEX CAD* – плоскость *СВЕРХУ*), грань $AA_1 B_1 B$ – в плоскости xOz (*СПЕРЕДИ*), грань $BB_1 C_1 C$ отстоит от плоскости yOz (*СЛЕВА*) на расстояние x_0 , при этом рёбра параллелепипеда параллельны соответствующим осям координат.

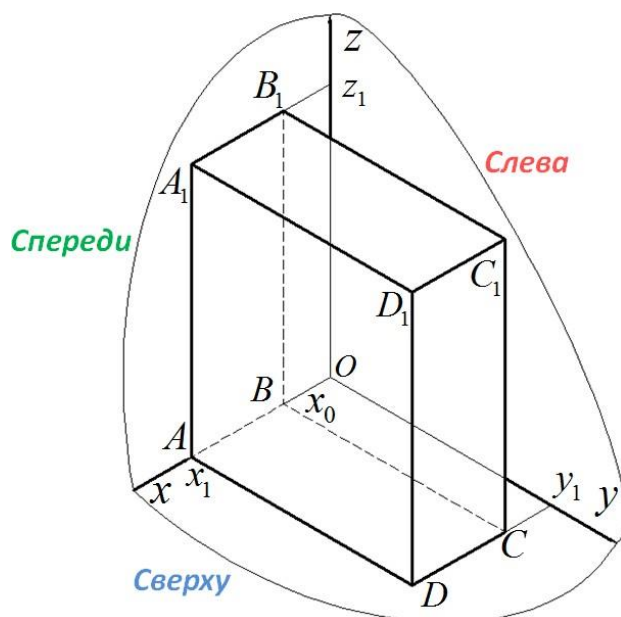


Рисунок 4.2. Вид прямоугольного параллелепипеда в координатном пространстве *T-FLEX CAD*

Запишем уравнения плоскостей, в которых лежат его грани:

Таблица 4.1. Уравнения плоскостей

Грань	Уравнение плоскости
$ABCD$	$z = 0$
$A_1 B_1 C_1 D_1$	$z = z_1$
$AA_1 B_1 B$	$y = 0$
$DD_1 C_1 C$	$y = y_1$
$AA_1 D_1 D$	$x = x_1$
$BB_1 C_1 C$	$x = x_0$

Пересечения непараллельных плоскостей дают уравнения прямых, на которых лежат рёбра. Например, уравнение прямой, включающей ребро $A_1 B_1$, представляет собой следующую систему (напомним, речь идёт о *пересечении*

двух множеств: множества точек плоскости AA_1B_1B и множества точек плоскости $A_1B_1C_1D_1$, поэтому в математическом смысле это именно *система*):

$$\begin{cases} y = 0; \\ z = z_1. \end{cases}$$

То есть это прямая, которая лежит в плоскости xOz (так как $y=0$), параллельна оси Ox и отстоит от неё на величину z_1 . В свою очередь, уравнение отрезка A_1B_1 представляет собой следующую систему:

$$\begin{cases} y = 0; \\ z = z_1; \\ x \geq x_0; \\ x \leq x_1. \end{cases}$$

Так же можно записать уравнения для каждого ребра (системой, включающей пересечение двух образующих его плоскостей с добавлением к ней ограничений на соответствующую координату вдоль отрезка). Отметим, что в информационной технологии *ребро* - *понятие математическое*: оно состоит из множества точек, имеет длину, но не имеет ширины и высоты, а также и массы. Между тем ребро в реальной жизни вполне осязаемо. Совокупность систем для всех рёбер определит *множество*, состоящее из *рёбер*. Это так называемая *каркасная* модель (в терминологии *T-FLEX CAD* – *проволочная* модель). Опять же, в жизни каркас – часто используемый термин некоторой конструкции, определяющий её форму и жесткость.

Очевидно, что пересечение каждых трёх смежных плоскостей определяет координаты их общей вершины.

Если составить систему, включающую уравнения всех плоскостей параллелепипеда, то получим множество всех точек, принадлежащих его граням (и вершинам, конечно). Такой системой математически определяется *поверхностная модель (оболочка)*. И снова отметим, что в информационной технологии эта оболочка не имеет толщины и, следовательно, объёма и

массы (не путать с объёмом внутри или вне параллелепипеда: эти точки поверхности не принадлежат):

$$\left\{ \begin{array}{l} x = x_0; \\ x = x_1; \\ y = 0; \\ y = y_1; \\ z = 0; \\ z = z_1. \end{array} \right.$$

Полученное множество разделяет всё пространство на две части: одна из них лежит целиком вне параллелепипеда, вторая – внутри него. Отсюда остался один шаг до модели, описывающей объект, имеющий объём:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 \leq x \leq x_1; \\ 0 \leq y \leq y_1; \\ 0 \leq z \leq z_1. \end{array} \right.$$

Эта система описывает множество точек, принадлежащих поверхности параллелепипеда, а также тех, которые находятся внутри него. Это уже *геометрическое тело* (подобно тому, как сфера – это поверхность, а шар – тело). Таким образом, геометрическое тело описывается *системой неравенств*.

Отметим, что в этой системе неравенств отсутствуют явно уравнения и рёбер, и вершин. Их координаты рассчитываются и в соответствии с этими расчётами отображаются на экране монитора. Ребра как-бы нет. Его параметры в памяти не сохраняются. Поэтому в некоторых системах (например, в *SOLIDWORKS*) в случаях, если требуется сборку механизма передать в другую систему, где исследуется динамика его движения (например, в *SIMMECHANICS/SIMULINK/MATLAB*), не рекомендуется устанавливать сопряжения по кромкам (рёбрам). Это приведёт к тому, что сопрягаемые детали, обладающие в этом соединении (ещё раз отметим, что речь идёт о *SOLIDWORKS*) взаимной подвижностью (например, вал и корпус образуют вращательную пару с одной степенью свободы), после трансляции

в *SIMMECHANICS* подвижность потеряют (транслятор заменит такое соединение на неподвижное: «запрессует» вал в корпус). Если по отношению к ребру применяется операция построения фаски или скругления, то система уравнений этой поверхности добавляется в систему уравнений тела.

Если к математическому описанию геометрического тела добавить физический параметр - плотность (а также и другие параметры, связанные с материалом: модуль упругости, коэффициент Пуассона и др.), то возникает понятие «твёрдого тела». «Твёрдым» оно называется потому, что система неравенств, описывающая его, не изменяется в своей локальной системе координат. Очевидно, координаты могут меняться при повороте тела, при его продольном перемещении. Но при этом относительные связи неизменны, тело – не деформируемо. Понятно, что для твёрдого тела можно рассчитать массу и тензор моментов инерции.

Поясним ещё несколько важных с точки зрения создания *3D*-моделей в *T-FLEX CAD* понятий.

Профиль – одно из самых важных понятий, используемых в *T-FLEX CAD* (в *SOLIDWORKS* эквивалентный профилю объект носит название *эскиз*). Для построения моделей твёрдых тел используется *3D*-профиль – контур, ориентированный в трёхмерном пространстве. Его форма и ориентация в пространстве определяется теми элементами, из которых профиль создан (отрезки, дуги, сплайны и т.д.) [27]. Как правило, профиль является замкнутой геометрической фигурой. В случае, если профиль незамкнут, то на его основе формируется листовое тело. На основе замкнутого контура возможно создание как твёрдого тела, так и листового.

Существуют различные способы создания профиля (подробно в [27]). Один из них – создание профиля на основе *2D* элементов (линий изображения). В нём возможно два подхода: 1 – традиционный для *T-FLEX CAD* *2D* чертёж с использованием линий построения и последующей обводкой; 2 – применяемый в большинстве *CAD*, т.е. на основе эскизов, в которых вспомогательные построения не используются, а профиль создаётся

сразу линиями изображения, между которыми устанавливаются связи. В рассматриваемом примере будем использовать первый способ.

3D узел – элемент, обозначающий точку в трёхмерном пространстве. *3D узел* используется для указания точек привязки объектов, при создании локальных систем координат, при создании осей для формирования тел вращения и т.д. *3D узел* может создаваться как на основе *2D* (*2D узлов*), так и на основе *3D элементов* (вершин).

Рабочая плоскость – плоскость, в которой создаётся профиль. Плоскость позволяет создать двумерный объект, который затем переносится в трёхмерное пространство. На каждой рабочей плоскости создаётся *2D чертёж*. Рабочая плоскость также служит для отсечения части объекта и др. Первоначально существуют три рабочие плоскости: *СПЕРЕДИ*, *СЛЕВА* и *СВЕРХУ*.

Основные операции *3D* моделирования:

- *выталкивание* (основная операция создания тела на основе профиля, эквивалент в *SolidWorks* - вытягивание),
- *вращение* (создание тела вращением профиля вокруг оси),
- *булева операция* (операции, применяемые к *3D* телам как множествам: сложение тел, вычитание одного из другого (фактически - вырез), пересечение тел),
- *сглаживание* (возможность создания фасок, скруглений как по отношению к рёбрам, так и граням).

Кроме того, *3D* модели могут создаваться также на основе встроенных элементов (*примитивы*, *пружины*, *резьба*, *отверстия*, *сварка*, *ребро жёсткости* и др.). С частью из них познакомимся в настоящем примере.

Полный перечень и детальное описание всех элементов и операций *3D* моделирования в *T-FLEX CAD* содержится в [27].

Перейдём непосредственно к *3D* моделированию. Знакомство с процессом создания *3D*-модели детали начнём с гайки.

В таблице 4.2 представлены размеры гайки М30 в соответствии с ГОСТ 5915-70.

Таблица 4.2. Гайка М30 исполнение 2 ГОСТ 5915-70 (шаг резьбы 3,5 мм)

d (мм)	m (мм)	e (мм)	dw (мм)	φ (°)	S (мм)	da (мм)	γ (°)
Номинальный диаметр резьбы	Высота гайки	Диаметр описанной окружности	Образующий диаметр фаски головки	Угол наклона образующей фаски	Размер под ключ	Образующий диаметр фаски резьбы (не более)	Угол сверла под фаску резьбы
30	25,60	50,9	44	15...30	46	32,4	90...120

Используемые в таблице обозначения соответствуют тем, которые использованы в указанном ГОСТе и показаны на рисунке 4.3.

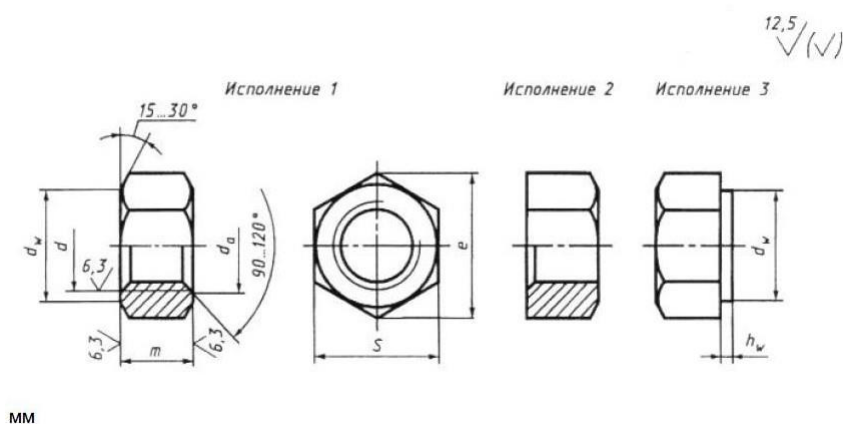


Рисунок 4.3. Вид гайки разного исполнения

Как указано выше, создание 3D объекта начинается с выбора рабочей плоскости. В данном случае используем плоскость Сверху. Кроме того, поскольку гайка представляет собой тело на основе *шестигранной призмы*, воспользуемся соответствующим примитивом. Кроме того, отметим, что и головка болта в основе также правильная шестигранная призма, то есть часть гайки может быть использована и для создания головки болта. Далее: у гайки в первом исполнении две фаски, т.е. гайка имеет симметрию относительно горизонтальной плоскости (см. рисунок 4.3). Это значит, что может быть создана одна верхняя половина гайки, на основе которой создаётся симметрично нижняя часть гайки, а также и головка болта.

Итак, по пунктам.

1. Выбор рабочей плоскости. В качестве рабочей выбираем плоскость *СВЕРХУ* (рисунок 4.4). Выбор плоскости осуществляется при создании 3D модели (именно этот режим нужно указать в исходном окне *T-FLEX CAD*). При выборе плоскости никаких действий из контекстного меню (см. рисунок 4.4) не производится.

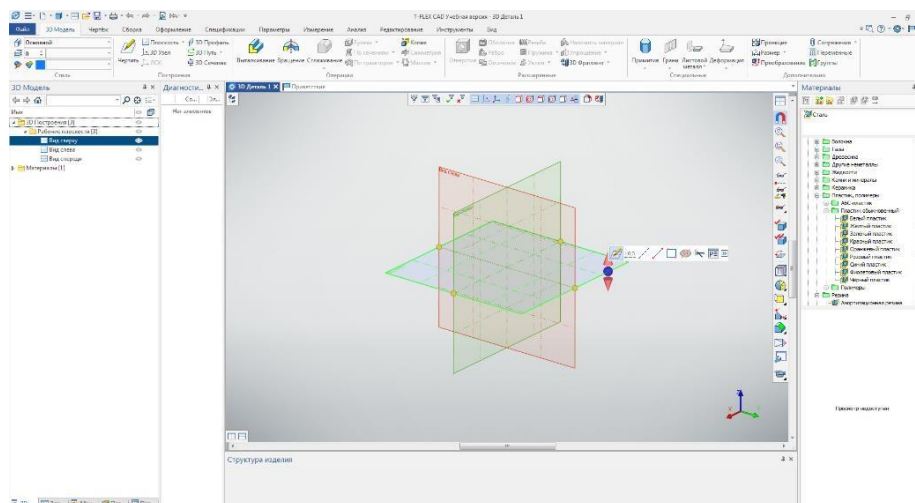


Рис. 4.4. Выбор рабочей плоскости

2. Выбор примитива, его размещение на рабочей плоскости и установка значений его параметров. На рис.4.5 показан процесс выбора соответствующего примитива (*Призма*). После выбора этого примитива он помещается в начало координат выбранной рабочей плоскости. Это обусловлено тем, что у примитива есть своя локальная система координат, и при его выборе она привязывается к системе координат рабочей плоскости (в данном случае – к мировой система координат).

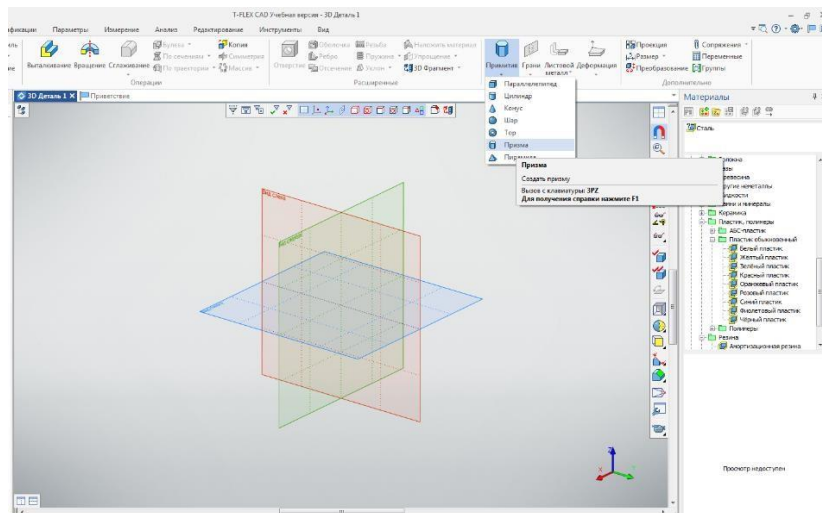


Рисунок 4.5. Выбор примитива Призма

На рисунке 4.6 показан размещённый на рабочей плоскости образ шестигранной прямой призмы. Видны стрелки, которые связаны с *манипуляторами*. При помощи манипуляторов можно вручную корректировать размеры и пространственное положение примитива. Напомним, что локальная система призмы связана с мировой системой координат, поэтому доступны только изменения размеров и повороты вокруг координатных осей.

На рисунке 4.6 также видно, что слева от рабочего окна располагается окно Примитив, в котором можно указать его размеры: диаметр и высоту. Следует обратить внимание, что окружность, диаметр которой устанавливается, касается сторон шестиугольника *изнутри* (т.е. в нашем случае диаметр – это размер под ключ). Если требуется управлять величиной внешнего диаметра, то необходимо снять флажок у параметра Внутренний. Справа на рисунке 4.6 показан вид окна Примитив с установленными размерами. Обратим внимание, что высота установлена равной половине высоты гайки. Созданная заготовка гайки показана на рисунке 4.7.

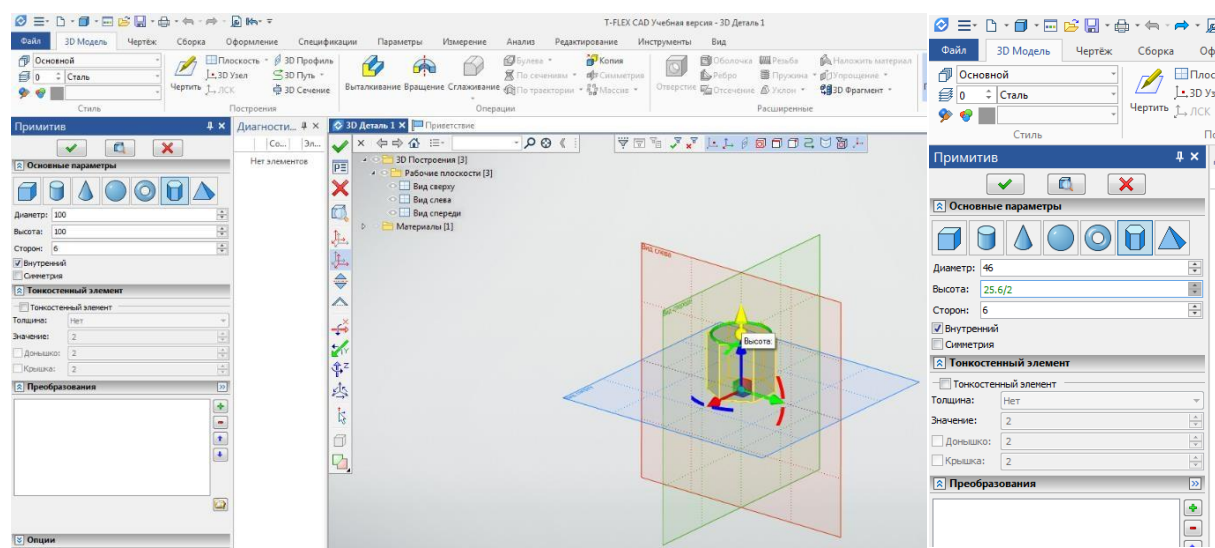


Рисунок 4.6. Установка размеров гайки

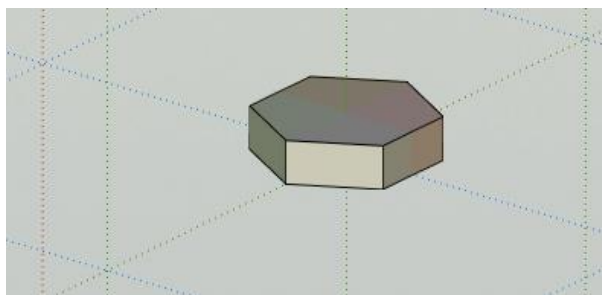


Рисунок 4.7. Созданная заготовка половины гайки

Следующей операцией является создание конической фаски на верхней плоскости. Эту операцию можно выполнить двумя способами: либо с использованием примитива Конус, либо созданием профиля и вращением его вокруг вертикальной оси. Используем второй способ.

3. Создание профиля для снятия конической фаски. Для создания профиля необходимо выбрать рабочую плоскость. Так как конус, образующий фаску, является телом вращения вокруг вертикальной оси и обладает симметрией, то в качестве оси вращения в нашем случае нужно использовать вертикальную ось мировой системы координат. Она лежит на пересечении двух координатных плоскостей: *СПЕРЕДИ* и *СЛЕВА*. Таким образом, в качестве рабочей может быть выбрана любая из них. Выберем плоскость *СПЕРЕДИ* (рисунок 4.8). При этом в контекстном меню укажем размещение двух взаимно перпендикулярных вспомогательных прямых в точке с координатами (0, 0). В открывшемся 2D чертеже создадим профиль, показанный на рисунок 4.9.

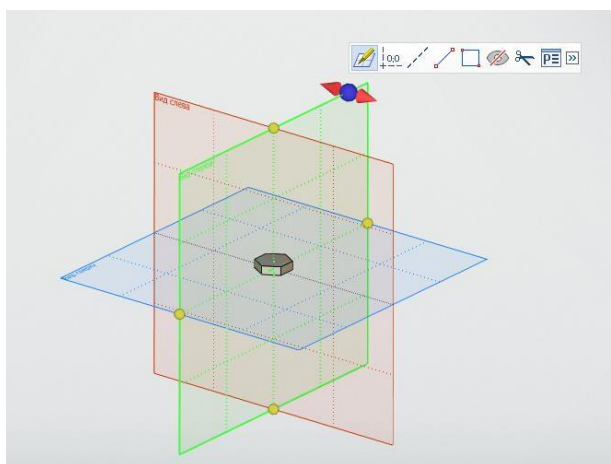


Рисунок 4.8. Выбор плоскости для создания профиля фаски

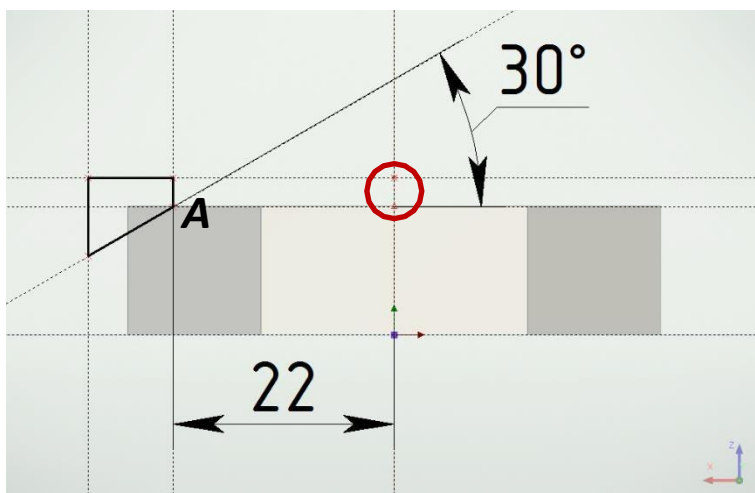


Рисунок 4.9. Создание 3D профиля и двух 3D узлов

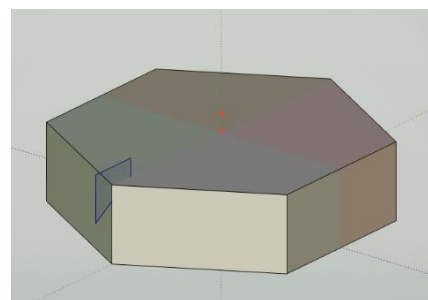


Рисунок 4.10. Профиль и узлы созданы

По поводу профиля укажем следующее. Важными являются три параметра:

- наклон образующей конуса 30° по отношению к горизонту (напомним, что по ГОСТ этот угол лежит в диапазоне от 15° до 30°);
- координата точки A пересечения образующей конуса верхней плоскостью заготовки в плоскости *СПЕРЕДИ* (22 мм, величина равна половине диаметра образующей фаску окружности);
- привязка этой точки (A) к верхней грани заготовки.

Сам профиль имеет вид прямоугольной трапеции, положение двух сторон которой (левой и верхней) не имеет существенного значения. Важно только, чтобы они выходили за габарит заготовки.

Помимо профиля созданы два 3D узла (выделены на рисунке 4.9). Эти узлы определяют пространственное положение оси вращения в следующей операции.

4. Выбор операции Вращение. Для того чтобы создать фаску по всему периметру гайки, нужно применить по отношению к профилю операцию Вращение. В этой операции участвуют два объекта: поворачиваемый профиль и пространственная ось, вокруг которой профиль поворачивается.

Операция активируется нажатием на кнопку Вращение панели Операции (см. рисунок 4.10).

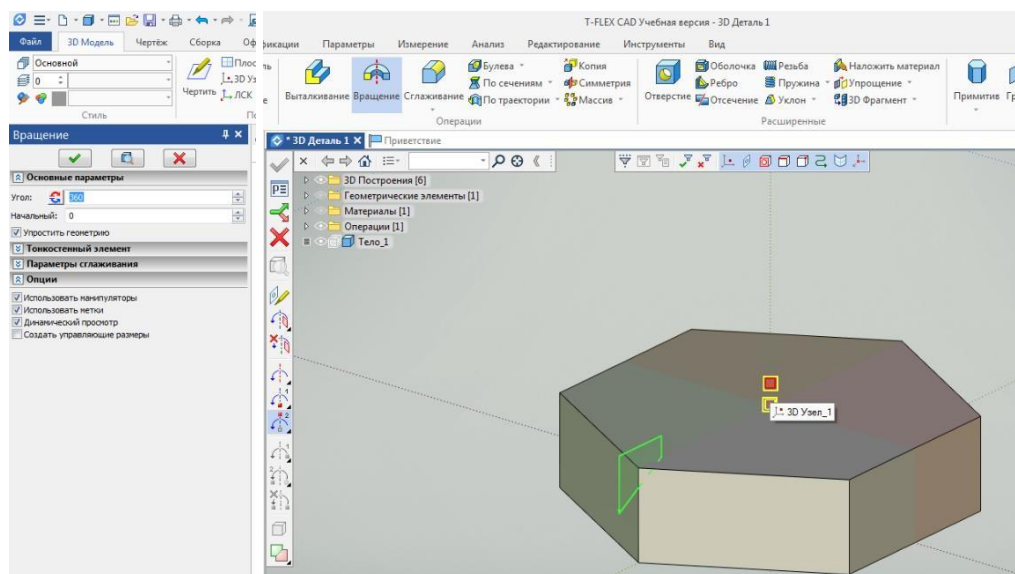


Рисунок 4.10. Выбор операции Вращение и определение её параметров

В процессе операции Вращение на одноимённой вкладке (рисунок 4.10 слева) устанавливается угол поворота (по умолчанию 360°), а в левой панели инструментов выбирается профиль (кнопка с карандашом), затем нижний (1) и, наконец, верхний (2) 3D узел. В результате будет представлен вид получаемого тела вращения (рисунок 4.11). После подтверждения получается тело, показанное на рисунке 4.12.

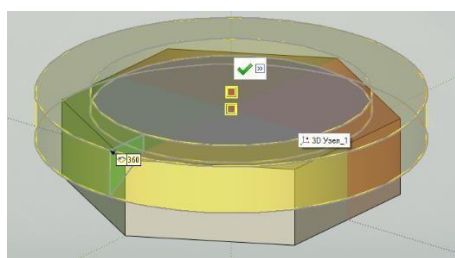


Рисунок 4.11. Состояние операции Вращение перед завершением

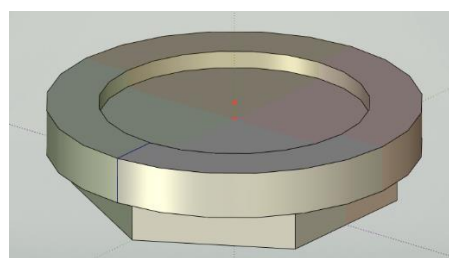


Рисунок 4.12. Полученное тело

Понятно, что полученный результат далёк от желаемого, потому что по умолчанию произошло объединение двух множеств. Для того чтобы получить фаску, необходимо к результату применить булеву операцию Вычитание, проиллюстрированную на рисунке 4.13 (из тела, полученного на основе примитива, необходимо вычесть тело, полученное вращением). В

процессе операции указывается два тела: *Тело1* как уменьшаемое, и *Тело2* как вычитаемое. После подтверждения получен показанный ниже результат. Как видно, по всему периметру гайки сделана коническая фаска. В *SOLIDWORKS* для выполнения рассмотренных действий применяется операция *ПОВЁРНУТЫЙ ВЫРЕЗ*.

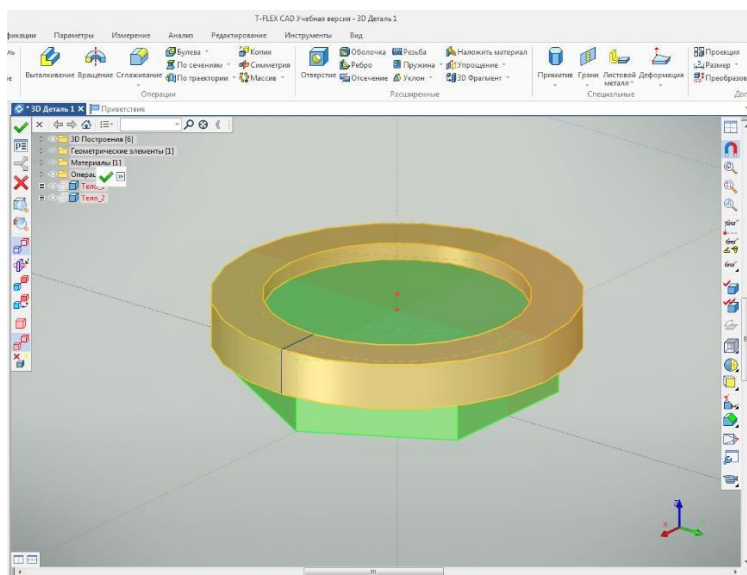


Рисунок 4.12. Булева операция Вычитание

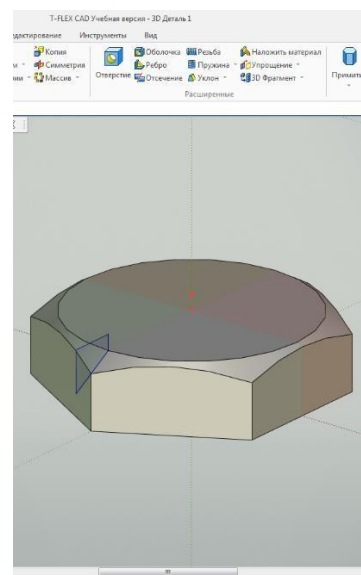


Рисунок 4.13. Её результат

Полученную часть гайки сохраним в двух экземплярах: один – для доработки заготовки в гайку, второй – для доработки в болт.

Продолжим создание гайки.

5. Создание симметричного тела. Так как предыдущие этапы позволили создать одну половину гайки, а вторая является ей симметричной, необходимо создать такое зеркальное отражение верхней части. Для этого создаётся симметричное тело – операция Симметрия (см. рисунок 4.14). В процессе выполнения этой операции указывается тело, для которого строится, и плоскость, относительно которой строится, симметрия. В рассматриваемом примере плоскость симметрии – это плоскость Сверху. После подтверждения операции получается результат, представленный на рисунке 4.15.

Полученная *3D модель* не является единым телом: она состоит из двух частей: исходного тела и его симметрии. Обе части необходимо объединить в один объект – тело.

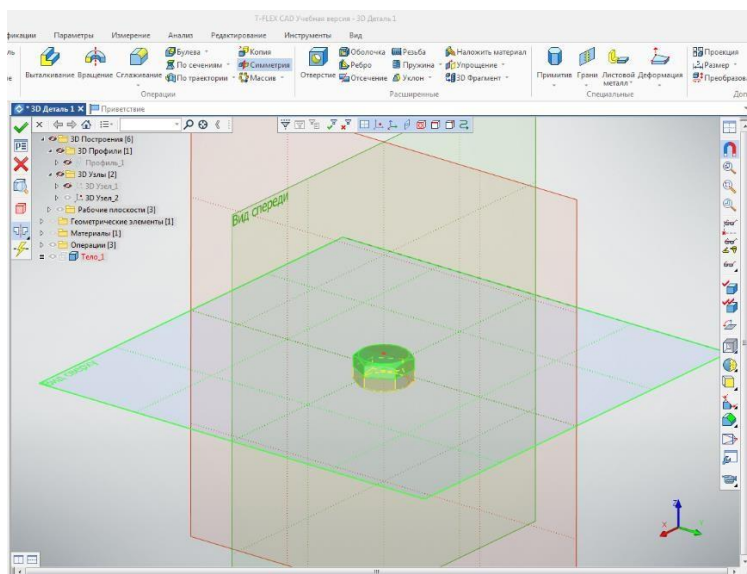


Рисунок 14. Операция Симметрия

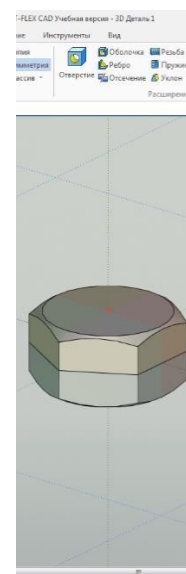


Рисунок 15. Результат симметрии

6. Объединение двух половин гайки. Для достижения результата применяется булева операция *Сложение* (рисунок 4.16). Принцип булевой операции, надеемся, понятен, поскольку проиллюстрирован ранее.

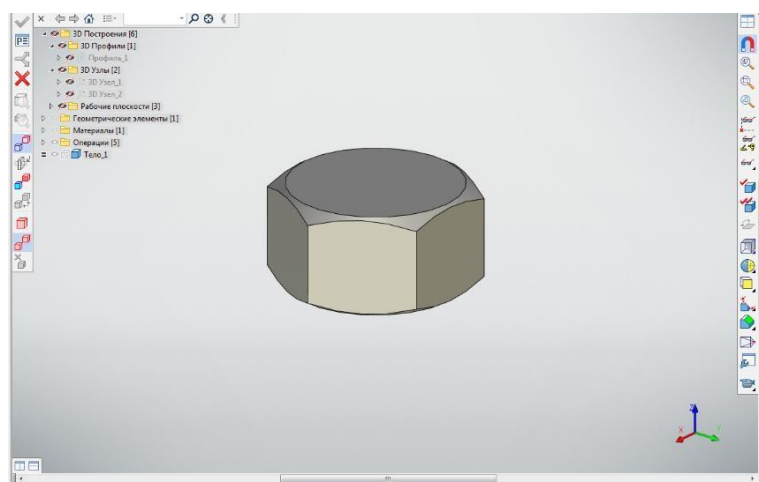


Рис. 4.16. Созданное 3D тело гайки

7. Создание резьбового отверстия. Для создания резьбового отверстия используется инструмент *Отверстие*, который позволяет создавать как обычные отверстия, так и резьбовые, как сквозные, так и глухие и т.д.

Для создания отверстия для его привязки на поверхности гайки необходим *3D узел*. В *3D модели* такой узел есть: это один из узлов, определяющих ось вращения для повернутого тела. Процесс создания резьбового отверстия показан на рисунке 4.17, а его результат – на рисунке 4.18. При создании резьбового отверстия установлены следующие параметры (рисунок 4.17, панель *Отверстие*):

- тип отверстия (выбирается из выпадающего списка): резьбовое;
- стандарт резьбы: метрическая (также выбирается из выпадающего списка);
- сквозное;
- диаметр резьбы (М30);
- шаг резьбы: 3,5 мм (согласно ГОСТ);
- резьба на всю глубину;
- однозаходная правая.

В рабочем окне указываем мышью *3D узел* (если узел не виден, то можно указать его в дереве построения). После подтверждения параметров получается результат, представленный на рисунок 4.18.

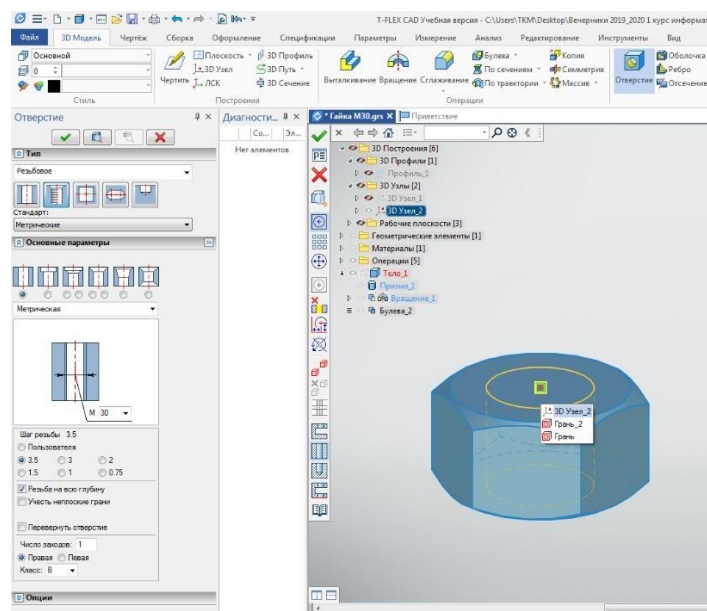


Рисунок 4.17. Выбор параметров резьбы и узла для создания резьбового отверстия

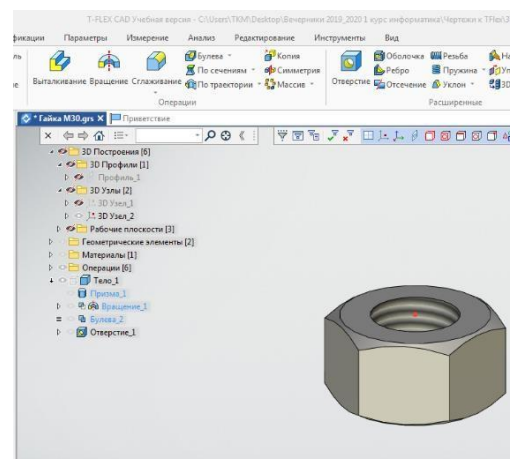


Рисунок 4.18. Результат создания отверстия

8. Создание фасок. Предусмотренные ГОСТ фаски резьбового отверстия можно создать так же, как и для верхней плоскости. Но в данном

случае это не рационально. Дело в том, что в гайке есть круговое ребро (граница отверстия и плоскостей). К этому ребру может быть применена стандартная операция Сглаживание, которая в том числе допускает и создание фасок.

Примечание. Предлагается самостоятельно найти ответ на вопрос: почему для конической фаски на гайке нельзя воспользоваться стандартной операцией Сглаживание.

Итак, фаски. Процесс проиллюстрирован на рисунке 4.19. На левой панели Сглаживание рёбер выбираем правую кнопку (фаска, задаваемая размером и углом), устанавливаем длину – 2 мм и угол – 45°. В рабочем окне указываем два ребра (они отображаются на панели *Сглаживание рёбер*) и после подтверждения получаем 3D модель гайки (рисунок 4.19, справа).

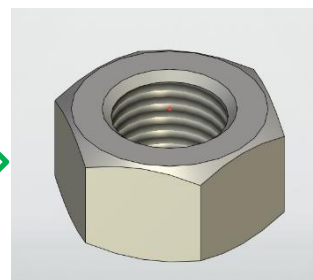
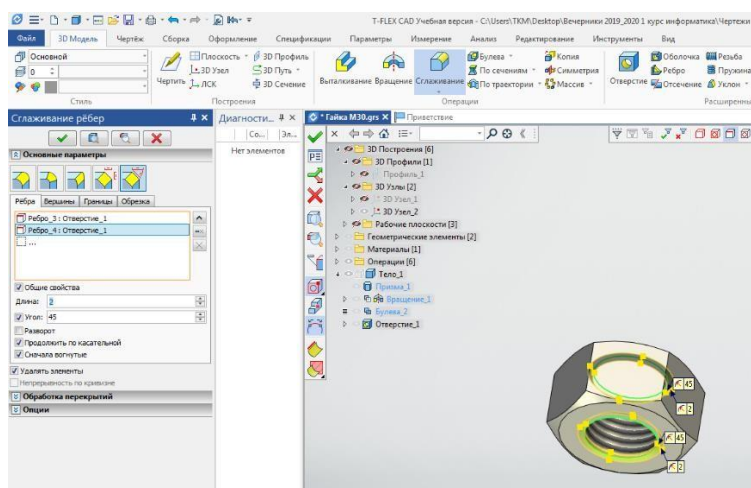


Рисунок 4.19. Определение параметров фаски и выбор кромок

Готовая 3D модель гайки

Создание 3D модели шайбы в деталях рассматривать не будем, поскольку в ней используются две стандартные операции: примитив *Цилиндр* и *Отверстие*, рассмотренные выше. Основные размеры шайбы приведены в таблице 4.3, а результат применения их показан на рисунке 4.20.

Таблица 4.3. Шайба плоская М30 ГОСТ 28961-91

$d1$ (мм)	$d2$ (мм)	h (мм)
Внутренний диаметр	Внешний диаметр	Толщина шайбы
33	50	4,00

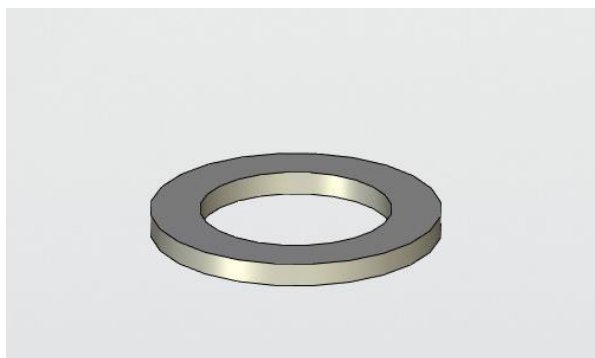


Рисунок 4.20. Готовая шайба

Рассмотрим создание детали, которая входит в болтовое соединение как скрепляемая (в двух экземплярах, поскольку для соединения нужно, как минимум, две детали). Будем использовать создание *3D профиля* на основе *2D чертежа*. Выберем плоскость сверху и создадим в ней системы координат в точке, соответствующей началу мировой системы координат (см. рисунок 4.21). *3D профиль* представляет собой квадрат со стороной 120 мм, в центре которого расположена окружность диаметром 33 мм (обеспечивает 3-миллиметровый суммарный зазор).

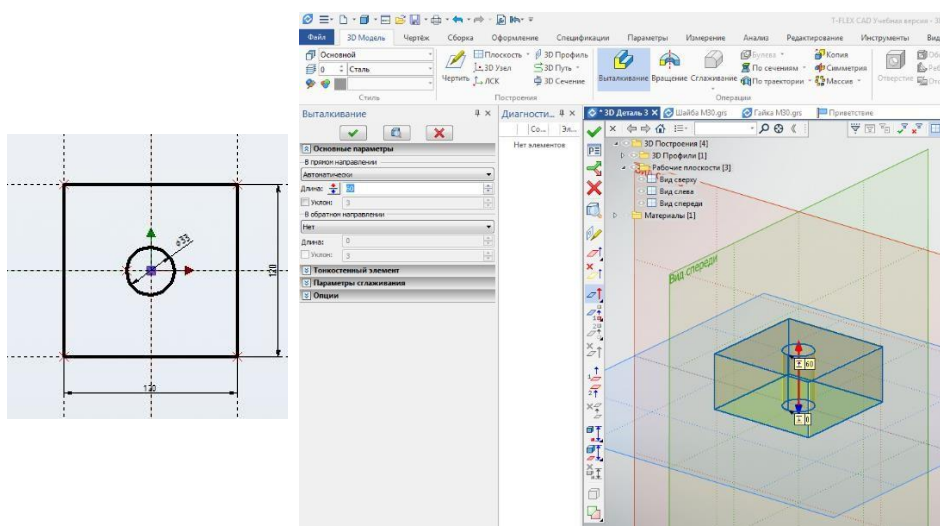


Рисунок 4.21.
Чертёж 3D
профиля

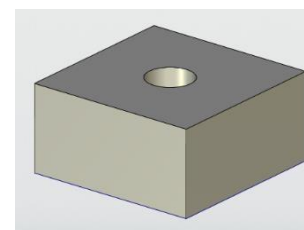


Рисунок 4.22. Параметры операции Выталкивание и результат

По отношению к этому профилю применяется операция *ВЫТАЛКИВАНИЕ* (см. рисунок 4.22). После выбора операции *ВЫТАЛКИВАНИЕ* необходимо установить её параметры: длину выталкивания и, если необходимо другие параметры (тонкостенный элемент, параметры сглаживания, уклон и др.).

При установленном режиме *АВТОМАТИЧЕСКИ вытягивание* осуществляется перпендикулярно рабочей плоскости в положительном направлении (как на рисунке). В рабочем окне нужно указать профиль. Все эти действия приводят к ожидаемому результату (рисунок 4.23).

Наконец, рассмотрим модификацию заготовки гайки в головку болта и достраивание её до готовой *3D модели* болта М30. Размеры болта представлены в таблице 4.4:

Таблица 4.4. Болт М30 исполнение 1 ГОСТ 7798-70 (шаг резьбы 3,5 мм)

<i>d</i> (мм)	<i>b</i> (мм)	<i>L</i> (мм)	<i>K</i> (мм)	<i>e</i> (мм)	<i>D</i> (мм)	φ (°)	<i>S</i> (мм)
Номинальный диаметр резьбы	Длина резьбовой части	Длина стержня болта	Высота головки болта	Диаметр описанной окружности	Образующий диаметр фаски головки	Угол наклона образующей фаски	Размер под ключ
30	66	120	18,70	50,9	44	15...30	46

На рисунке 4.24 показано положение заготовки с обозначенной системой координат *3D модели* (высота этой заготовки изменена в соответствии с указанной в ГОСТ высотой головки болта). Заготовка повернута в рабочем окне так, чтобы был доступен *3D узел* в основании, а также, чтобы пояснить суть построения цилиндрической части болта. В системе координат ось *Ox* – красного цвета, ось *Oy* – зелёного и ось *Oz* – синего. Эта система совпадает с мировой.

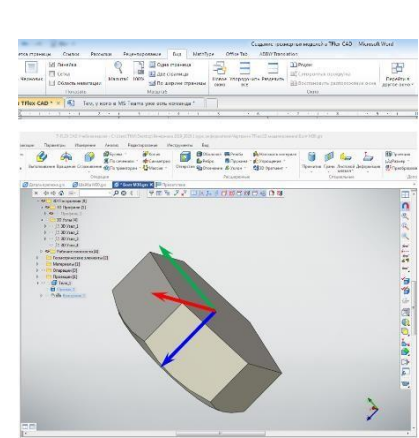


Рисунок 4.23. Координатные оси

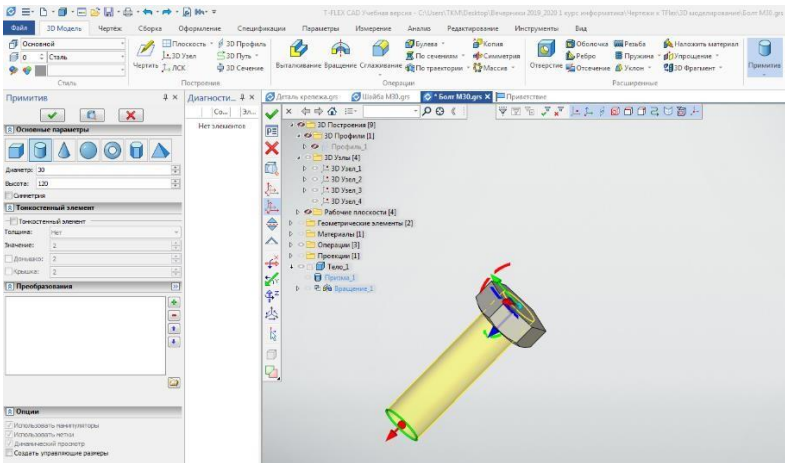


Рисунок 4.24. Добавление примитива Цилиндр

Для построения цилиндрической части болта воспользуемся примитивом *ЦИЛИНДР* (см. рисунок 4.24). Указав на нижней плоскости (на основании) головки болта *3D узел*, а на панели Основные параметры диаметр 30 мм и высоту 120 мм, получим вид, представленный на рисунке 4.24. Очевидно, что цилиндр принял положение, предусмотренное по умолчанию: перпендикулярно нижней плоскости и согласованно с мировой системой координат (см. рисунок 4.23). Для правильного позиционирования цилиндра относительно головки болта его необходимо зеркально отразить относительно плоскости основания головки. Этого можно добиться, повернув его на 180° вокруг оси *Ox*, либо вокруг оси *Oy*. Для выполнения данного действия на панели инструментов операции в рабочем коне нужно последовательно два раза щёлкнуть либо кнопке Поворот вокруг *Ox*, либо по кнопке *Oy*. После этих действий цилиндр примет правильное положение (рисунок 4.25). Можно, конечно, используя манипуляторы, повернуть вручную, но при этом есть опасность не получить точно угол поворота, что будет препятствовать сборке. Заметим, что в таком состоянии болт состоит из двух тел. Как указано ранее, к нему необходимо применить булеву операцию *Сложение*.

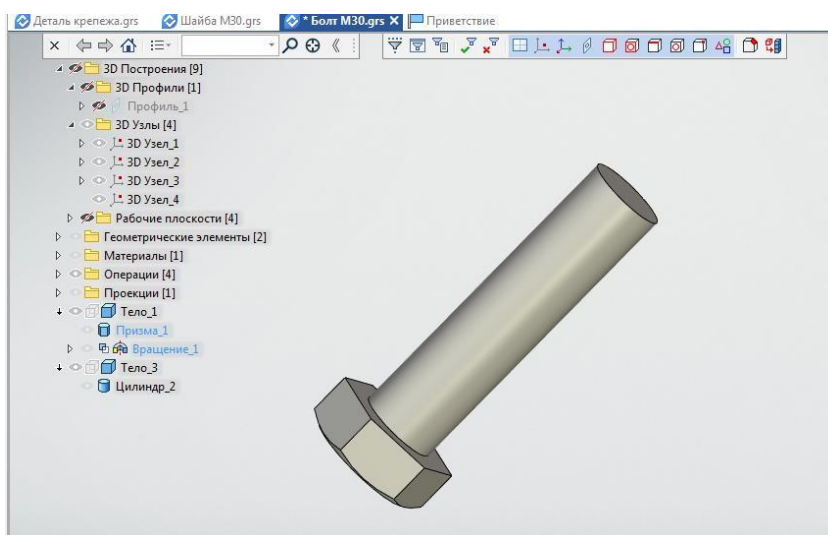


Рисунок 4.25. Готовая заготовка болта

Создание резьбы М30х3,5 длиной 66 мм (см. таблицу 4.4 с данными болта) обеспечивается операцией *РЕЗЬБА*. На рисунке 4.26 показан процесс

установки параметров болта в соответствии с указанной таблицей. В качестве элемента, от которого строится резьба, используется нижняя круговая кромка. Слева на Панели резьба установлены её параметры: шаг 3,5 мм, число заходов 1, диаметр 30 мм (при выборе ребра установится автоматически) и длина резьбы, равная 66 мм (задаётся размер от конца резьбы (в данном случае от размера 120 нужно вычесть 66, чтобы получить участок без резьбы, равный 54 мм).

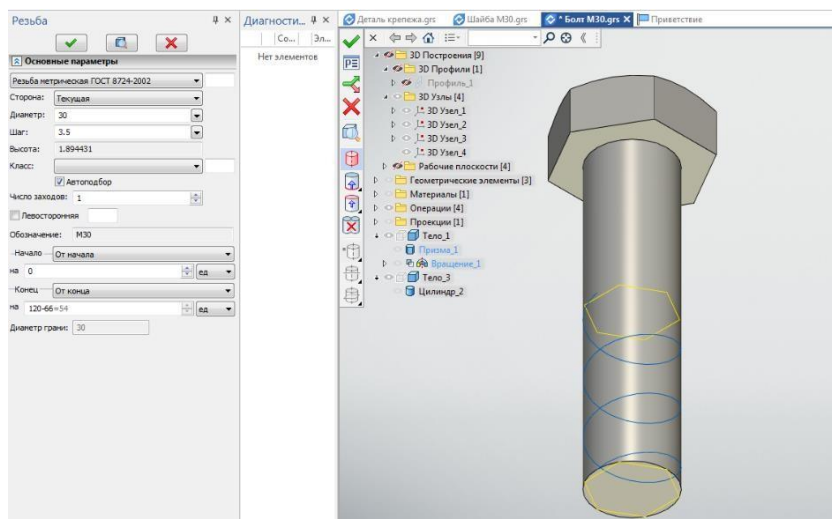


Рисунок 4.26. Создание резьбы на поверхности болта

Наконец, на нижней кромке создаётся фаска 2 мм x 45°. Таким образом, получается законченная 3D модель болта, представленная на рисунке 4.27.

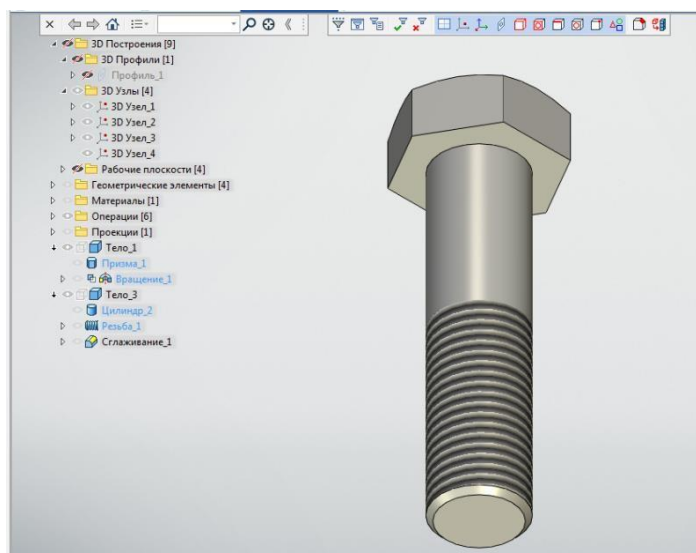


Рисунок 4.27. Готовая 3D модель болта

4.2. Создание сборочных 3D моделей в T-FLEX CAD.

Основные операции

Познакомимся теперь с основными операциями по созданию *3D* сборок. Но прежде небольшое отступление.

Отметим, что термин «сборка» является в русском языке вполне устоявшимся и несёт в себе два значения: сборка как процесс (синоним – собирание) и сборка как результат. Возьмём, например, редуктор. Это сложный механизм, в состав которого входят валы, зубчатые колёса, шестерни, уплотнительные кольца, подшипники, фланцы, крышки и т.д. Все эти детали существуют в отдельности как разрозненные объекты. Но их размеры и формы, приданные им в процессе проектирования и изготовления, открывают для них возможность объединения. Процесс объединения деталей в целостный объект называют сборкой, которая реализуется в сборочном цеху. В процессе сборки появляется качественно новый объект – редуктор. Таким образом, в производстве термин «сборка» используется как процесс, а готовый объект имеет своё собственное наименование. Вместе с тем, чтобы собрать редуктор, разрабатывается технология сборки, в основе которой – сборочный чертёж. Его в настоящее время часто называют сборкой, и можно предположить, что термин «сборка» как объект привнесён в *CAD*-технологии из производственной документации. Но термин этот, если мы говорим о готовом объекте, в большой мере является сленгом. Правильные наименования: сборочная твердотельная модель, сборочная *3D* модель.

Соотношение сборочной *3D модели* с *3D моделями* отдельных деталей такое же, как между чертежами отдельных деталей и сборочным чертежом в *2D* моделировании и как между деталями и собранным из них изделием (узлом) в производстве.

Итак, под сборочной *3D моделью* понимается модель, состоящая из ссылок на другие *3D модели*, каждая из которых хранится в отдельном файле. Эти *3D модели*, на которые ссылается сборочная *3D модель*, называются *3D фрагментами*. Наличие указанных ссылок позволяет сборочной *3D модели*

отслеживать состояние фрагментов и, в случае их корректного изменения, перестраиваться в соответствии с ними. Сборочная *3D модель* не может функционировать, если файл какого-либо из её фрагментов некорректно изменён или удалён. Отметим, что подобно тому, как в изделии могут присутствовать помимо деталей и их объединения (сборочные единицы или узлы), так и в сборочной *3D модели* могут присутствовать ссылки на другие сборочные *3D модели* (так называемые *подсборки*).

Важной особенностью сборочной *3D модели* является возможность проверки собираемости изделия. При создании *3D моделей* отдельных деталей могут быть допущены ошибки в размерах. В этом случае в файле сборки возникает взаимопроникновение фрагментов (*интерференция*), что означает, что реальная сборка таких деталей в единое целое невозможна. Таким образом, можно отследить эти неточности и устранить ошибки.

Существует два способа создания сборок: «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Первый способ является более продуктивным, поскольку позволяет создавать и редактировать элементы в контексте сборки, тем самым обеспечивая более рациональный путь разработки изделия (во многих случаях вид той или иной детали проявляется как раз при создании сборок, поскольку именно тогда и возникают ограничения и присоединительные элементы). Второй способ предполагает наличие всех элементов сборки, которые надо объединить в узел или изделие. Но, как правило, оба эти способа органично дополняют друг друга. Сборка начинает создаваться с каких-то базовых элементов, а затем, в процессе разработки создаются и другие элементы.

Для того чтобы *3D модель* детали могла эффективно использоваться в сборке, её нужно предварительно подготовить. В этой модели должна быть установлена точка привязки и связанная с ней локальная система координат (ЛСК). Эта локальная система обеспечит возможность правильной и точно позиционированной установки модели детали (фрагмента) в сборочную *3D модель*.

Рассмотрим последовательно создание точек привязки и *ЛСК* в *3D* моделях фрагментов на примере *3D модели* болта.

Точка привязки болта и его *ЛСК* должны находиться на нижней поверхности головки болта (без фаски) в точке, которая является геометрическим центром шестигранника и цилиндрической части (с резьбой). Такой выбор обеспечит возможность точного центрирования болта в отверстии под крепёж, а также точную посадку болта на плоскость скрепляемой детали.

ЛСК строится на соответствующем *3D узле* (это и есть точка привязки) и ориентируется сонаправлено осям мировой системы координат.

Для построения *ЛСК* (см. рисунок 4.28) необходимо на вкладке *3D модель* выбрать *ЛСК* (открывается левая панель в рабочем окне, где активна опция 1 (выбрать узел)), далее в дереве проектирования указать нужный *3D узел* (в данном случае *Узел_3*), убедиться, что *ЛСК* установлена правильно, и подтвердить выбор.

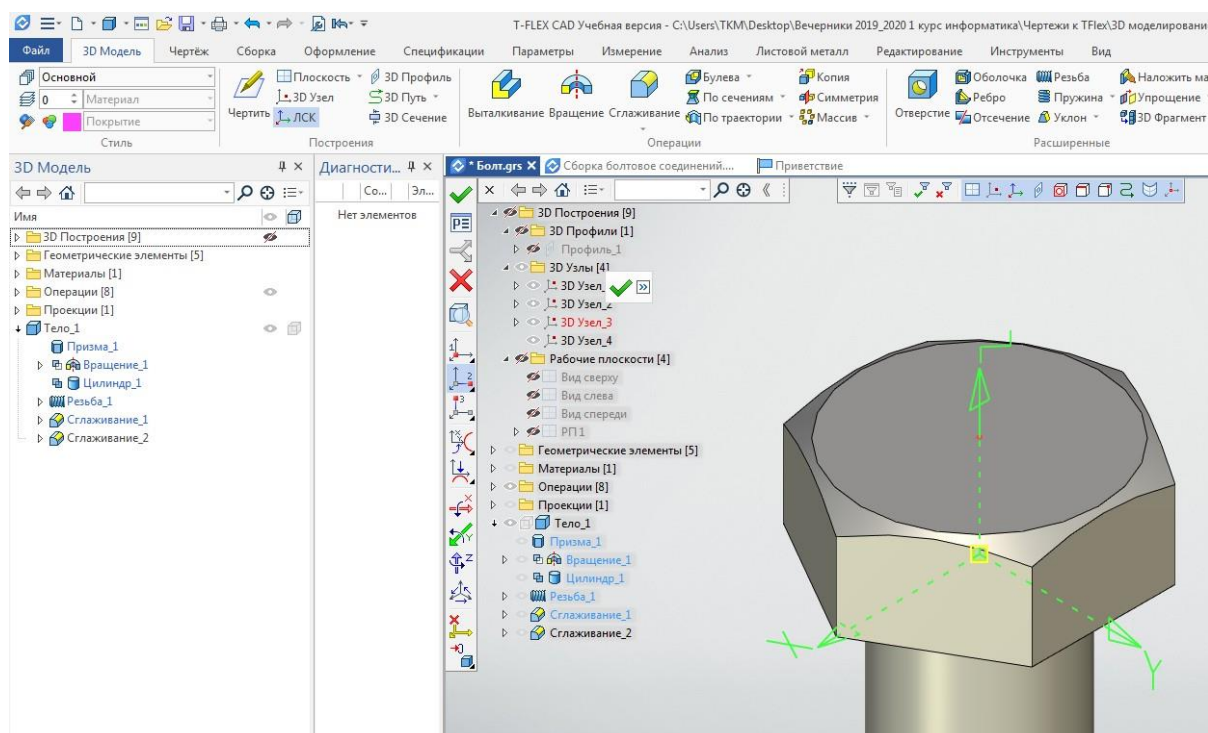


Рисунок 4.28. Процесс создания *ЛСК* в *3D модели* болта

На рисунке 4.29 показана созданная *ЛСК*. По положению оси *Oz* можно судить, что её начало координат находится на оси болта, а по положению

стрелой осей Ox Oy – что на посадочной (нижней) плоскости головки болта, как и требовалось.

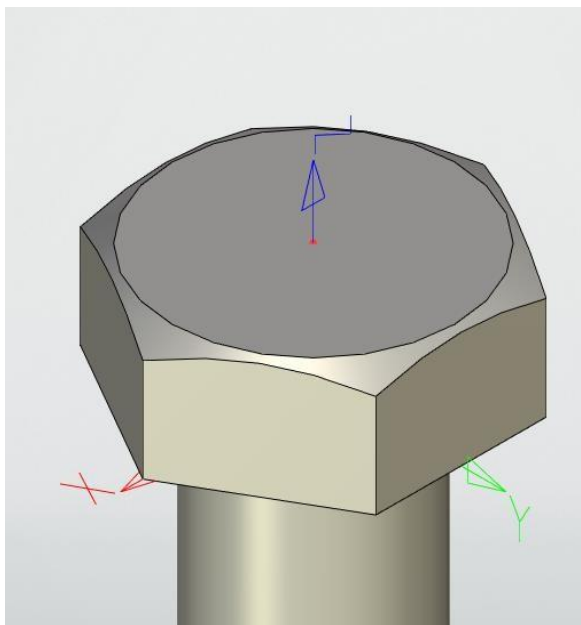
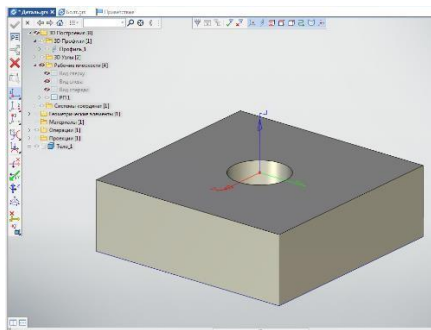
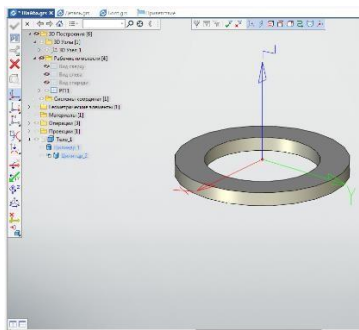


Рисунок 4.29. Созданная в 3D модели болта ЛСК

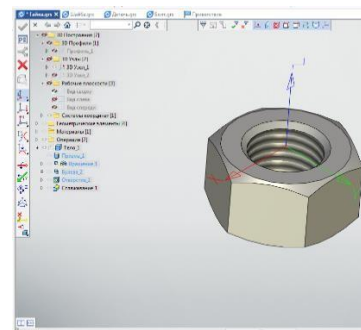
Аналогичным образом создаются ЛСК в моделях детали крепежа, шайбы и гайки (см. рисунок 4.30).



а) деталь крепежа



б) шайба



в) гайка

Рисунок 4.30. Созданные ЛСК

На рисунке 30 видно, что все начала координат всех ЛСК на верхней плоскости и осях симметрии, что обуславливает возможность правильной привязки деталей в составе сборочной 3D модели.

После проведённой подготовки можно перейти непосредственно к созданию сборочной 3D модели. Далее по тексту вместо «3D модель» будем использовать термин «модель». Напомним, что модель каждой детали в составе сборочной модели (фрагмент) отображается ссылкой.

Для создания сборочной модели необходимо открыть соответствующее рабочее окно, выбрав режим работы *Создать новый документ 3D сборка* (рисунок 4.31), в открывшемся щёлкнуть по иконке *Фрагмент* и в диалоге *Выбрать файл* указать *Деталь*. Если детали в текущем каталоге нет, необходимо воспользоваться поиском (рисунок 4.32).

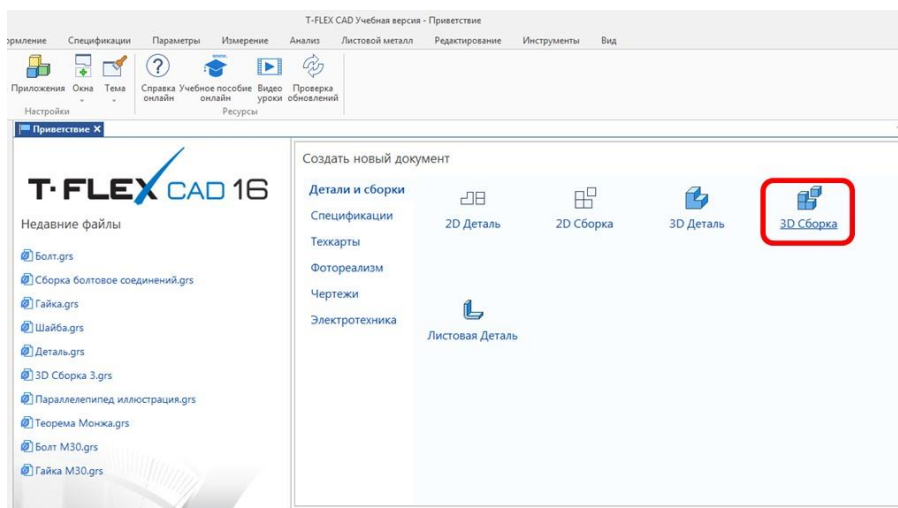


Рисунок 4.31. Первый шаг к созданию сборочной 3D модели

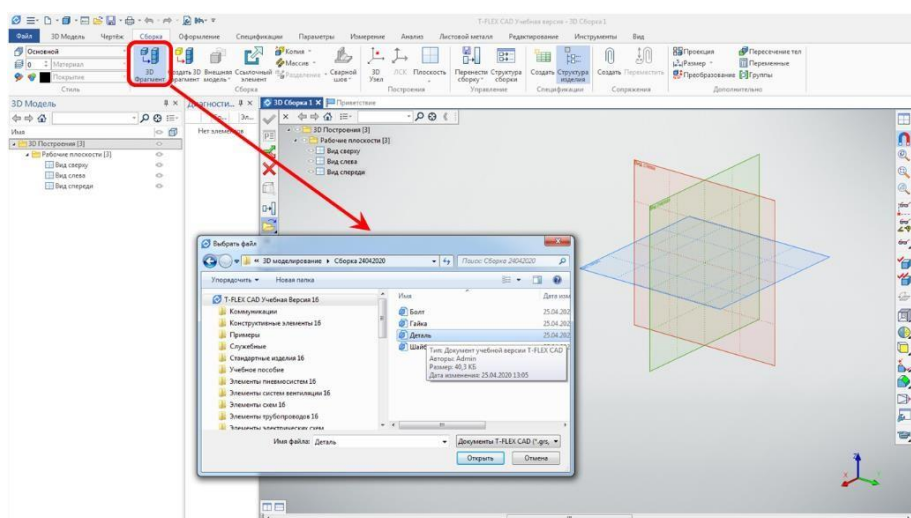
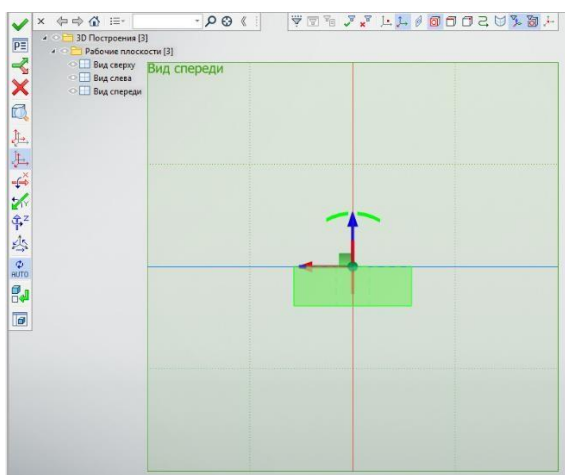


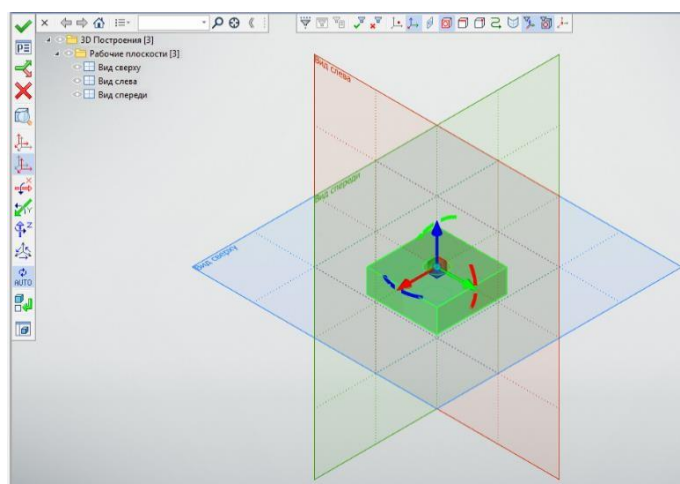
Рисунок 4.32. Вставка фрагмента Деталь в файл сборки

Фрагмент *ДЕТАЛЬ* добавляется в файл сборки, при этом его *ЛСК* совмещается с мировой системой координат (*МСК*). Указанный фрагмент можно повернуть, если это необходимо. В нашем случае согласимся с занятым фрагментом положением и будем считать, что это нижняя часть крепежа (рисунок 4.33).

Для того чтобы добавить ещё один фрагмент, необходимо повторить указанные выше действия, но фрагмент придётся повернуть, поскольку при размещении в файле сборки он занимает такое же положение, как и первый раз (рисунок 4.34). Повернуть можно либо вокруг оси Ox , либо вокруг Oy (в силу того, что деталь обладает центральной симметрией, результат будет одинаков). Но надо учитывать, что в случае отсутствия симметрии при разных последовательностях поворотов результаты не будут одинаковыми. В сущности, и в нашем случае совпадение только визуальное. На самом деле две грани совпадают, а две другие – нет. И какие совпадают, а какие – нет, зависит от последовательности поворотов.

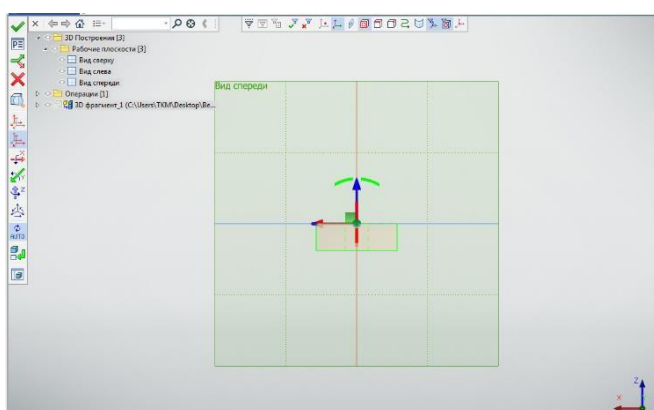


а) вид Спереди

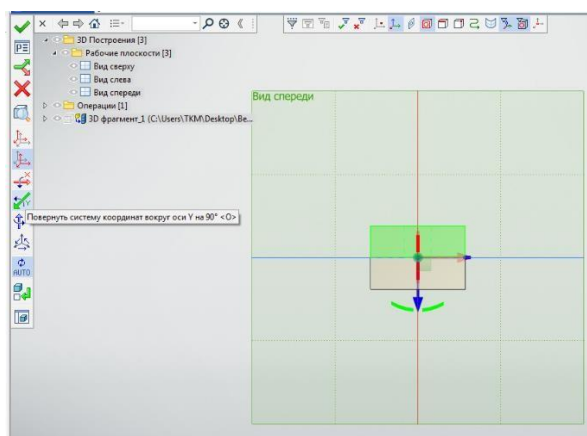


б) изометрия

Рисунок 4.33. Добавление фрагмента Деталь



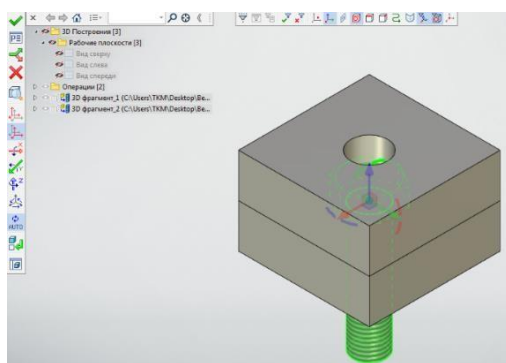
а) исходное (совпадает с первым фрагментом)



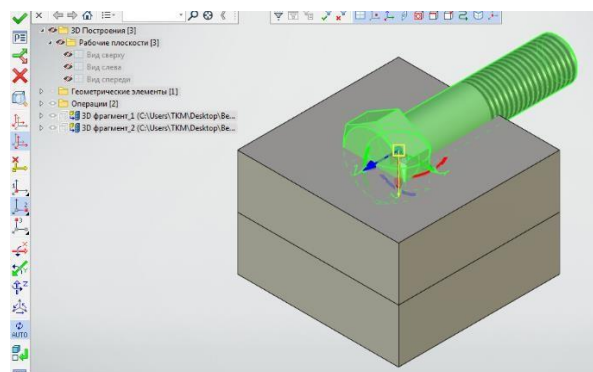
б) дважды повёрнутое на 90° вокруг Oy

Рисунок 4.34. Добавление второго фрагмента Деталь

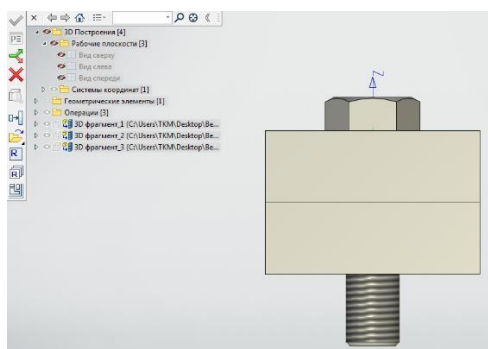
Взаимное расположение двух фрагментов одной и той же детали показано на рисунке 4.35. Этот же рисунок иллюстрирует и вставку фрагмента детали Болт. Видно, что *ЛСК* болта совпала с *МСК* сборки (рисунок 4.35, а). Поэтому фрагмент необходимо переместить вверх так, чтобы нижняя грань его головки совпала с верхней гранью верхней детали. Перемещение можно осуществить вручную, воспользовавшись соответствующим манипулятором. Но в этом случае возникает вероятность ошибки позиционирования болта. Необходим объект уже существующей части сборки, который обеспечит точную привязку. Таким объектом является верхняя кромка отверстия фрагмента *Детали*. При щелчке по этой кромке *Болт* перемещается вверх, но может повернуться (как это видно на рисунке 4.35, б). Для правильного его позиционирования фрагмент нужно повернуть (в данном случае – на 90° относительно оси *Oy*, см. рисунок 4.35, б). Необходимость поворота фрагмента Болт обусловлена тем, что верхний фрагмент сам был повернут, а с ним повернулась и его *ЛСК*.



а) добавление фрагмента Болт



б) после перемещения и перед поворотом



в) фрагмент точно позиционирован в сборке

Рисунок 4.35. Добавление в сборку фрагмента Болт

Аналогичным образом в состав сборки последовательно добавляются фрагменты деталей *Шайба* и *Гайка*. Отметим, что их *ЛСК* также в момент добавления в сборку совпадают с *МСК*, в результате чего они оказываются как бы внутри фрагментов *Детали*. Для правильного их позиционирования указываем следующие элементы: для шайбы – кромку отверстия в нижней части сборки, а для гайки – любую из нижних кромок шайбы.

В конечном итоге получена сборка, представленная на рисунке 4.36.

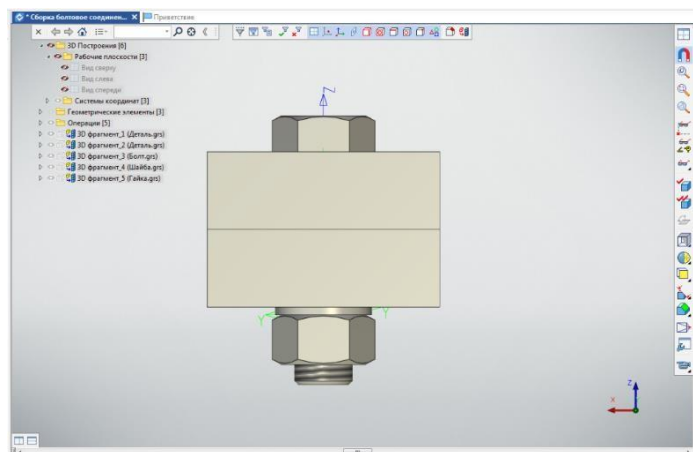


Рисунок 4.36. Готовая сборка

4.3. Создание 2D чертежа по сборочной 3D модели

В заключение рассмотрим создание чертежа по сборочной *3D модели*, в том числе и создание разреза. Как известно, разрез зачастую играет существенную роль в правильном отображении на чертеже и одной детали, а тем более их совокупности.

На рисунке 4.37 представлена сборка перед созданием чертежа.

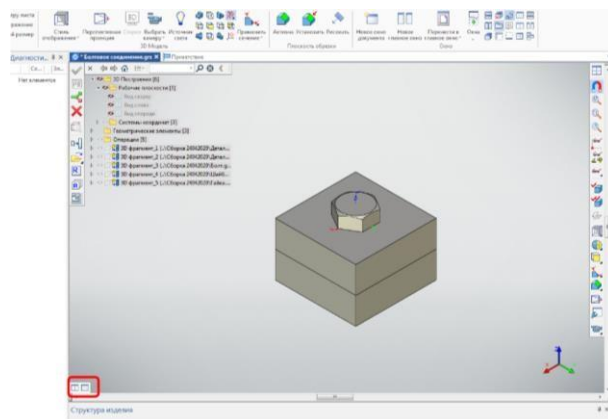


Рисунок 4.37. Сборка перед созданием сборочного чертежа (сборочной 2D модели)

На рисунке 4.37 выделены рамкой две кнопки, которые позволяют создать второе окно для чертежа (*2D окно*) разделением рабочего поля на две части либо по горизонтали (левая кнопка), либо по вертикали (правая). Будем использовать горизонтальное расположение окон (рисунок 4.38). Отметим, что активное окно имеет окрашенную рамку (в данном случае – *окно 3D сборочной модели*).

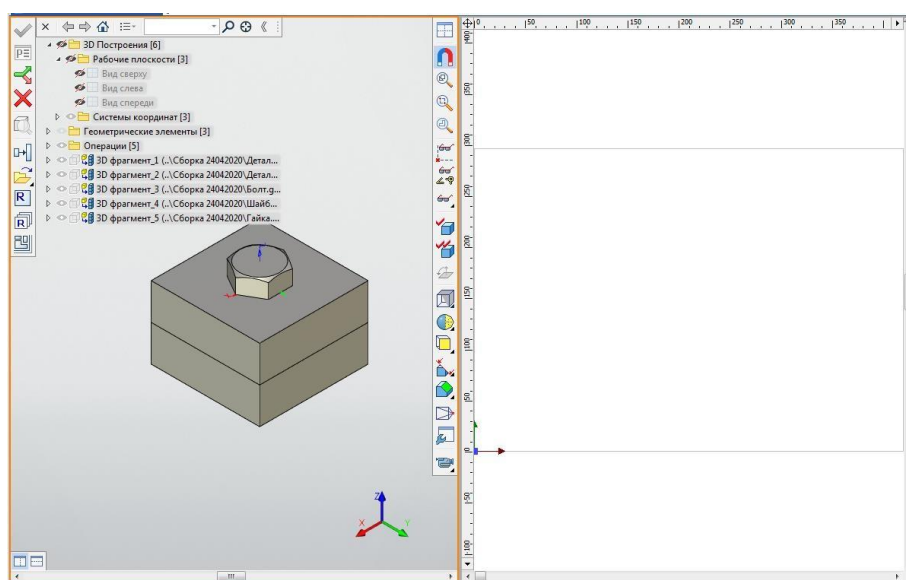


Рисунок 4.38. Два окна: сборочной 3D модели и сборочной 2D модели

Для создания видов чертежа активным должно быть правое окно (рисунок 4.39).

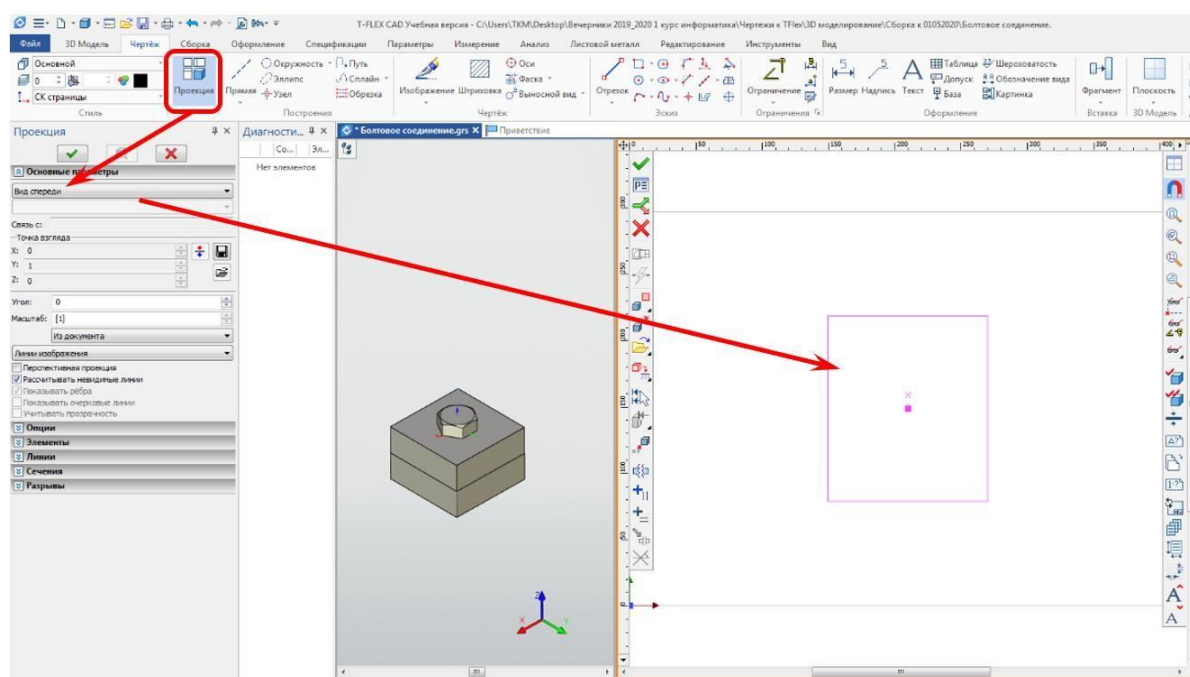


Рисунок 4.39. Создание первого вида на чертеже по сборочной 3D модели

При активном правом окне на вкладке чертёж необходимо нажать на кнопку *Проекции* (выделена рамкой) и в окне *Проекция*. Основные параметры раскрыть список и выбрать нужное действие. В данном случае выбираем Вид спереди. В результате произведённых действий в окне чертежа появится контур в виде прямоугольника, который можно переместить в предполагаемое место размещения вида. Передвинем его левее и вверх (в процессе перемещения прямоугольник приобретает синюю окраску, а по завершении – чертёж соответствующего вида). На рисунке 4.40 показано размещение вида Спереди.

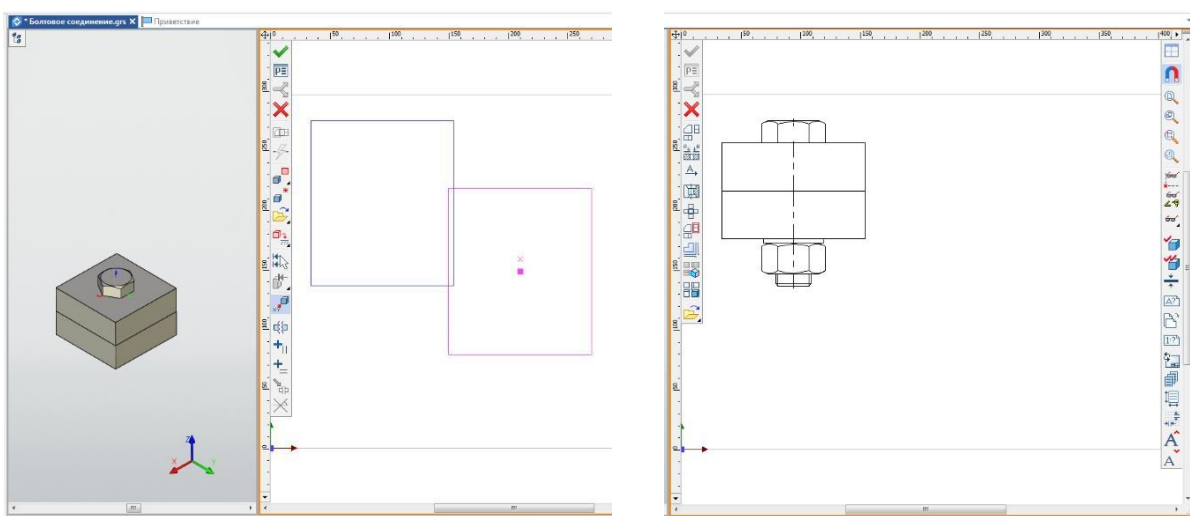


Рисунок 4.40. Создание вида Спереди

Если теперь навести указатель мыши на этот вид, то он опять будет охвачен сиреневой рамкой. В этом состоянии одинарный щелчок левой кнопкой порождает создание других видов: при движении курсора вправо будет создан вид *СЛЕВА*, при движении вниз – вид *СВЕРХУ* и т.д. На рисунке 4.41 представлены созданные таким образом ещё два вида. Отметим, что эти виды обладают таким же свойством.

Таким образом, чертёжные виды можно получать как первым способом (через меню), так и вторым – от родительского вида. В первом случае размещение вида в поле чертежа произвольно, во втором случае – зависит от размещения родительского вида.

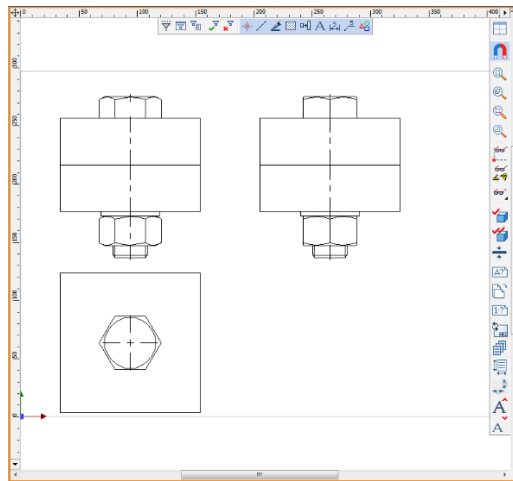


Рисунок 4.41. Создано три вида: Спереди, Слева и Сверху

Понятно, что необходимость создания тех или иных видов, разрезов и сечений определяется сложностью отображаемого объекта. В нашем случае виды *СВЕРХУ* и *СЛЕВА* лишние, поскольку соединяемые болтовым соединением фрагменты *3D модели Детали* – прямоугольные параллелепипеды, в основании которых – квадрат, и эту форму можно указать в соответствующем размере. Три же другие фрагмента – отображения деталей из ГОСТ, и принадлежность их к тому или иному ГОСТ указывается в спецификации.

Напомним, что в сборочном чертеже указываются габаритные и присоединительные размеры. На виде спереди никаким образом невозможно указать диаметр отверстия под болт. Следовательно, необходим разрез. Его сейчас и создадим (плоскостью *СЛЕВА*).

Для создания разреза нужно выполнить операцию *Создать сечение* (при активном *3D окне*). Для удобства сделаем видимой плоскость Слева. Состояние перед созданием сечения показано на рисунке 4.42.

Процесс начинается нажатием на кнопку *Применить* сечение на правой панели *3D окна* (рисунок 4.43). Как видно, в *3D окне* слева появляется панель инструментов по созданию сечений. Кроме того, вкладка *Параметры* переключилась на параметры сечения. Именно это окно и указанная панель служат для установления свойств создаваемого сечения (разреза).

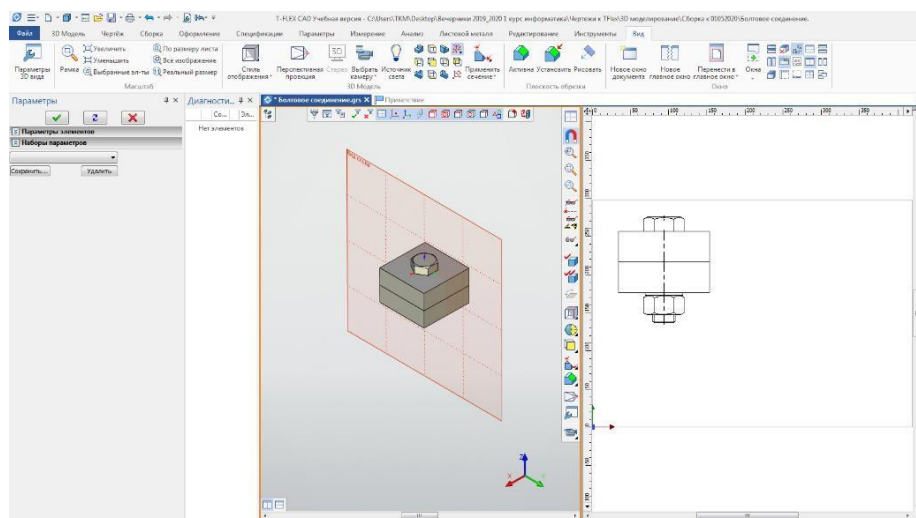
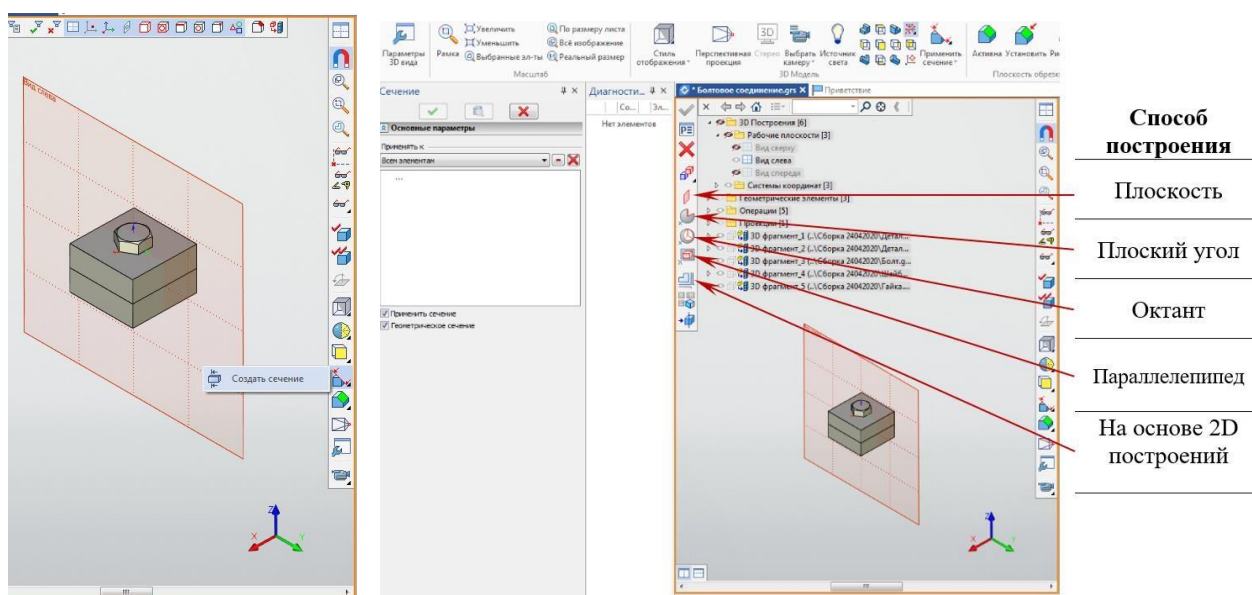


Рисунок 4.42. Состояние модели перед созданием сечения

Первое, что необходимо сделать, это выбрать способ построения сечения: плоскостью, плоским углом, октантом, параллелепипедом или на основе 2D построений.



а) активация команды

б) команда активна (выбор способа построения)

Рисунок 4.43. Создание разреза (команда Применить сечение)

Выбираем способ построения *Плоскость* (выбираем плоскость *СЛЕВА*), в *Основных параметрах* из списка выбираем по *Выбранным элементам* (после выбора необходимо один раз щёлкнуть левой кнопкой мыши в окне

по многоточию и в дереве проектирования выбрать *3D фрагмент_1* и *3D фрагмент_2*, после чего подтвердить выбор (см. рисунки 4.44 и 4.45).

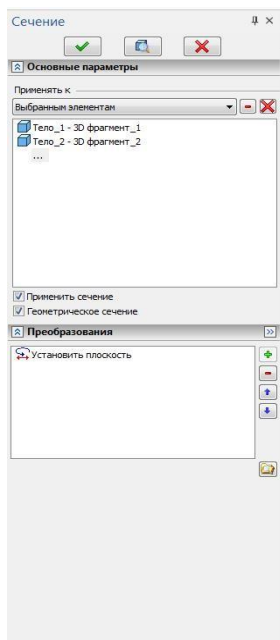


Рисунок 4.44. Установка параметров создаваемого сечения

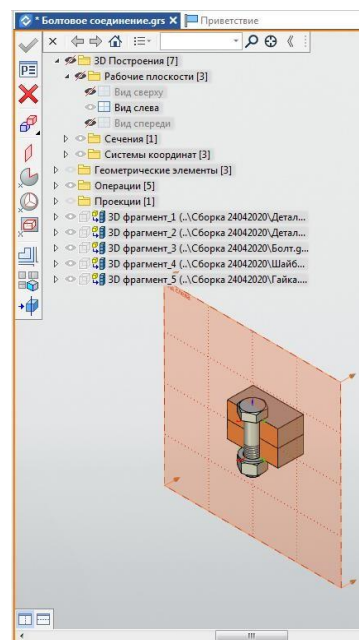
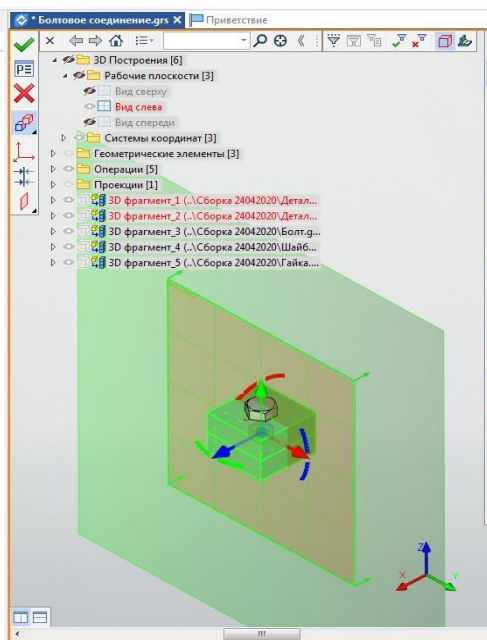


Рисунок 4.45. Сечение создано

Отметим, что в созданном сечении «разрезаны» только два фрагмента. Известно, что детали крепежа, тонкие стенки, валы и ещё ряд такого рода элементов в разрезе не участвуют (как говорят, не разрезаются). Именно поэтому сечение применено к деталям, не являющимся собственно крепежом. Болт, шайба и гайка в сечении отсутствуют, что и видно на рисунке 4.45.

Перейдём, наконец, к построению *2D* вида построенного *3D* сечения. Напомним, что сечение сделано плоскостью *СЛЕВА*, и стрелки на его *3D модели* показывают направление взгляда. Таким образом, сечение строится на виде *СЛЕВА*, но располагается он справа от вида спереди.

При построении *2D* вида сечения активной должна быть страница *2D* чертежа. Приблизим её так, чтобы вид *СПЕРЕДИ* был у левой границы, а справа от него было достаточно места для размещения разреза.

Итак, рассмотрим по пунктам.

1. Создание прототипа вида Слева, шаг 1 (рисунок 4.46). Для этого правой кнопкой мыши один раз щёлкаем по области внутри сиреневой рамки. При этом открываются два контекстных меню (одно, верхнее, со списком опций, второе, нижнее, с кнопками). В нижнем меню выбираем левую кнопку Создать 3D проекцию.

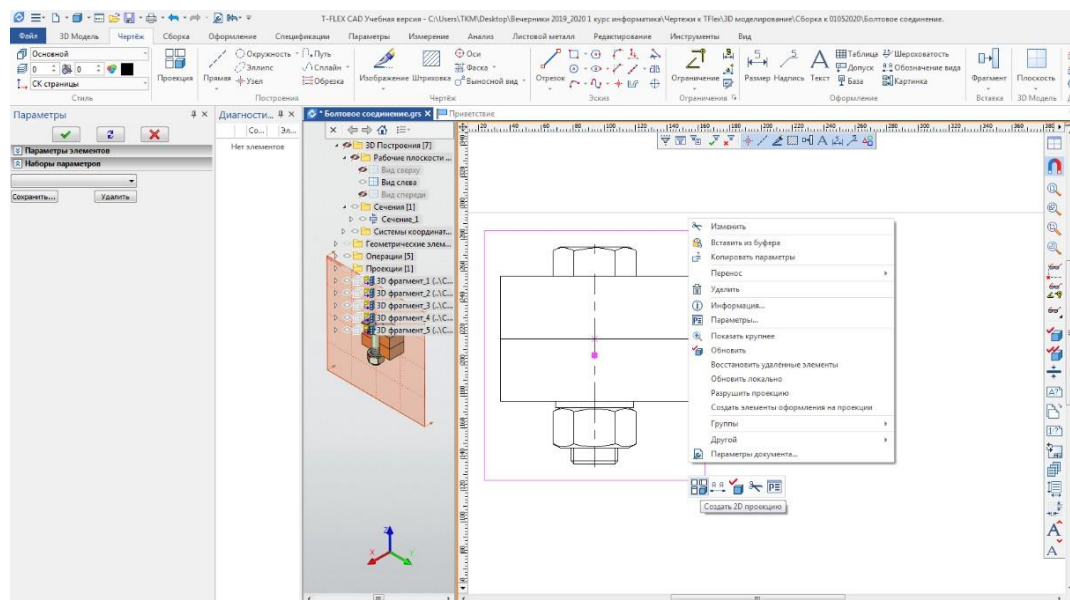


Рисунок 4.46. Создание прототипа вида Слева (шаг 1)

2. Создание прототипа вида Слева, шаг 2. Движением мыши вправо (левая кнопка нажата) перемещаем прямоугольник, обозначающий вид слева, и фиксируем его в некоторой точке (желательно, чтобы он не пересекался с видом Спереди). Кнопку, приглашающую завершить операцию, нажимать не нужно.

Получим состояние, показанное на рисунке 4.47.

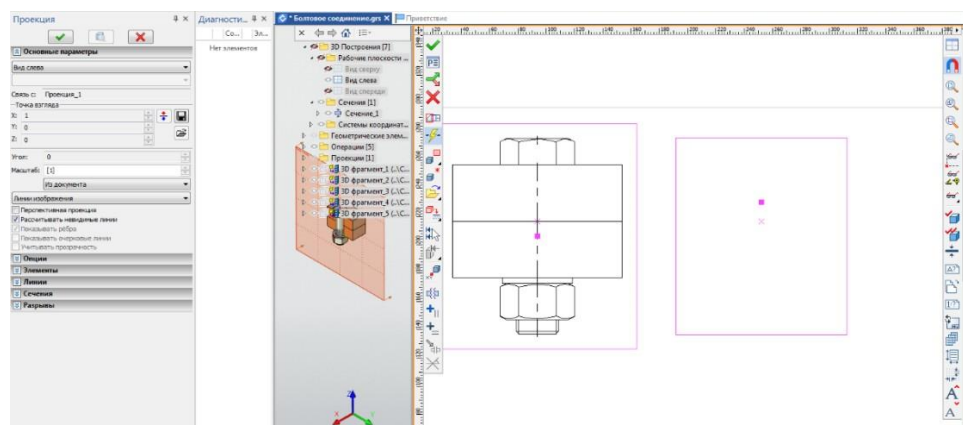


Рисунок 4.47. Прототип вида Слева создан и размещён на чертеже (шаг 2)

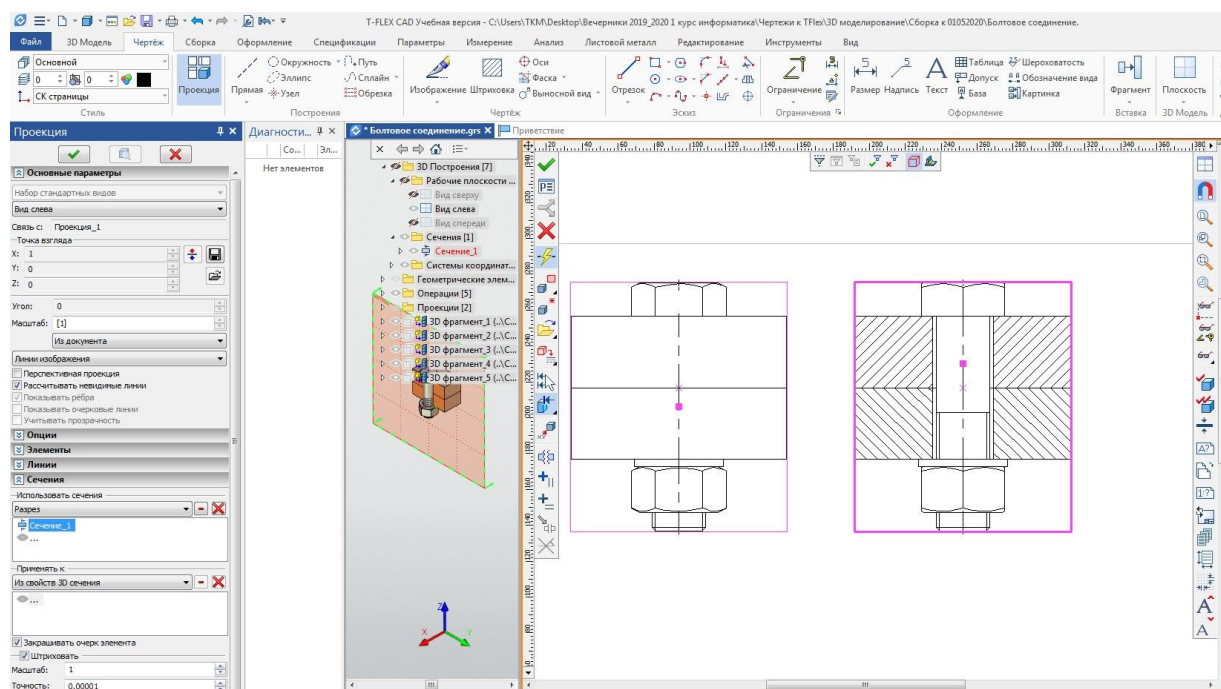


Рисунок 4.48. Завершение создания разреза

3. Создание на прототипе вида Слева нужного сечения (разреза). На левой панели (*Проекция*) раскрываем раздел *Сечения* и последовательно выполняем следующее:

- в пункте *Использовать сечение* щелкаем в окно под надписью *Разрез* и далее по объекту *Сечение_1* в дереве проектирования (*3D окно*); ссылка на сечение помещена в данный пункт (это значит, что создаваемый вид опирается на это сечение);
- щелкаем левой кнопкой мыши по значку и надписи *Сечение_1* (в том же пункте вкладки *Проекция*); как результат активируется список в пункте *Применять к...*;
- раскрываем это список и выбираем значение *Из свойств 3D сечения*; все остальные настройки оставляем без изменений;
- подтверждаем установленные параметры либо щелчком в *3D окне*, либо на вкладке *Проекция* (выбрать только один вариант, иначе появится два разреза).

Разрез построен (см. рисунок 4.48).

Окончательный вид 2D сборочной модели с установленными размерами показан на рисунке 4.49.

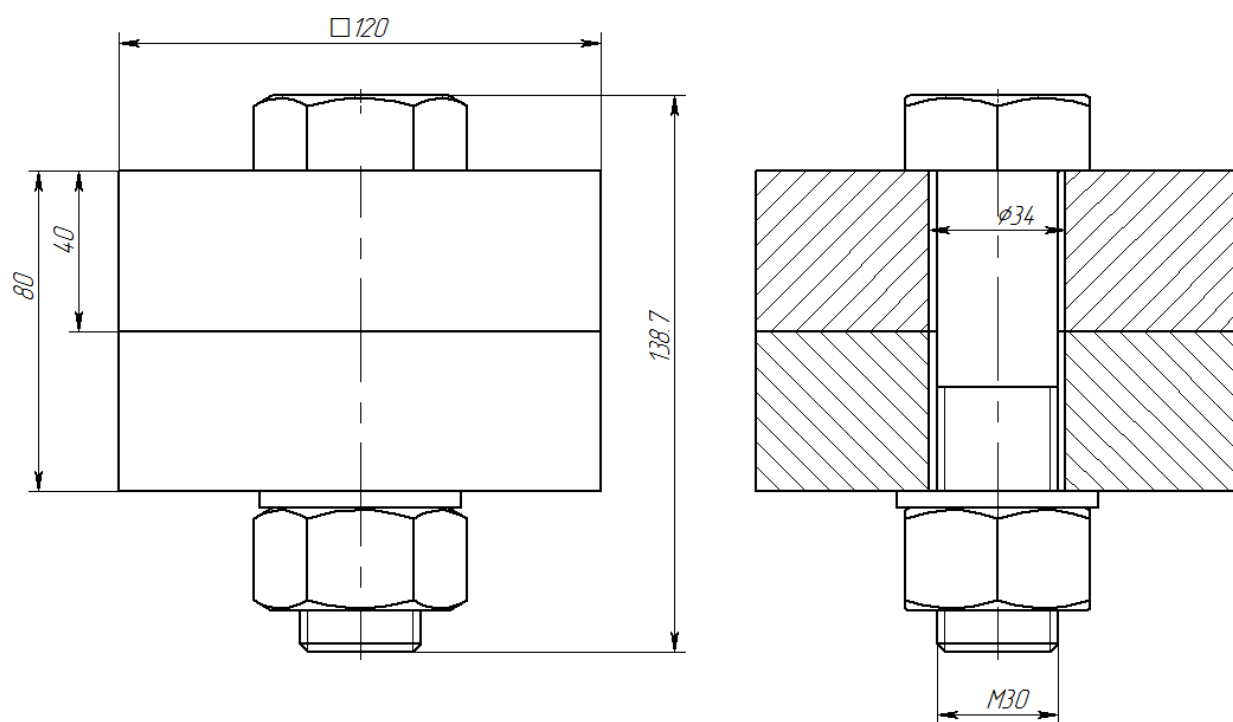


Рисунок 4.49. Готовый 2D чертёж болтового соединения

5. Создание параметрического зубчатого колеса с диалоговым окном для использования в сборке верхнего уровня

5.1. Обзор ГОСТ 13733-77

При создании параметрической модели всегда выбирается какой-либо один из возможных вариантов. После создания и отладки модели соответствующим изменением параметров реализуются её другие варианты. В рассматриваемом случае, поскольку в соответствии с ГОСТ [28] возможны три типа исполнения зубчатого колеса (рисунок 5.1), целесообразно установить значения параметров такими, чтобы было исполнение по типу 3. Очевидно, что в этом случае при $l_1=0$ получим исполнение 2, а если при этом и $l=b$, то исполнение 1.

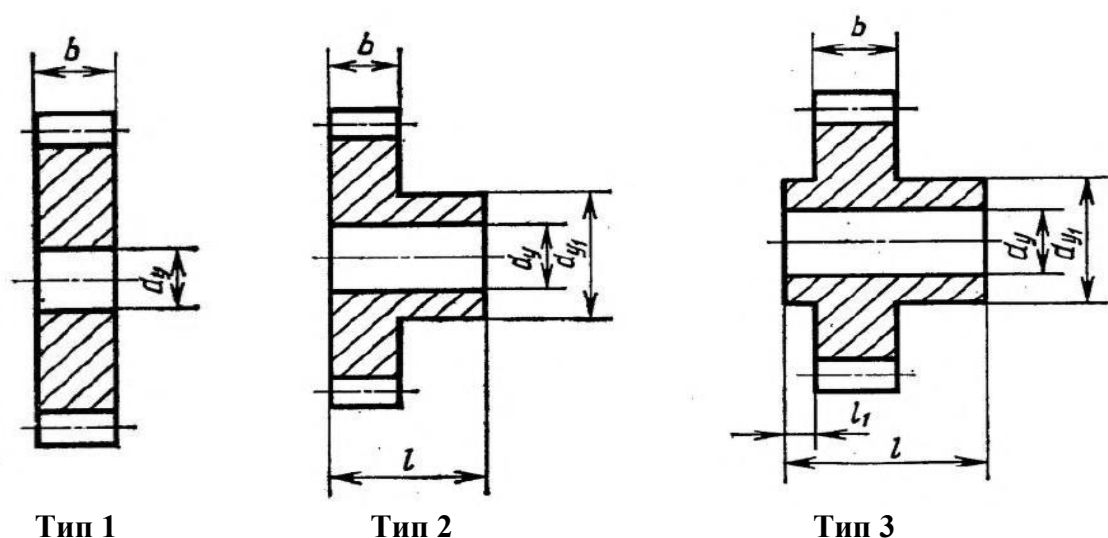


Рисунок 5.1. Типы исполнения зубчатых колёс

Установленные значения параметров для создания первого прототипа модели представлены в следующей таблице 5.1.

Таблица 5.1. Значения параметров прототипа

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Значение
1	Модуль	m	0.5
2	Количество зубьев	z	46
3	Ширина зуба (шестерни)	b	3
4	Диаметр отверстия	d_y	4
5	Диаметр ступицы	d_{y1}	8
6	Общая длина ступицы	l	6
7	Длина обратной части ступицы	l_1	1

Два вида 3D модели (исполнение по типу 3), созданной с заданными параметрами, представлены на рисунке 5.2.

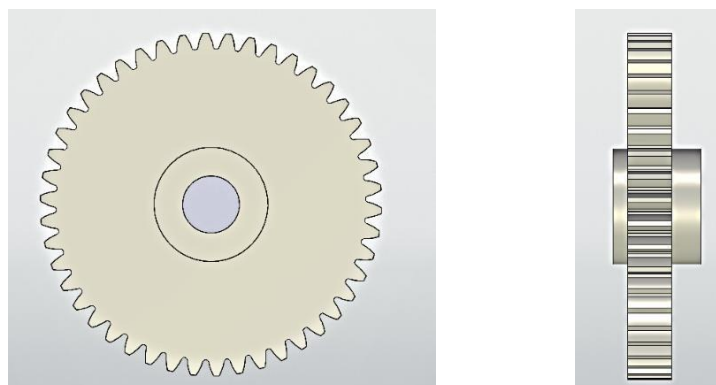


Рисунок 5.2. Созданная модель: вид спереди и вид слева

Рассмотрим подробно создание параметрической 3D модели зубчатого колеса.

Основными характеристиками, определяющими профиль зубчатого колеса и его геометрию, являются модуль m и количество зубьев z . ГОСТ устанавливает значения этих параметров, разделяя их на два ряда (один из этих рядов значений для каждого параметра является предпочтительным).

Значения модуля представлены в таблице 5.2, а значения количества зубьев – в таблице 5.3.

Таблица 5.2. Установленные ГОСТ значения модуля

m , мм															
1-й ряд	0,05		0,06		0,08		0,1		0,12		0,15		0,2		0,25
2-й ряд		0,06		0,07		0,09		0,11		0,14		0,18		0,22	
1-й ряд		0,3		0,4		0,5		0,6		0,8		1		1,25	
2-й ряд	0,28		0,35		0,45		0,55		0,7		0,9		1,13		1,38
1-й ряд	1,5		2		2,5		3		4		5		6		8
2-й ряд		1,75		2,25		2,75		3,5		4,5		5,5		7	
1-й ряд		10		12		16		20		25		32		40	
2-й ряд	9		11		14		18		22		28		36		45
1-й ряд	50		60		80		100								
2-й ряд		55		70		90									

Первый ряд модулей является предпочтительным. Цветом выделены значения модуля для мелкомодульных зубчатых передач. Видно, что для мелкомодульных передач используется ограниченное количество модулей: восемь из первого ряда и одно – из второго. Отметим, что значения модуля

задаются в мм. Размеры всех других линейных величин, используемых в проектировании зубчатого колеса, задаются также в мм.

Таблица 5.3. Установленные ГОСТ значения количества зубьев

z															
1-й ряд							14	15	16	17	18	19	20	21	22
2-й ряд	8	9	10	11	12	13									
1-й ряд		24	25	26		28		30		32		34		36	
2-й ряд	23				27		29		31		33		35		37
1-й ряд	38		40		42			45		48		50			53
2-й ряд		39		41		43	44		46		49		51	52	
1-й ряд			56			60			63				67		
2-й ряд	54	55		58	59		61	62		64	65	66		68	69
1-й ряд	70	71				75		80					85		
2-й ряд			72	73	74		78		81	82	83	84		87	88
1-й ряд	90		95			100					106				112
2-й ряд		92		96	98		102	103	104	105		108	109	110	
1-й ряд					118			125				132			140
2-й ряд	114	115	116	117		120	122		126	128	130		135	136	
1-й ряд			150			160			170			180			190
2-й ряд	144	145		155	156		165	168		175	176		185	189	
1-й ряд				200											
2-й ряд	192	195	198												

Для количества зубьев предпочтительным является *второй ряд*. При этом для мелкомодульных передач могут использоваться все значения, а не выборочно, как для значений модуля.

Следующей важной характеристикой является ширина венца зуба *b*. Значение этой величины определяется из прочностного расчёта, но не может выбираться произвольно. Указанные значения также нормируются в ГОСТе, и выбор их зависит от значения модуля (см. таблицу 4): после расчета ширины венца из соответствующей строки таблицы выбирается значение ближайшее большее по отношению к расчетному.

Таблица 5.4. Значения толщины венца зуба b

m, мм	Ширина венца <i>b</i> , мм															<i>b</i> _{min}	<i>b</i> _{max}						
0,15	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0																0,3	1,0
0,20	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0											0,5	3,0	
0,25	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6											0,6	3,6	
0,30	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0						0,6	5,0			
0,40	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0	6,0					1,0	6,0					
0,50	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0		1,0	8,0						
0,60	1,2	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	1,2	12,0						
0,70	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0		1,5	12,0						
0,80	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0		1,5	12,0						

Нетрудно заметить, что все значения ширины венца представляют собой ряд от 0,3 до 12,0 мм, а для каждого значения модуля используется часть этого ряда. Для каждой части можно указать минимальное и максимальное значения (приведены в таблице 5.4). Эта информация важна далее для понимания создания базы данных ширины венца и алгоритма выбора из неё значений, соответствующих заданному значению модуля.

В таблице 5.5 представлены значения диаметра центрального отверстия зубчатого колеса. Это значение, как и ширина зуба, не может выбираться произвольно. Отверстие обеспечивает посадку колеса на вал, диаметр которого определяется, как и ширина венца, из прочностного расчета. После расчета нужно из таблицы 5.5 выбрать ближайшее большее значение (из ряда 1 или ряда 2; *ряд 1 считается предпочтительным*). В нашем случае, при создании 3D модели без предварительного расчета, необходимо учитывать накладываемые на d_y ограничения со стороны других параметров, в частности – диаметра ступицы d_{y1} , который, в свою очередь, не может быть больше диаметра впадин эвольвентного зацепления (см. ниже).

Таблица 5.5. Значения диаметра центрального отверстия зубчатого колеса

	d_y																
Ряд 1	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0
Ряд 2	1,4	1,8	2,2	2,8	3,5	4,5	5,5	7,0	7,5	9,0	11,0	13,0	14,0	15,0	18,0	28,0	

Таблица 5.6. Значения диаметра ступицы (диаметр отверстия – из ряда 1)

d_y , ряд 1	d_{yl}							d_{y1min}	d_{y1max}	
0,8	2,5	3,0						3,0	3,0	
1,0	2,5	3,0						3,0	3,0	
1,2	3,0	3,5						3,0	3,5	
1,6	4,0	4,5						4,0	4,5	
2,0	4,5	5,0						4,5	5,0	
2,5	5,0	6,0						5,0	6,0	
3,0	6,0	7,0						6,0	7,0	
3,6	6,0	7,0						6,0	7,0	
4,0	7,0	8,0						7,0	8,0	
5,0	7,0	8,0	9,0	10,0				7,0	10,0	
6,0	9,0	10,0	11,0	12,0				9,0	12,0	
8,0	13,0	14,0	15,0	16,0	18,0			13,0	18,0	
10,0	15,0	16,0	18,0	19,0	20,0			21,0	15,0	21,0
12,0	15,0	16,0	18,0	19,0	20,0	21,0		15,0	21,0	
16,0	20,0	21,0	22,0	24,0	25,0	28,0	30,0	20,0	30,0	
20,0	28,0	30,0	32,0						28,0	32,0
25,0	32,0	36,0	40,0						32,0	40,0

В таблице 5.6 содержатся значения диаметра ступицы d_{y1} для случая, когда значение d_y выбирается из ряда 1, а в таблице 7 – когда оно выбирается из ряда 2.

Таблица 5.7. Значения диаметра ступицы (диаметр отверстия – из ряда 2)

d_y , ряд 2	d_{y1}							d_{y1min}	d_{y1max}
1,4	3,5	4,0						3,5	4,0
1,8	4,0	4,5						4,0	4,5
2,2	4,5	5,0						4,5	5,0
2,8	5,0	6,0						5,0	6,0
3,5	6,0	7,0						6,0	7,0
4,5	7,0	8,0						7,0	8,0
5,5	8,0	9,0	10,0				7,0	10,0	
7,0	12,0	14,0	15,0				16,0	12,0	16,0
7,5	12,0	14,0	15,0	16,0				12,0	16,0
9,0	14,0	15,0	16,0	18,0				20,0	21,0
11,0	15,0	16,0	18,0	19,0	20,0	21,0		15,0	21,0
13,0	20,0	21,0	22,0	24,0	25,0	20,0		25,0	
14,0	20,0	21,0	22,0	24,0	25,0	20,0		25,0	
15,0	20,0	21,0	22,0	24,0	25,0	28,0	30,0	20,0	30,0
18,0	25,0	28,0	30,0					25,0	30,0
28,0	36,0	40,0	36,0					40,0	

Длина ступицы (l) и длина обратной части ступицы (l_1) также зависят от величины диаметра отверстия и принадлежности этого диаметра к первому или второму ряду. Значения их приведены в таблицах 5.8, 5.9 и 5.10.

Таблица 5.8. Значения длины ступицы l (диаметр отверстия – из ряда 1)

d_y , ряд 1	l															l_{\min}	l_{\max}		
0,8	2	3	4													2	4		
1,0	2	3	4													2	4		
1,2	2	3	4													5	6	2	6
1,6	2	3	4													5	6	2	6
2,0	2	3	4													5	6	2	6
2,5	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10		
3,0	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10		
3,6	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10		
4,0	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10		
5,0	6	7	8	9	10	11	12	13								14	15	16	18
6,0	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	6	25		
8,0	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	6	25		
10,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40		
12,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40		
16,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40		
20,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40		
25,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40		

Таблица 5.9. Значения длины ступицы l (диаметр отверстия – из ряда 2)

d_y , ряд 2	l															l_{\min}	l_{\max}
1,4	2	3	4	5	6											2	6
1,8	2	3	4	5	6											2	6
2,2	2	3	4	5	6											2	6
2,8	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10
3,5	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10
4,5	3	4	5	6	7	8	9	10								3	10
5,5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	6	25
7,0	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	6	25
7,5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	6	25
9,0	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25	6	25
11,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40
13,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40
14,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40
15,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40
18,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40
28,0	8	10	12	14	15	16	18	20	22	25	28	32	36	40		8	40

Таблица 5.10. Значения обратной длины ступицы l_1

d_y , ряд 1	d_y , ряд 2	l_1									$l_{1\min}$	$l_{1\max}$
0,8		0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
1,0	1,4	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
1,2	1,8	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
1,6	2,2	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
2,0	2,8	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
2,5	3,5	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
3,0	4,5	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
3,6	5,5	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
4,0	7,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
5,0	7,5	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
6,0	9,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5
8,0	11,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5		0,4	2,5

Продолжение таблицы 5.10

10,0	13,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5	0,4	2,5
12,0	14,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5	0,4	2,5
16,0	15,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5	0,4	2,5
20,0	18,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5	0,4	2,5
25,0	28,0	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,6	2,0	2,5	0,4	2,5

Отметим, что, как и для ширины венца зуба, значения, представленные в каждой из таблиц, представляют собой некоторую упорядоченную последовательность. Для каждого значения ключевого параметра (в таблицах 6-10 это диаметр отверстия с учетом принадлежности его к первому или второму ряду) из этой последовательности выбирается ограниченная часть, для которой можно указать минимальное и максимальное значение. Они создают возможность фильтрации данных из общей последовательности при выборе значения конкретного параметра (т.е. для возможности выбора предлагается не вся последовательность, а её ограниченная часть с учётом установленных значений ключевых параметров – модуля, количества зубьев и диаметра отверстия).

Исключение составляют данные таблицы 10 (во всех строках последовательность одна и та же), что позволяет упростить ввод значений параметра l_1 – длины обратной части ступицы.

5.2. Формирование исходных данных для создания модели

Процесс формирования исходных данных 3D модели, взаимосвязь её параметров и баз данных проиллюстрированы на рисунке 5.3.

В настоящем примере не рассматривается расчёт зубчатой передачи на прочность. Считается, что такой расчёт для зубчатого зацепления сделан. Наша задача – понять, как по исходным данным строится параметрическая 3D модель зубчатого колеса (или шестерни).

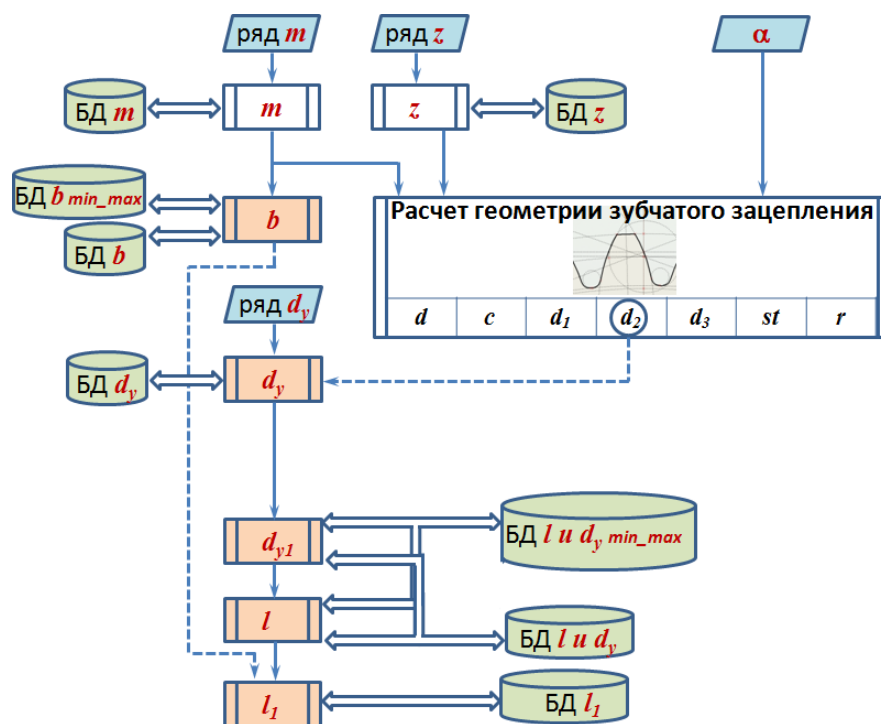


Рисунок 5.3. Структурная схема взаимосвязи параметров и баз данных

Отметим, что понятия «зубчатое колесо» и «шестерня» установлены ГОСТ 16530-83 [29]. В нём определено, что общим понятием является «зубчатое колесо». Но в зубчатой передаче участвует как минимум пара зубчатых колес, в которой одно является ведущим, а другое – ведомым. Шестерней в зацеплении называется колесо с меньшим числом зубьев, а при одинаковом их числе – ведущее зубчатое колесо. Таким образом, в нашем случае, поскольку неизвестно заранее, будет ли создаваемое колесо ведущим или ведомым, оба термина равноправны.

Исходными для проектирования являются по сути два параметра: модуль m и количество зубьев z . Значения этих параметров *выбираются из ГОСТ* (но ещё раз отметим – после проведенных расчётов; методика расчета зубчатой передачи содержится, например, в [30]). Данные, содержащиеся в ГОСТ, внесены в две *базы данных*: значений модулей (на рис.5.3 БД m) и количества зубьев (БД z). Эти (и другие использованные в проекте) базы данных являются внутренними, т.е. хранящимися вместе с файлом 3D модели в одном документе *T-FLEX CAD*. Доступ к ним из других документов невозможен. Внутренние имена этих БД соответственно *base_m* и *base_z*. На

рисунке 5.4 показана структура этих БД и их содержимое (для БД количества зубьев – частично).

base_m (БД модулей зубчатой передачи)				base_z (БД количества зубьев зубчатой передачи)			
№	m_1	m_2		№	z_1	z_2	
1	0.15	0.7		2	15	9	
2	0.2	0		3	16	10	
3	0.25	0		4	17	11	
4	0.3	0		5	18	12	
5	0.4	0		6	19	13	
6	0.5	0		7	20	23	
7	0.6	0		8	21	27	
8	0.8	0					

Рисунок 5.4. Содержание БД модулей и количества зубьев

Как видно, в каждой из таблиц данные представлены в двух столбцах и выбираются в зависимости от ряда значений (ряда 1 или ряда 2). Отметим важное свойство этих (и других, входящих в рассматриваемый проект) БД: часть значений в одном из столбцов – это нули (также и в БД количества зубьев, где значений в ряду 1 на 27 меньше, чем в ряду 2, т.е. в ней в первом столбце последние 27 значений тоже нули). Это факт важен при организации выбора значений для создания модели: нельзя допустить для пользователя возможности при установлении значения параметра выбрать ноль. Иными словами, *все нули должны быть отфильтрованы*. Далее покажем, как это сделать.

К исходным данным также следует отнести и угол наклона профиля α . Но для эвольвентной зубчатой передачи существует так называемый «нормальный номинальный исходный контур», угол наклона профиля в котором установлен равным 20° , [31]. Именно это значение использовано в рассматриваемом примере (следовательно, и исходный профиль строится как нормальный).

Указанные три параметра являются исходными для расчета профиля зубчатого зацепления и, следовательно, профиля (уже в контексте *T-FLEX CAD*) как основы создания 3D модели (для выполнения операции выталкивания и создания «твердого тела»). Обратим внимание, что термин

«профиль» в нашем проекте используется в двух вариантах: один – это в соответствии с ГОСТ – профиль зубчатого зацепления, второй – ключевое для *T-FLEX CAD* понятие – профиль контура для операции создания «твёрдого тела» (выталкиванием, вращением и др.). Далее из контекста будет ясно, о каком именно профиле идёт речь.

Расчёт профиля зубчатого колеса рассмотрим в следующем разделе. А сейчас вернёмся к другим данным.

Выбор значения ширины венца зуба b также осуществляется из соответствующей базы данных: БД b , см. рисунок 5.3. В этой БД (*base_b*) всего один столбец (рисунок 5.5):

base_b (БД величин ширины венца)	
№	b
1	0.3
2	0.4
3	0.5
4	0.6
5	0.8
6	1
7	1.2
8	1.5
9	1.6
10	2
11	2.5
12	3
13	3.6
14	4
15	4.5
16	5
17	6
18	7
19	8
20	10
21	12

Рисунок 5.5. БД ширины венца зуба b

Этот столбец включает все значения b для всех значений модуля (см. таблицу 5.4). Но, как следует из структуры таблицы 5.4, эти значения из БД не могут выбираться произвольно, поскольку каждому значению модуля соответствует некоторая ограниченная часть содержащегося в столбце БД ряда. Поэтому в таблице 5.4 отдельно выделены минимальные и максимальные значения для каждого модуля. Именно они и ограничивают тот диапазон, который должен быть выбран из столбца *base_b*. В связи с этим в структуру данных введена ещё одна БД, в которой как раз и содержатся

значения границ для отбора данных, допустимых для каждого конкретного значения модуля значений ширины зуба. Это БД *base_bminmax* (рисунок 5.6).

base_bminmax (БД минимальных и максимальных величин ширины венца в зависимости от модуля)			
№	m	bmin	bmax
1	0.15	0.3	1
2	0.2	0.5	3
3	0.25	0.6	3.6
4	0.3	0.6	5
5	0.4	1	6
6	0.5	1	8
7	0.6	1.2	12
8	0.7	1.5	12
9	0.8	1.5	12

Рисунок 5.6. БД *base_bminmax*

Таким образом, вначале (из *base_bminmax*) для установленного значения модуля выбираются значения границ *bmin* и *bmax*, а затем (из *base_b*) – соответствующий этим границам набор значений. Он и предъявляется пользователю в виде списка для выбора уже только одного значения. Указанный процесс автоматизирован с помощью встроенных в *T-FLEX CAD* функций (см. ниже).

Значения диаметра отверстия под вал (ось) d_y также находятся в соответствующей БД (*base_dy*, рисунок 5.7). Выбор осуществляется из первого или второго столбца в зависимости от установленного ряда: ряда 1 или ряда 2.

Обратим внимание (см. рисунок 5.3), что на выбор значения d_y (и, соответственно, на выбор значения диаметра ступицы d_{y1}) косвенно (показано пунктиром) влияет значение диаметра впадин профиля d_2 . Очевидно, значение d_y должно быть меньше, чем d_{y1} и (тем более) меньше, чем d_2 . Если это не выполняется, то зубчатого колеса нет. Оно (с точки зрения *T-FLEX CAD*) преобразуется в разъединенное тело. Конечно, эта ситуация контролируется формулами, используемыми в проектировочном расчёте. Но, как указывалось выше, при создании 3D модели эти условия формально не контролируются, и влияние приведённых факторов должен учитывать пользователь.

Выбор значений диаметра ступицы d_{y1} и длины ступицы l осуществляется также, как и ширины зуба b . Отличие только в том, что здесь используются две базы данных, каждая из которых связана с обоими параметрами (см. рисунки 5.8 и 5.9).

base_dy (БД диаметров отверстия под ось)			
№	dy_1	dy_2	
1	0.8	1.4	
2	1	1.8	
3	1.2	2.2	
4	1.6	2.8	
5	2	3.5	
6	2.5	4.5	
7	3	5.5	
8	3.6	7	
9	4	7.5	
10	5	9	
11	6	11	
12	8	13	
13	10	14	
14	12	15	
15	16	18	
16	20	28	
17	25	0	

Рисунок 5.7. БД значений диаметра отверстия шестерни

base_dylminmax (Минимальные и максимальные величины диаметра и величины ступицы)					
№	dy	dy1_min	dy1_max	l_min	l_max
1	0.8	3	3	2	4
2	1	3	3	2	4
3	1.2	3	3.5	2	6
4	1.4	3.5	4	2	6
5	1.6	4	4.5	2	6
6	1.8	4	4.5	2	6
7	2	4.5	5	2	6
8	2.2	4.5	5	2	6
9	2.5	5	6	3	10
10	2.8	5	6	3	10
11	3	6	7	3	10
12	3.5	6	7	3	10
13	3.6	6	7	3	10
14	4	7	8	3	10
15	4.5	7	8	3	10
16	5	7	10	6	25
17	5.5	7	10	6	25
18	6	9	12	6	25
19	7	12	16	6	25
20	7.5	12	16	6	25

Рисунок 5.8. БД значений границ диапазонов для диаметра и длины ступицы

В приведённой на рисунке 5.8 БД *base_dylminmax* всего 33 строки, т.е. строки с 21 по 33 не показаны. В БД *base_dyl* (рисунок 5.9) всего 29 строк, причём последние шесть во втором столбце – нули (в связи с этим см. пояснение к рисунку 5.4).

Наконец, последняя БД используется для выбора значения обратной длины ступицы l_1 (*base_l1*, см рисунок 5.10). Отметим, что на выбор значения этого параметра оказывают влияние значения длины ступицы l и (косвенно) значение ширины венца зуба. Очевидно, что значение величины $l-l_1-b$ должно быть неотрицательным (см. рисунок 5.1).

base_dyl (БД значений диаметра и длины ступицы)		
№	dy1	l
1	2.5	2
2	3	3
3	3.5	4
4	4	5
5	4.5	6
6	5	7
7	6	8
8	7	9
9	8	10
10	9	11
11	10	12
12	11	13
13	12	14
14	13	15
15	14	16
16	15	18
17	16	20
18	18	22
19	19	25
20	20	28

Рисунок 5.9. БД значений диаметра и длины ступицы

base_I1 (БД значений обратной длины ступицы)		
№	l1	
1	0	
2	0.4	
3	0.5	
4	0.6	
5	0.7	
6	1	
7	2	
8	2.5	

Рисунок 5.10. БД значений обратной длины ступицы (base_I1)

Перейдём теперь к вопросам, связанным с созданием параметров, установлением их свойств, связей с соответствующими БД, фильтрацией данных, использованием встроенных в *T-FLEX CAD* функций и др.

5.3. Создание параметров (переменных), баз данных и связанные с этим вопросы

В первую очередь, создадим все описанные выше базы данных. БД создаётся выбором в меню *ПАРАМЕТРЫ* пункта *БАЗА ДАННЫХ*, и в открывшемся новом меню *БАЗА ДАННЫХ* – режима *СОЗДАТЬ*. В результате открывается окно *ПАРАМЕТРЫ БАЗЫ ДАННЫХ* (рисунок 5.11).

В окне необходимо ввести наименование БД (поле *ИМЯ*) и, желательно, комментарий. Назовём базу данных «base_m». При подтверждении ввода имени в следующем открывшемся окне необходимо указать наименование столбца, добавить комментарий и (обязательно) указать тип данных, которые будут в этом столбце. Это окно будет появляться до тех пор, пока не будут введены наименования всех столбцов. В нашем случае первый столбец назовём *m_1*, а тип данных в нём установим, как *ВЕЩЕСТВЕННОЕ ДВОЙНОЙ ТОЧНОСТИ* (рисунок 5.12, этот тип данных используется по умолчанию). Для следующего столбца установим имя *m_2*. Общая рекомендация: в качестве имени столбцов имеет смысл использовать те же обозначения, что и для переменных в модели, если именно их значения будут храниться в БД.

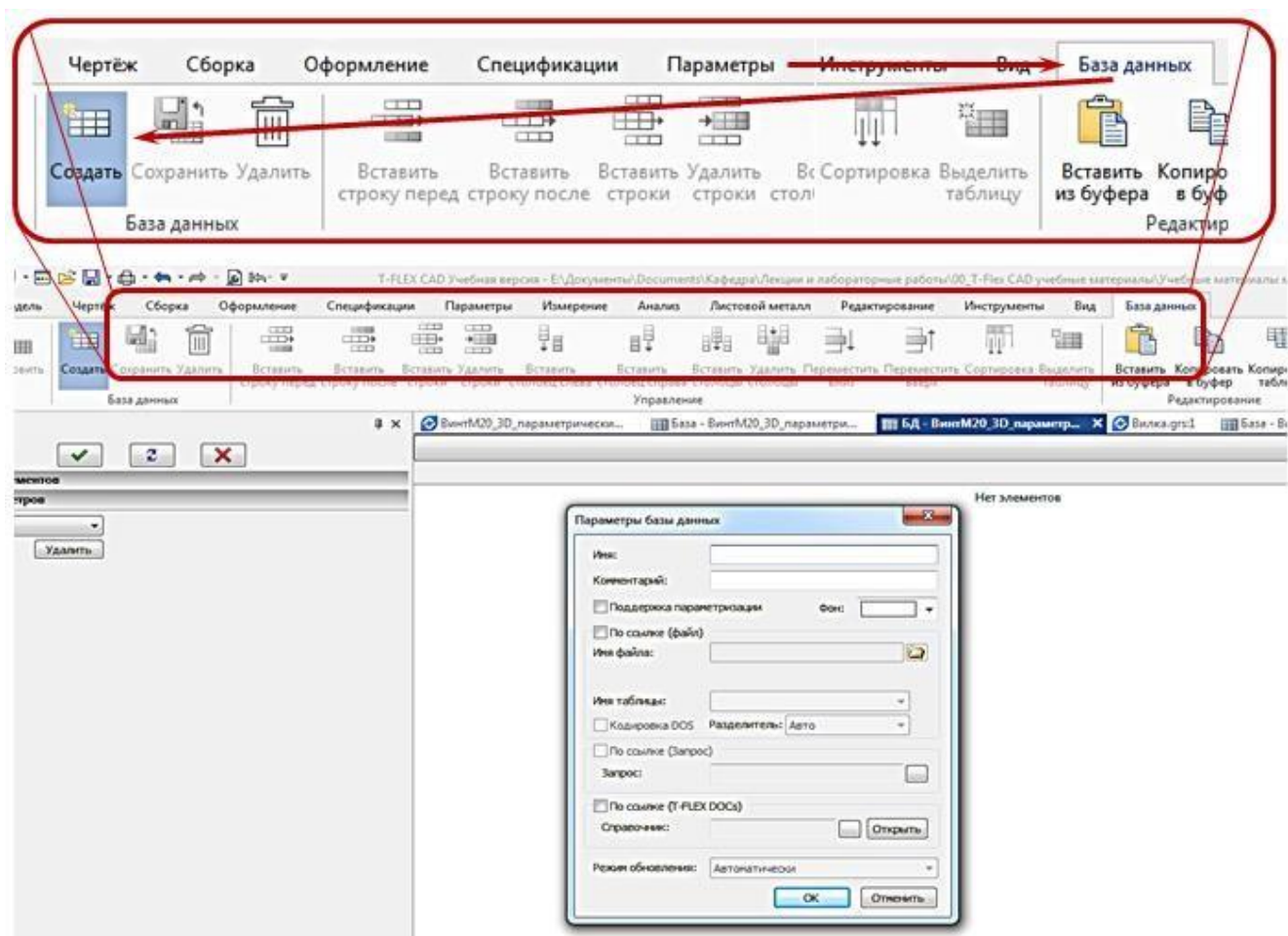


Рисунок 5.11. Создание базы данных

После завершения формирования структуры БД (т.е. определения её имени и всех столбцов) создаётся пустая БД, в которую необходимо внести все значения. В нашем случае будет создана БД *base_m*, содержание которой показано на рисунке 5.4. В заголовке БД в скобках указано содержание введённого при создании БД комментария.

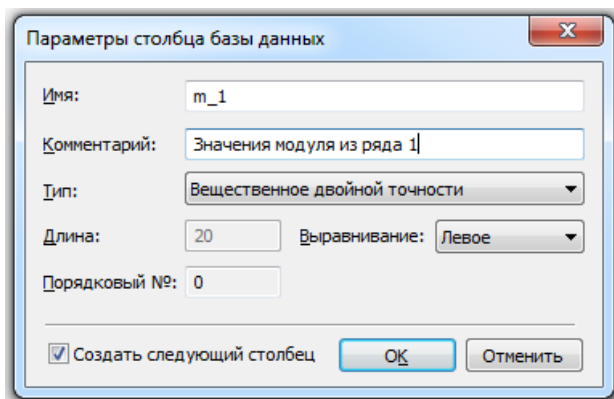


Рисунок 5.12. Окно ввода параметров столбца базы данных

Поступая таким же образом, создадим все БД, представленные на рисунках 5.4...5.10 и внесём в них данные из таблиц 5.2...5.10. В некоторых столбцах баз данных останутся незаполненные ячейки. Это, как указано выше, связано с тем, что количество строк определяется наиболее «длинным» столбцом, а количество данных в столбцах может не совпадать. Такие ячейки нужно заполнить нулями.

Перейдём к созданию параметров, и первым из них будет параметр m – модуль зубчатой передачи.

Для создания параметра (переменной) необходимо сделать активной вкладку *ПЕРЕМЕННЫЕ*, щелкнуть по ней правой кнопкой и в открывшемся контекстном меню выбрать опцию *НОВАЯ ПЕРЕМЕННАЯ...* (рис. 5.13). В результате указанных действий откроется окно *ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕННОЙ*, в котором нужно внести имя переменной, её тип (вещественная или текстовая, в нашем проекте все переменные имеют вещественный тип), желательно внести комментарий и указать группу (в общем случае необязательно, но в нашем проекте создадим группу *МОДУЛЬ*). Никаких значений пока определять не требуется. Точно также создадим параметры m_1 с комментарием *МОДУЛЬ, РЯД 1* и m_2 с комментарием *МОДУЛЬ, РЯД 2*, не определяя никаких значений. Создадим переменную m_{row} , по отношению к которой установим следующее (рисунок 5.14): эта переменная может принимать одно значение из двух (1 или 2). В поле *ВЫРАЖЕНИЕ* внесём значение 1 (это значение переменная будет получать по умолчанию), в поле *СПИСОК* выберем *ТЕКСТ*, после чего выберем режим *РЕДАКТИРОВАТЬ*. В открывшемся окне *ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕННОЙ* введём значения 1 и 2 (как показано на рисунке – в столбик).

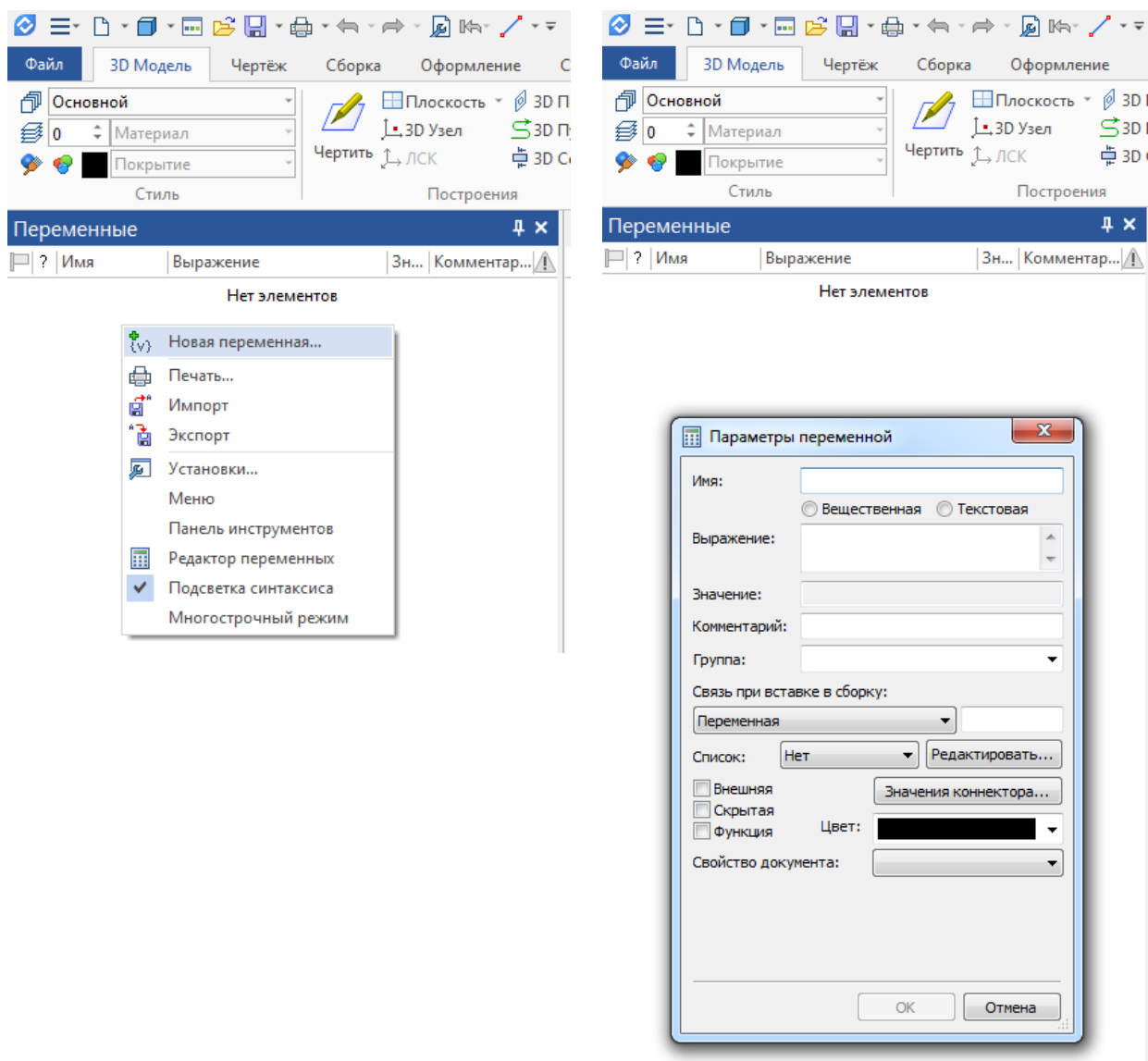


Рисунок 5.13. Последовательность создания переменной

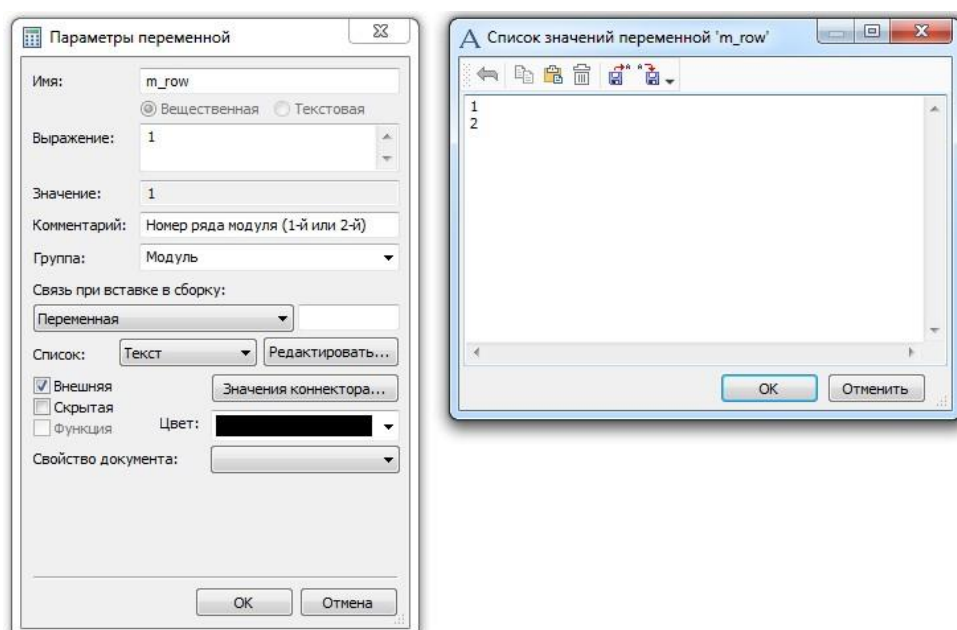


Рисунок 5.14. Создание переменной *m_row*

Указанные действия определили переменную *m_row* как список, состоящий из двух значений: 1 или 2. Каждое из них, как уже понятно, является значением выбранного ряда модулей. Кроме того, установим для переменной категорию *ВНЕШНЯЯ*.

Что касается переменных *m_1* и *m_2*, то их необходимо связать с БД *base_m* так, чтобы каждая получала значения из этой БД. Для решения указанной задачи необходимо щелкнуть правой кнопкой по имени переменной (рассматриваем на примере *m_1*), в контекстном меню выбрать *ПАРАМЕТРЫ...* Далее (см. рисунок 5.15), в окне *ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕННОЙ* в поле *ВЫРАЖЕНИЕ* установить значение 0.5, в поле *СПИСОК* выбрать *БАЗА ДАННЫХ*, после чего откроется следующее окно *ВЫБОР ИЗ БАЗЫ ДАННЫХ*, в котором нужно установить свойства, представленные на рисунке 5.15.

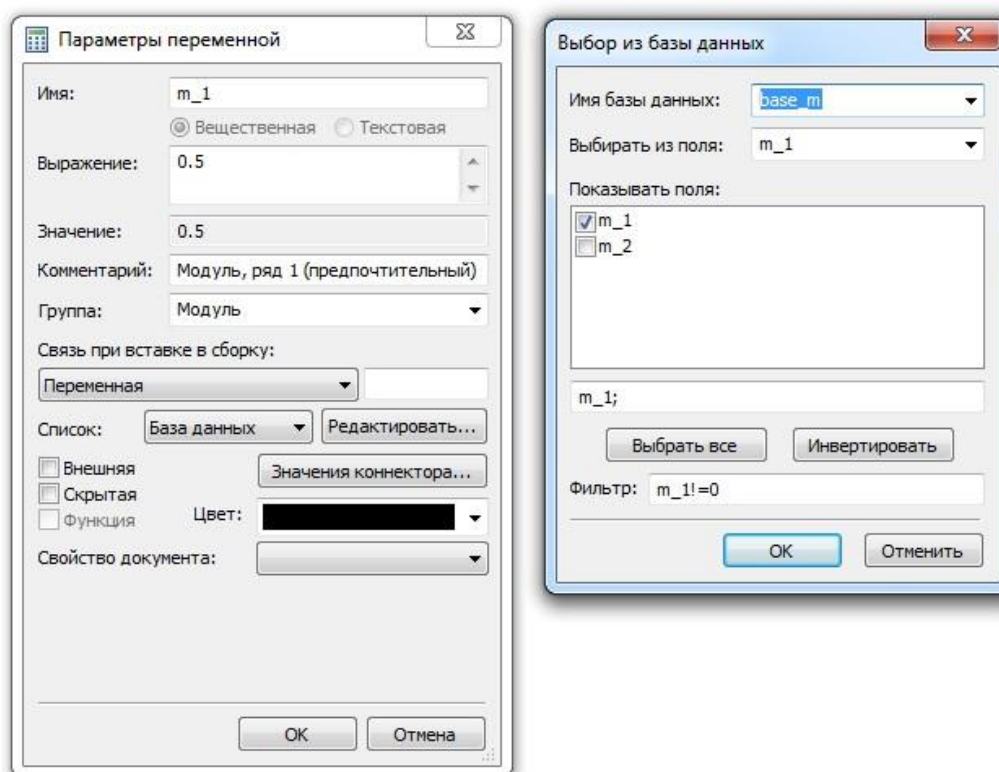


Рисунок 5.15. Свойства переменной *m_1*

Обратим внимание, что в правом окне (рисунок 5.15) есть поле для применения фильтра при отборе данных из БД. В данном случае фильтр удаляет из всех выбранных из БД значений нули. Выражение, определяющее

фильтр, имеет вид: $m_1 \neq 0$, в котором используется логическая операция «не». В *T-FLEX CAD* эта операция определяется символом «!>». Т.е. конструкция «! \neq » – это операция «нравно». Описание всех операций *T-FLEX CAD* содержится в руководстве пользователя [32]. По мере описания процесса создания модели будем знакомиться как с операциями, установленными в *T-FLEX CAD*, так и с функциями, в том числе и для баз данных. Работа с базами данных в *T-FLEX CAD* также содержится в [32].

На рисунке 5.16 представлены свойства переменной m_2 . Действия по установлению этих свойств такие же, как и для переменной m_1 .

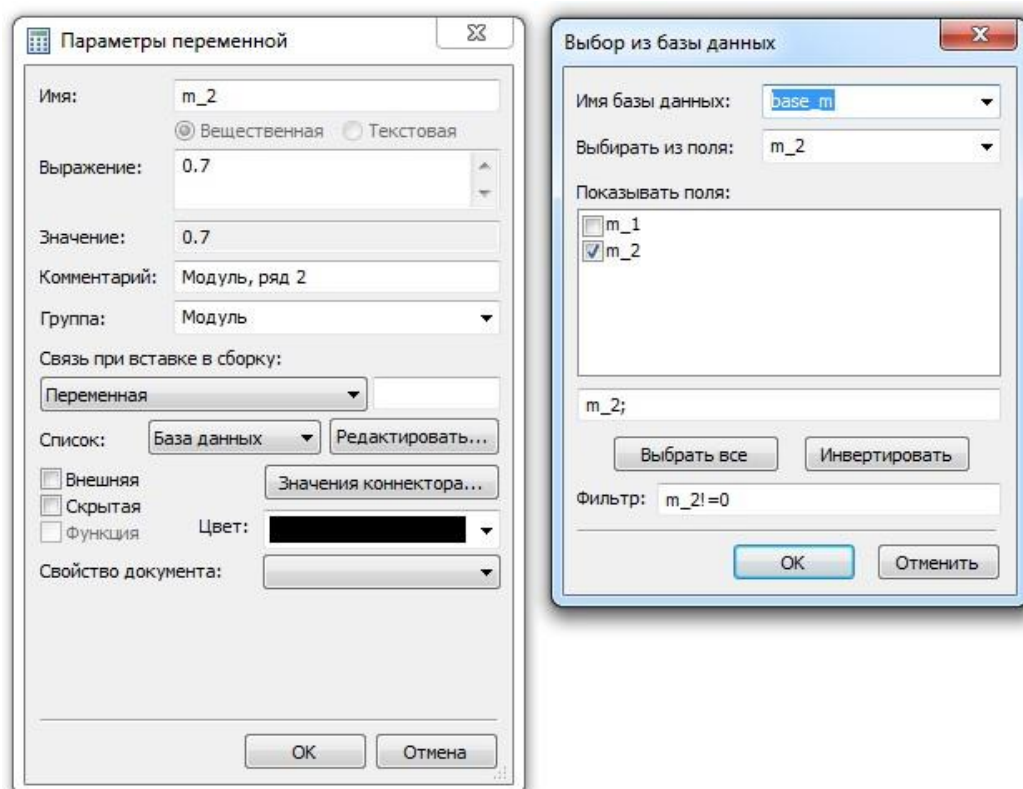


Рисунок 5.16. Свойства переменной m_2

Итак, для определения допустимых значений модуля зубчатой передачи создано четыре переменных:

- m_{row} , которая принимает значение 1, если предполагается для расчётов использовать значения из первого ряда, и 2, если из второго;
- m_1 , которая принимает значения из первого столбца БД *base_m* (т.е. первого ряда);

- m_2 , которая принимает значения из второго столбца БД $base_m$ (т.е. второго ряда);
- m , значение которой равно m_1 , если m_row равно 1, и m_2 , если m_row равно 2.

Переменная m и есть, собственно, модуль, точнее – список допустимых значений, из которых пользователь может выбрать то, которое и будет использоваться в расчётах. Таким образом, осталось установить соответствующие поставленной цели свойства для переменной m . Выражение, которое определяет значение m , формулируется следующим образом: если m_row равно 1, то m равно m_1 , иначе m равно m_2 , что в терминах *T-FLEX CAD* имеет вид: $m_row==1?m_1:m_2$. Если бы этот фрагмент записывался на языке программирования Паскаль, то он выглядел бы так:

```
if m_row=1 then m:=m_1 else m:=m_2;
```

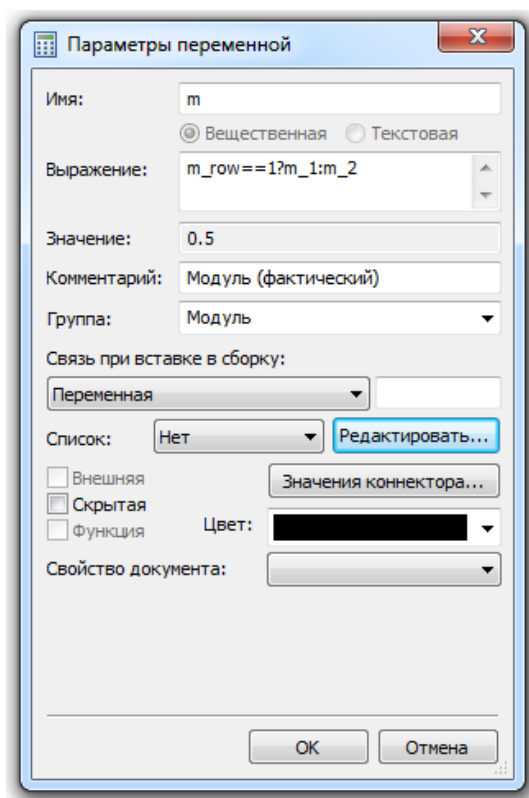


Рисунок 5.17. Свойства переменной m

Иначе говоря, приведённое выше выражение (оно же содержится в одноимённом поле в форме, представленной на рисунке 17) фактически

является условным оператором (но без явного присваивания значения

переменной): « $m_row==1$ » – это проверка условия «равно ли m_row единице»? Если да, то выполняется выражение, следующее сразу после знака «?», и переменной m присваивается значение m_1 . Если нет, то выполняется выражение после знака «:», и m присваивается значение m_2 .

На рисунке 5.18 показана часть окна *ПЕРЕМЕННЫЕ*, содержащая группу *МОДУЛЬ*.

Как видно, переменные m_row , m_1 и m_2 являются списками. Первое – поскольку это явно определено в его свойствах, а два других – поскольку они привязаны к базе данных. Значение переменной m равно m_1 (т.е. 0.5), так как m_row равно 1. Если же изменить значение m_row на 2, то m станет равным 0.7 (т.е. m_2). Порядок изменения значений указанных переменных неважен. Можно сначала установить значение m_row , а затем m_1 и (или) m_2 , можно и наоборот.

Группа: Модуль					
	m	$m_row==1?m_1:m_2$	0.5	Модуль (фактический)	
🚩	m_1	0.5	▼ 0.5	Модуль, ряд 1 (предпочтител...	
🚩	m_2	0.7	▼ 0.7	Модуль, ряд 2	
🚩	m_row	1	▼ 1	Номер ряда модуля (1-й или ...	

Рисунок 5.18. Группа переменных *МОДУЛЬ*

Точно такой же подход применён и к формированию значения количества зубьев проектируемой шестерни.

На рисунке 5.19 представлена группа переменных *КОЛИЧЕСТВО ЗУБЬЕВ*.

Группа: Количество_зубьев					
	z	$z_row==2?z_2:z_1$	46	Количество зубьев (фактичес...	
🚩	z_1	40	▼ 40	Количество зубьев, ряд 1	
🚩	z_2	46	▼ 46	Количество зубьев, ряд 2 (пр...	
🚩	z_row	2	▼ 2	Номер ряда параметра "колич...	

Рисунок 5.19. Группа переменных *КОЛИЧЕСТВО ЗУБЬЕВ*

На следующих рисунках (рисунках 5.20...5.23) представлены свойства переменных этой группы. В силу полной идентичности действий по отношению к переменным со сходственными именами представленной на

указанных рисунках информации достаточно для того, чтобы правильно сформировать переменные группы *КОЛИЧЕСТВО ЗУБЬЕВ*.

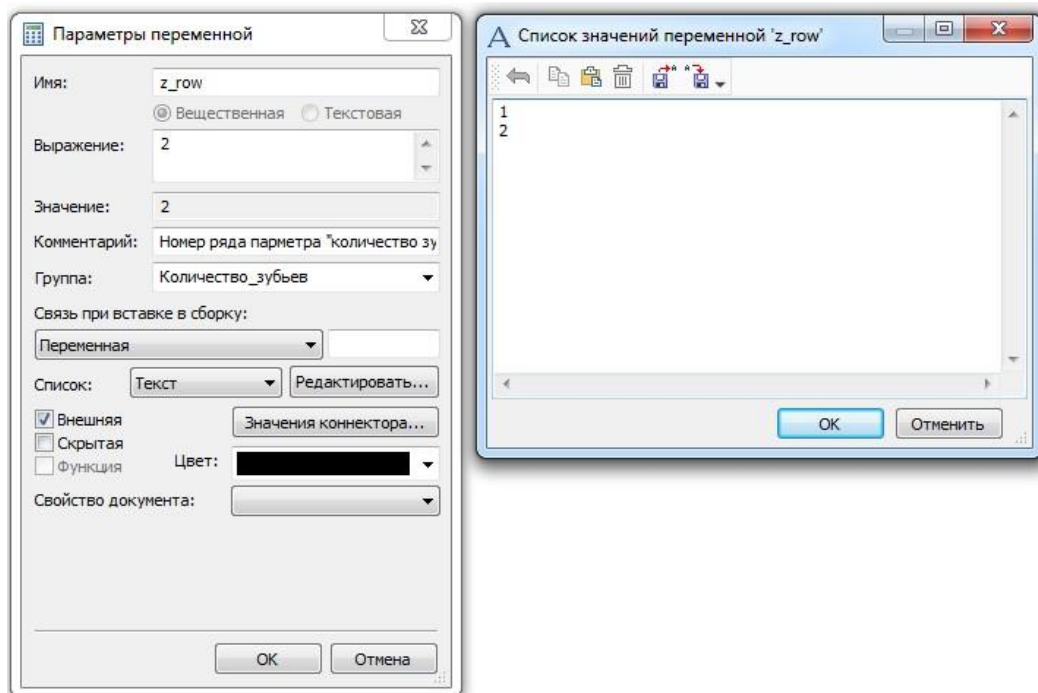


Рисунок 5.20. Свойства переменной *z_row*

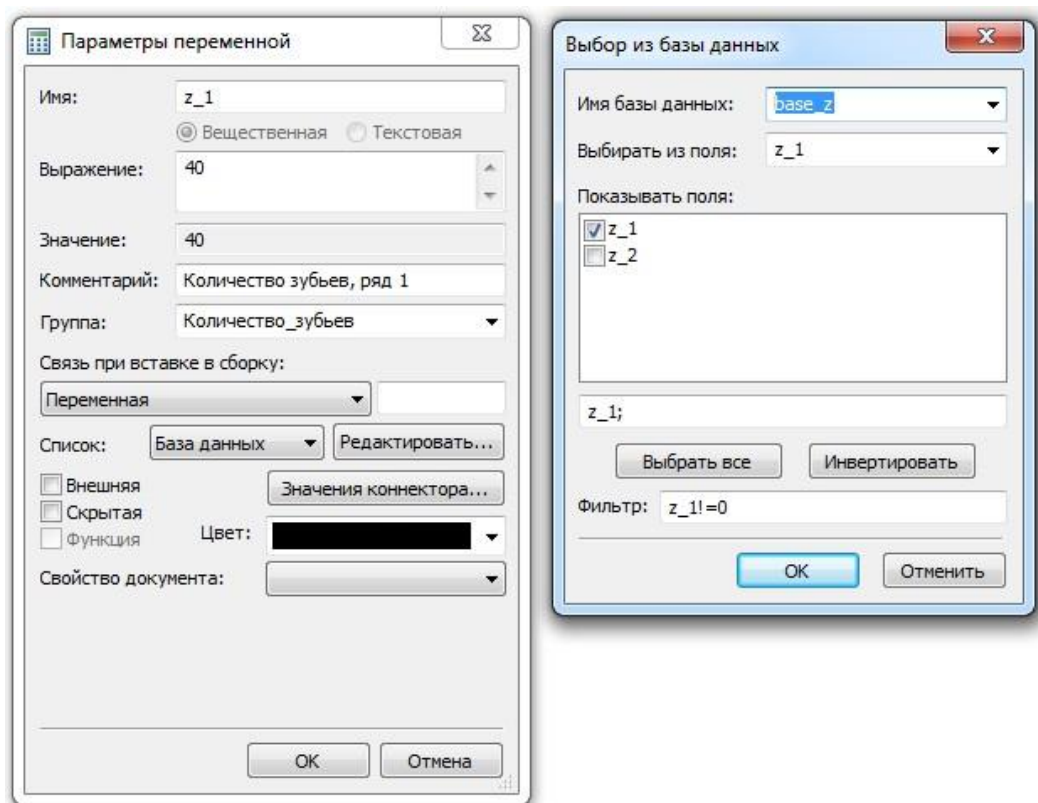


Рисунок 5.21. Свойства переменной *z_1*

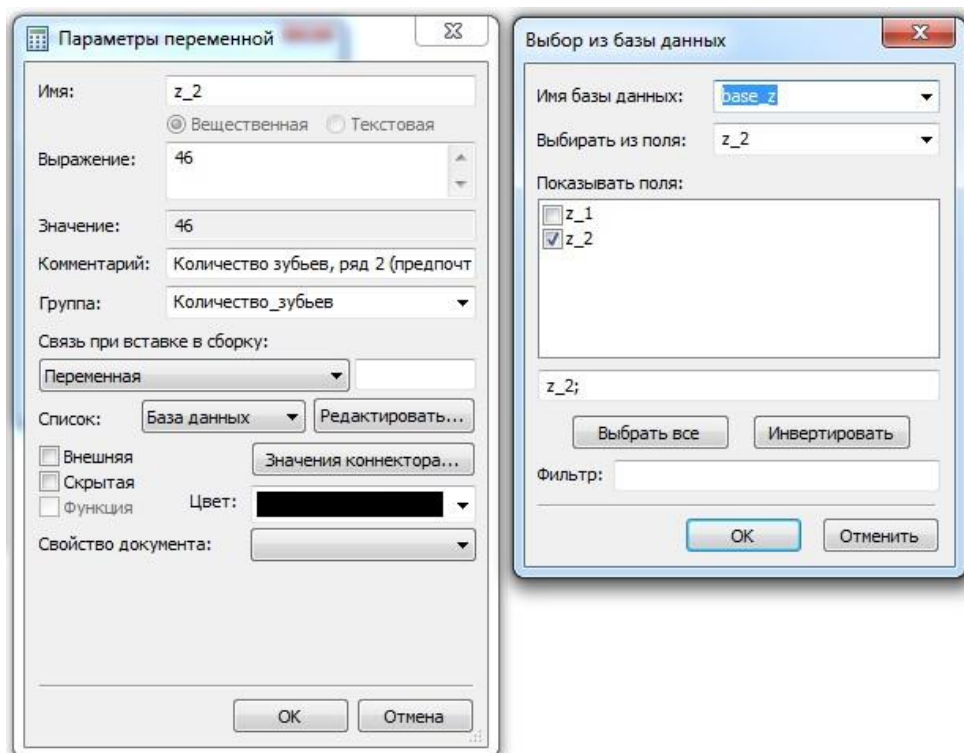


Рисунок 5.22. Свойства переменной z_2

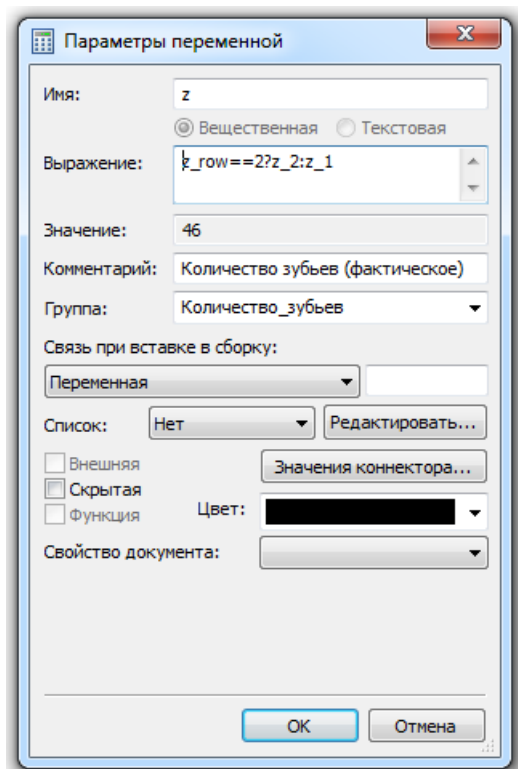


Рисунок 5.23. Свойства переменной z

Перейдём к созданию переменных группы *ШИРИНА ВЕНЦА* и установлению их свойств. Переменные этой группы показаны на рисунке 5.24.

Группа: Ширина венца					
	finder_b	rec(base_bminmax.m==m)	6		
?	b_max	val(finder_b,base_bminmax.bmax)	8	Максимальная ширина венц...	
?	b_min	val(finder_b,base_bminmax.bmin)	1	Минимальная ширина венца...	
	b	3	3	Ширина венца шестерни	

Рисунок 5.24. Переменные группы *ШИРИНА ВЕНЦА*

Очевидно существенное отличие переменных этой группы от рассмотренных выше. Это отличие связано с присутствием обращений к встроенным функциям *T-FLEX CAD*, предназначенным для работы с базами данных.

Напомним, с переменной *b* связаны две базы данных: *base_bminmax*, в которой находятся минимальные и максимальные значения ширины венца в зависимости от модуля *m*, и *base_b*, в которой всего один столбец, содержащий все возможные значения ширины венца. Необходимо в БД *base_bminmax* по заданному значению модуля найти соответствующую строку и из неё взять допустимые минимальное и максимальное значения, а затем из БД *base_b* отобразить те, которые лежат в указанном диапазоне.

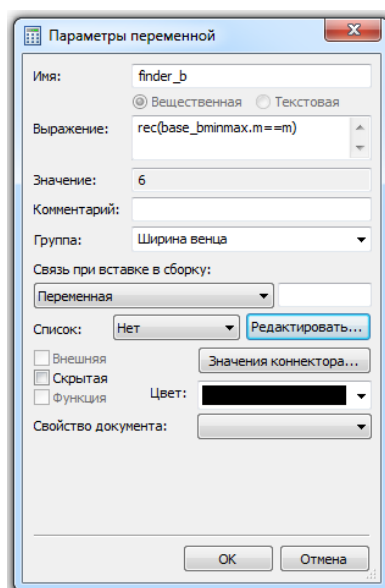


Рисунок 5.25. Свойства переменной *finder_b*

Для этого в список параметров группы *ШИРИНА ВЕНЦА* необходимо добавить переменную, обеспечивающую выборку конкретной строки в БД *base_bminmax*. Процесс создания такой переменной проиллюстрирован на рисунке 5.25.

Ключевым свойством рассматриваемой переменной является выражение, содержащееся в одноименном поле: *rec(base_bminmax.m==m)*. Это свойство состоит в том, что значение переменной *finder_b* – это номер записи в БД *base_bminmax*, значение модуля в которой равно («==») заданному ранее (см. группу *МОДУЛЬ*). Для получения номера записи (строки), удовлетворяющего заданным условиям, используется функция *rec(<условие>)*, где условие – это выражение, принимающее значение *ИСТИНА* или *ЛОЖЬ*. В рассматриваемом случае *<условие>* – это проверка равенства значения модуля в столбце *m* БД *base_bminmax* (*base_bminmax.m*) заданному значению модуля *m*.

Таким образом, всякое изменение значения переменной *m* в группе *МОДУЛЬ* мгновенно отражается на состоянии переменной *finder_b* в группе *ШИРИНА ВЕНЦА*. Иными словами, становится ясно, из какой строки БД *base_bminmax* нужно взять значения *bmin* и *bmax*.

Для получения этих значений воспользуемся функцией *val(<номер записи>,<поле БД>,<смещение>)*, где:

- а) *<номер записи>* – любое арифметическое выражение, значением которого является целое число;
- б) *<поле БД>* – обращение к конкретному полю БД из строки, номер которой есть *<номер записи>*;
- в) *<смещение>* - необязательный параметр (номер столбца, из которого выбирается значение, если отсчитывать от поля, указанного в *<поле БД>*); по умолчанию *<смещение>* равно нулю, то есть значение выбирается из поля, указанного в *<поле БД>*.

В нашем случае в качестве первого параметра будем указывать переменную *finder_b* (напомним, что она получает номер конкретной записи, соответствующей значению модуля), а в качестве второго – наименование БД

и столбца, в котором хранятся значения конкретного параметра (b_{min} или b_{max}). На рисунке 5.26 показаны свойства переменных b_{min} и b_{max} . В поле Выражение для каждой переменной находится обращение к функции *val*, обеспечивающей доступ к значению соответствующего столбца в строке с номером *finder_b*.

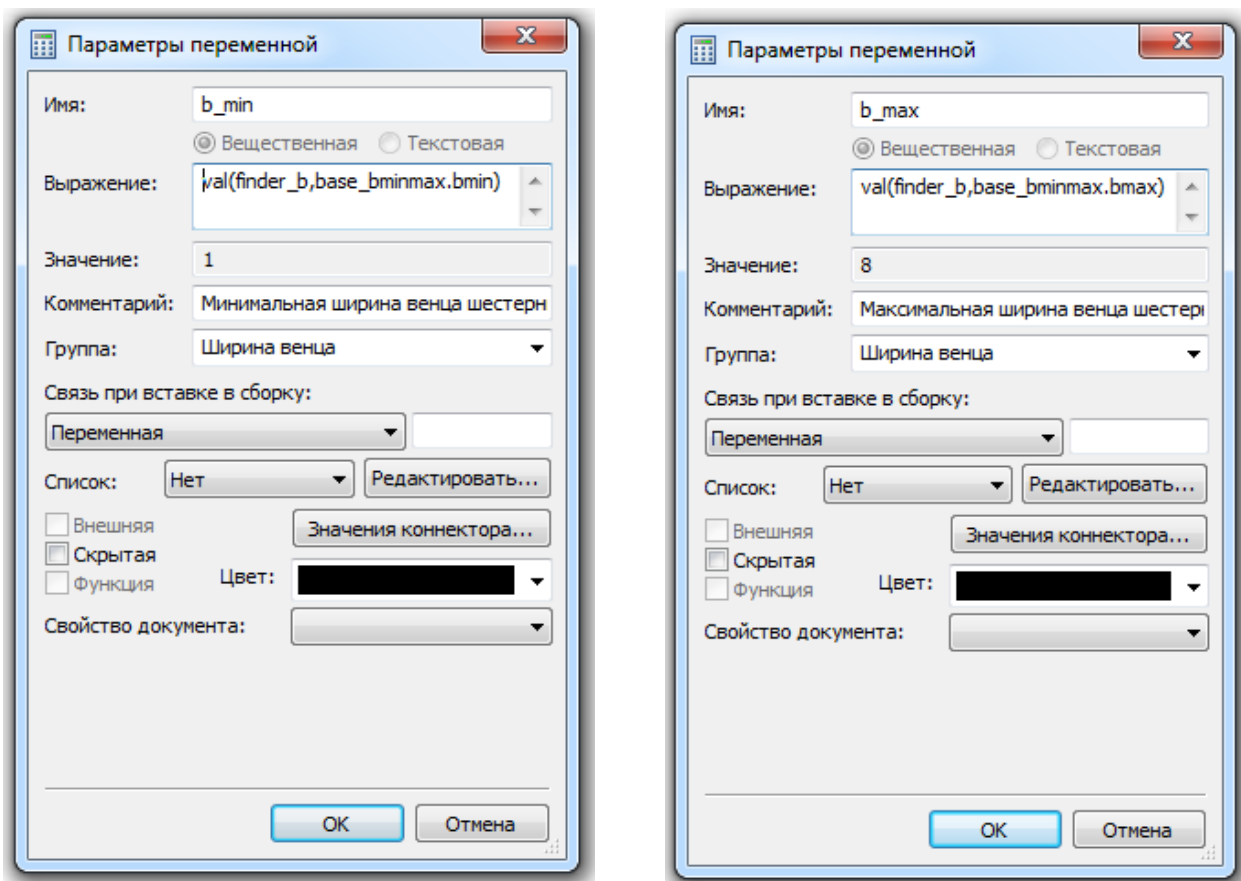


Рисунок 5.26. Свойства переменных b_{min} и b_{max}

После определения границ допустимых значений ширины венца b можно обратиться в БД $base_b$ за получением выборки всех значений, лежащих в установленном диапазоне. Для этого используется переменная b , свойства которой показаны на рисунке 5.27. Как видно, переменная связана с базой данных $base_b$, а при отборе значений используется фильтр: $b \geq b_{min} \&\& b \leq b_{max}$. Этот фильтр ограничивает диапазон выборки. Пара символов $\&\&$ - это логическая операция «И».

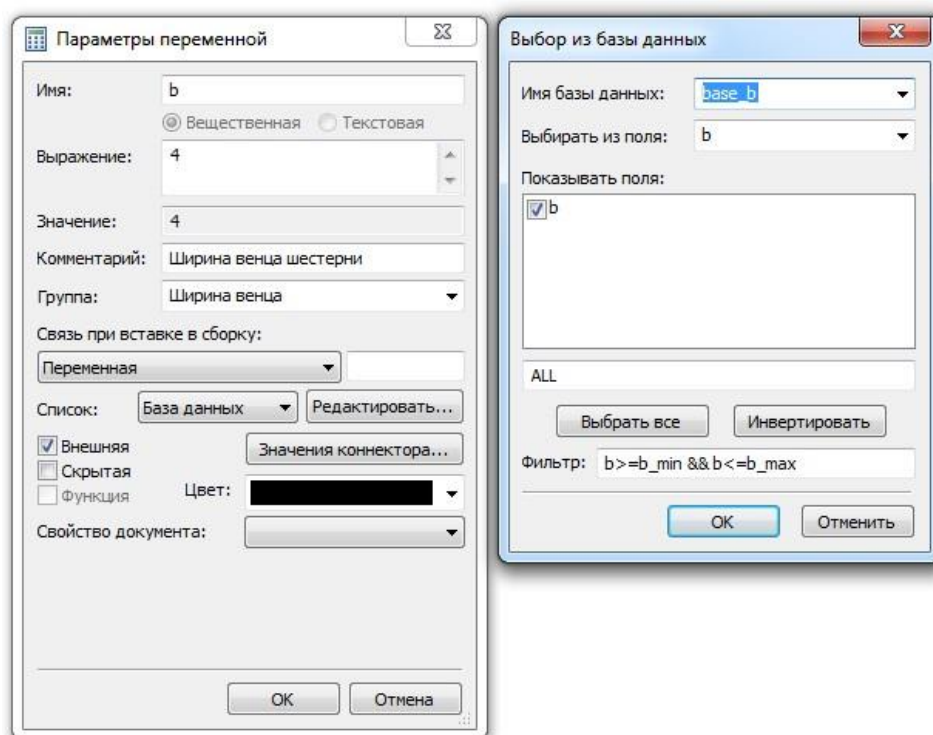


Рисунок 5.27. Свойства переменной *b*

Для условий, показанных на рисунке 5.24, выборка будет производиться из диапазона, представленного на рисунке 5.28.

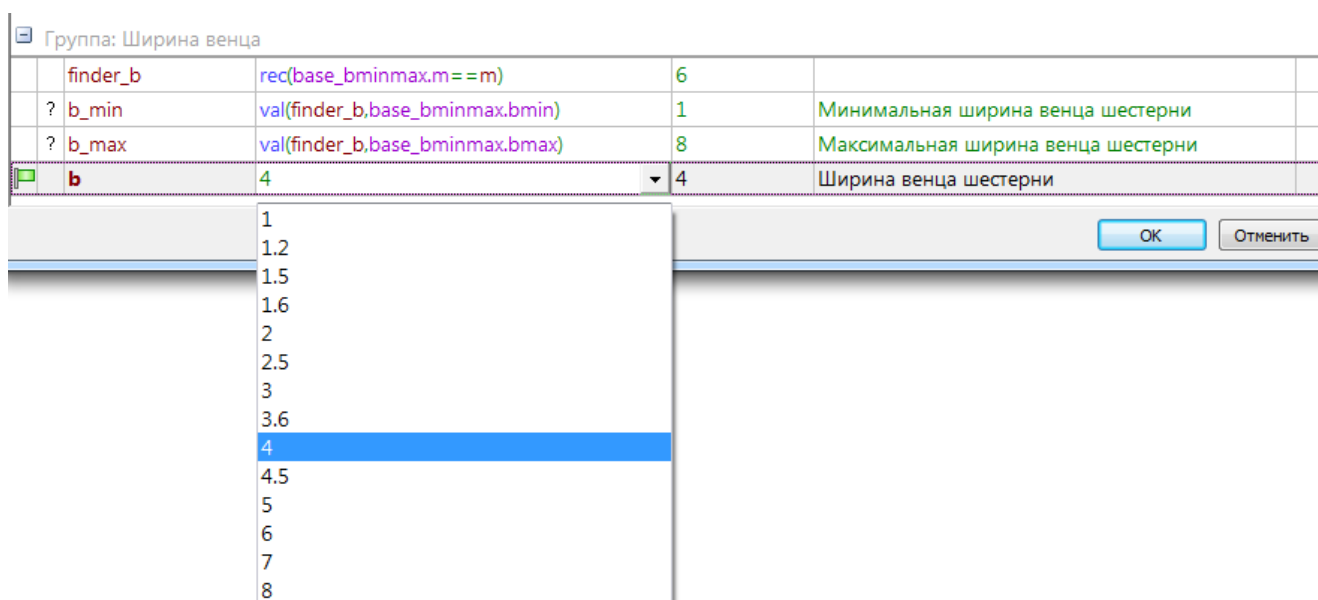


Рисунок 5.28. Установлен диапазон для значений ширины венца зуба

Следующая группа параметров – это группа *ДИАМЕТР ОТВЕРСТИЯ И СТУПИЦА*. В эту группу входят следующие параметры: d_y – диаметр отверстия под вал, d_{y1} – диаметр собственно ступицы, l – длина ступицы и l_1 – длина

обратной части ступицы. Кроме того, для организации работы с базами данных, а также для создания необходимых фильтров добавлены вспомогательные переменные (см. рисунок 5.29).

Имя	Выражение	Зна...	Комментарий
Группа: Диаметр отверстия и ступица			
d_row	1	1	Диаметр отверстия под ось
dy_1	4	4	Значения диаметра отверсти...
dy_2	9	9	Значения диаметра отверсти...
dy	d_row==1?dy_1:dy_2	4	Диаметр отверстия (фактиче...
finder_dy	rec(base_dylminmax.dy==dy)	14	
? dy1_min	val(finder_dy,base_dylminmax.dy1...	7	Минимальное значение диа...
? dy1_max	val(finder_dy,base_dylminmax.dy1...	8	Максимальное значение диа...
? l_min	val(finder_dy,base_dylminmax.l_m...	3	Минимальное значение длин...
? l_max	val(finder_dy,base_dylminmax.l_m...	10	Максимальное значение дли...
dy1	8	8	Диаметр ступицы
l	6	6	Длина ступицы
l_1	1	1	Обратная длина ступицы
? l_max	l-b	3	

Рисунок 5.29. Параметры группы *Диаметр отверстия и ступица*

Условно параметры, входящие в группу, можно разбить на три подгруппы: 1 – определение диаметра отверстия, 2 – отбор из БД минимальных и максимальных значений диаметра и длины ступицы, 3 – определение значений диаметра, длины и обратной длины ступицы. Напомним (см. рисунок 3), что с параметрами группы *Диаметр отверстия и ступица* связаны четыре БД: *base_dy*, *base_dylminmax*, *base_dy1* и *base_l1*.

Определение диаметра отверстия построено также как определение модуля *m* и количества зубьев *z*. Поэтому достаточно указать свойства связанных с *dy* параметров: *d_row*, *dy_1*, *dy_2* и собственно *dy* (см. рисунки 5.30...5.33).

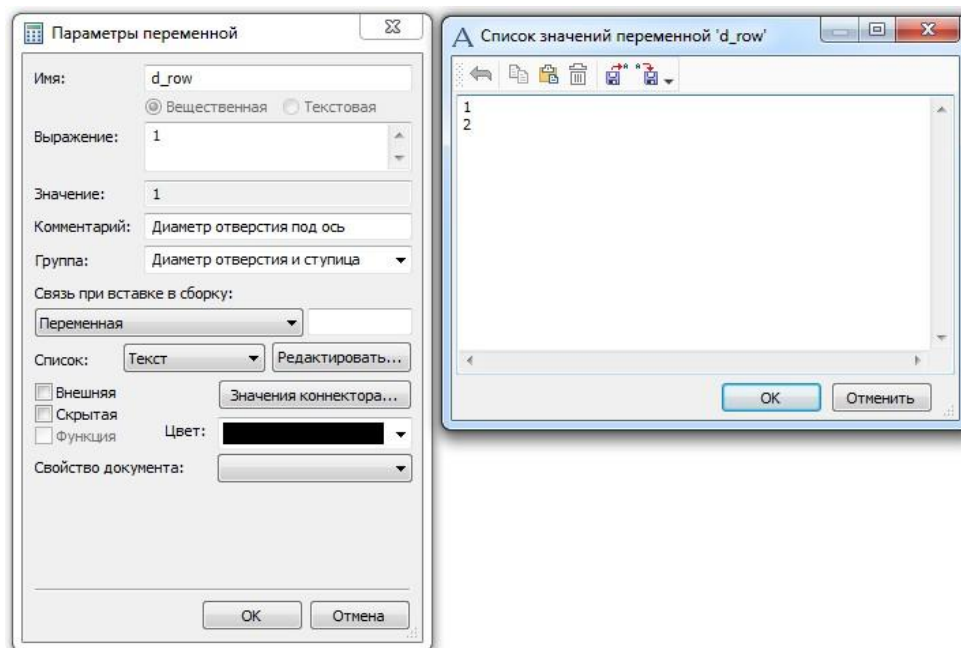


Рисунок 5.30. Свойства параметра d_{row}

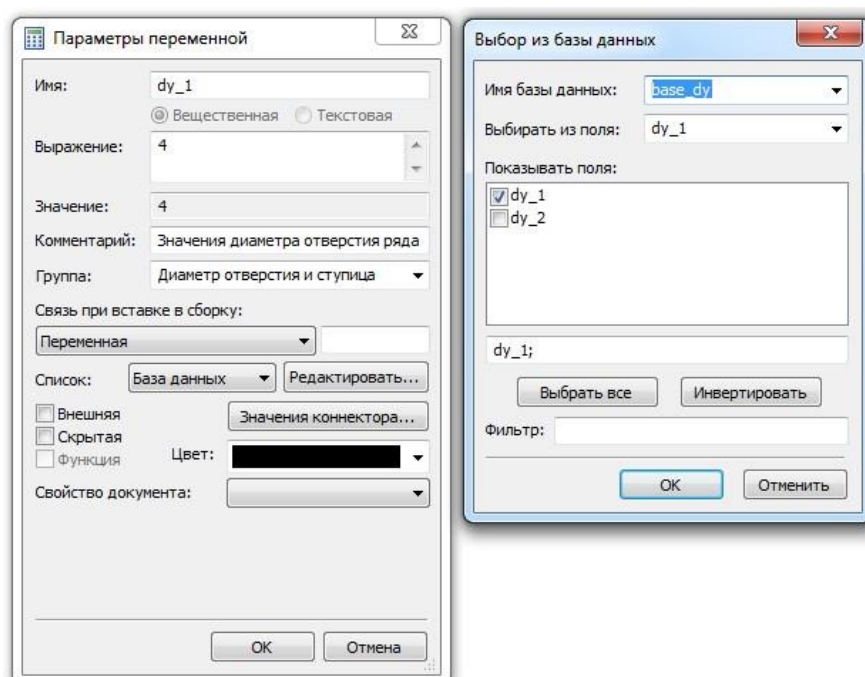


Рисунок 5.31. Свойства параметра dy_1

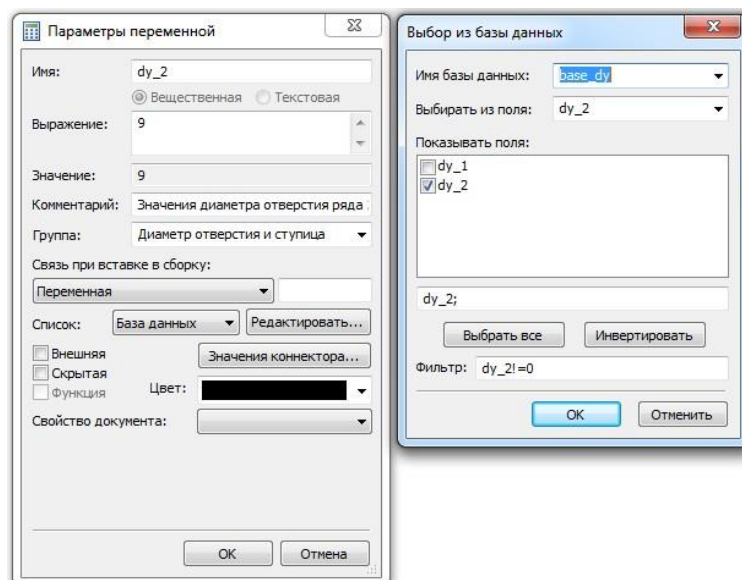


Рисунок 5.32. Свойства параметра *dy₂*

Далее. Отбор минимальных и максимальных значений диаметра и длины ступицы аналогичен отбору сходственных значений ширины венца зуба. В связи с этим в перечень параметров добавлена переменная *finder_dy* (аналог *finder_b*), содержащая номер записи (строки) в БД *base_dylminmax*, значение поля *dy* которой равно значению переменной *dy*. Для получения номера записи использована функция *rec()*. Значение *finder_dy* подставляется в функцию *val()* для определения *dy1_min*, *dy1_max*, *l_min* и *l_max* (см. рисунки 5.34...5.36).

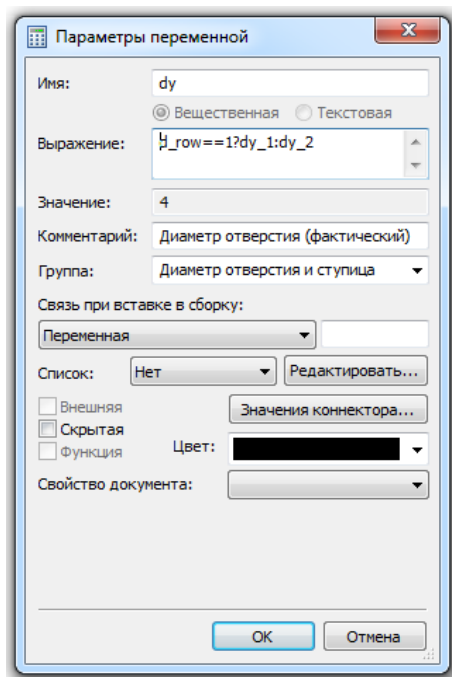


Рисунок 5.33. Свойства параметра *dy*

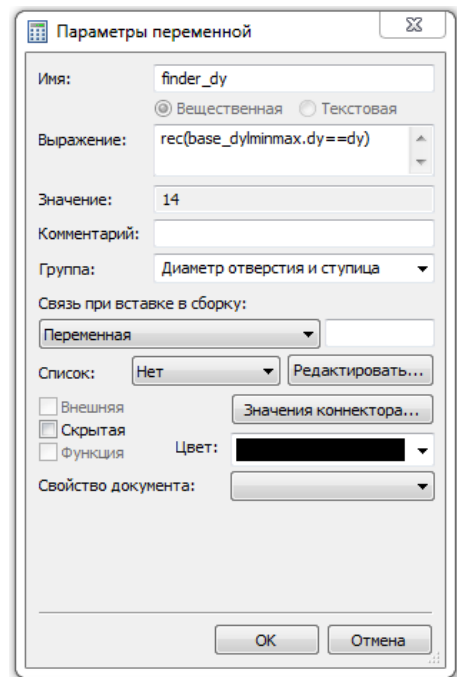


Рисунок 5.34. Свойства параметра *finder_dy*

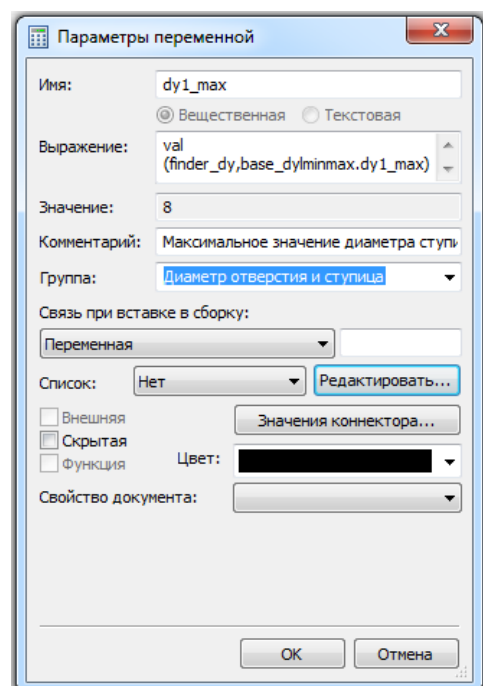
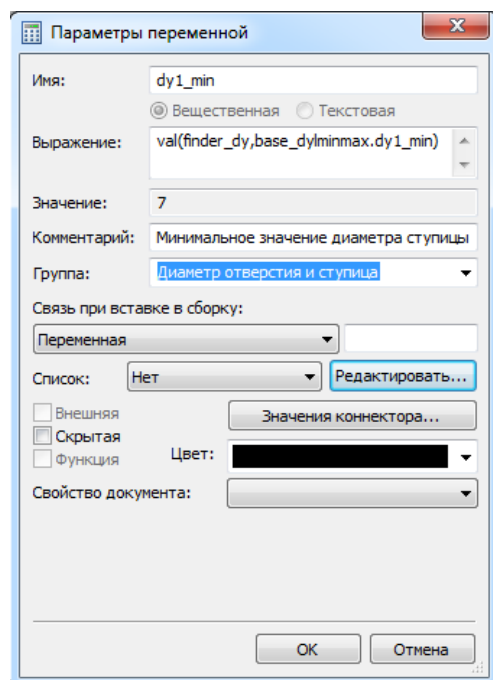


Рисунок 5.35. Свойства параметров *dy1_min* и *dy1_max*

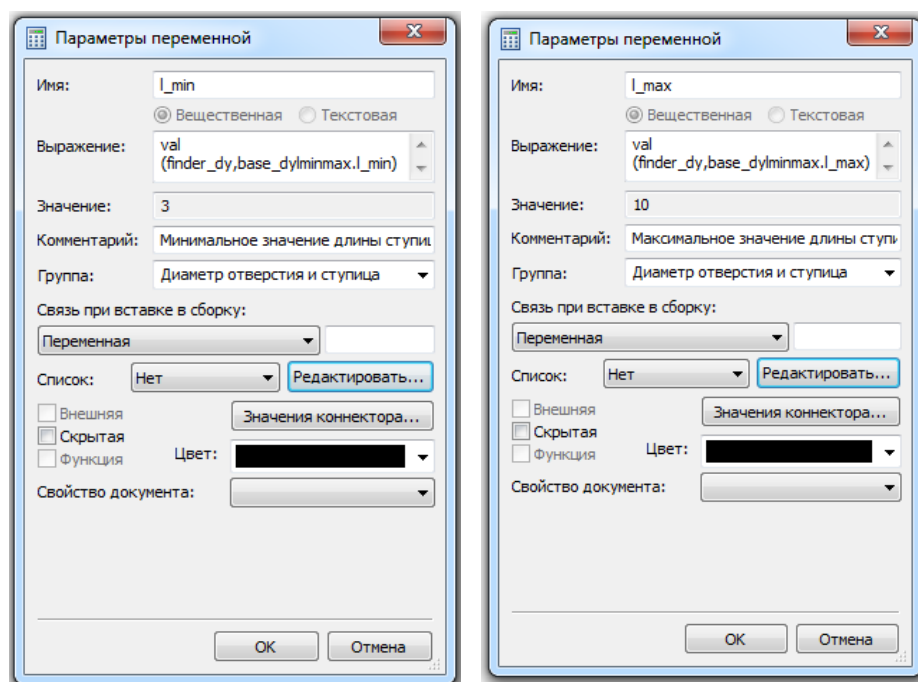


Рисунок 5.36. Свойства параметров l_{min} и l_{max}

Наконец, параметры $dy1$, l и $l1$ выбираются из баз данных $base_dy1$ и $base_l1$ с включением соответствующих фильтров: для $dy1$ и l фильтр определяет границы диапазонов между минимальным и максимальным значениями, а для $l1$ –обеспечивает выполнение условия $l-b-l1 \geq 0$. Для создания такого фильтра в число параметров добавлена переменная $l1_{max}$, равная разности $l-b$. Свойства указанных переменных представлены на рисунках 5.37...5.40.

Отметим, что в Приложениях 1 и 2 содержится подробная информация об использованных в проекте параметрах, расчетных формулах и функциях, обеспечивающих корректную выборку из баз данных.

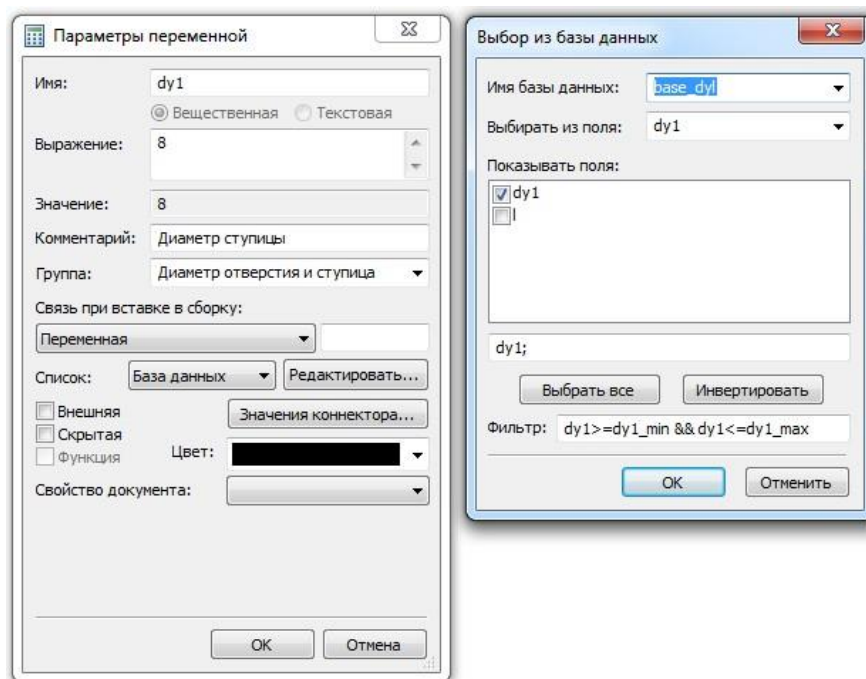


Рисунок 5.37. Свойства параметра *dy1*

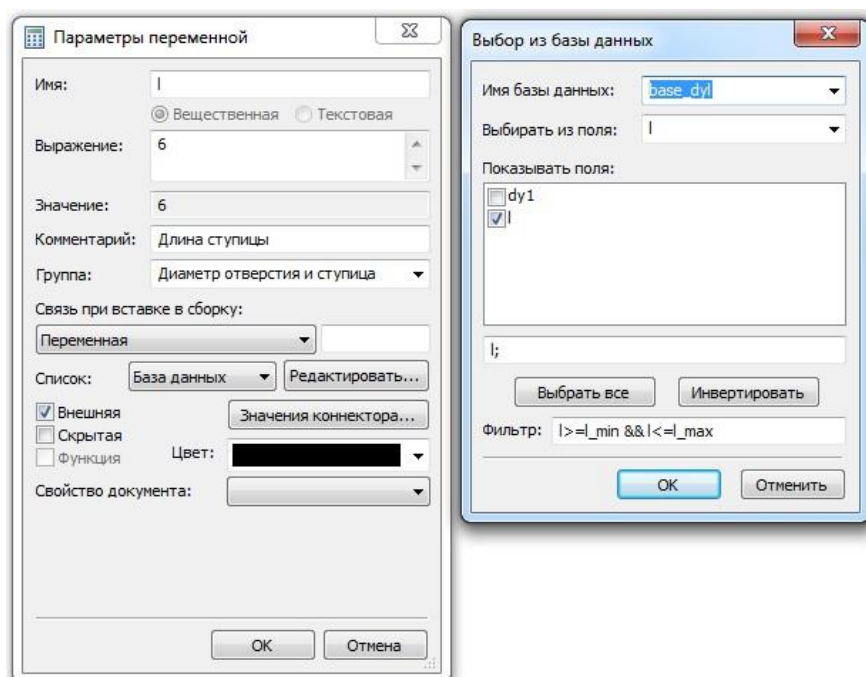


Рисунок 5.38. Свойства параметра *l*

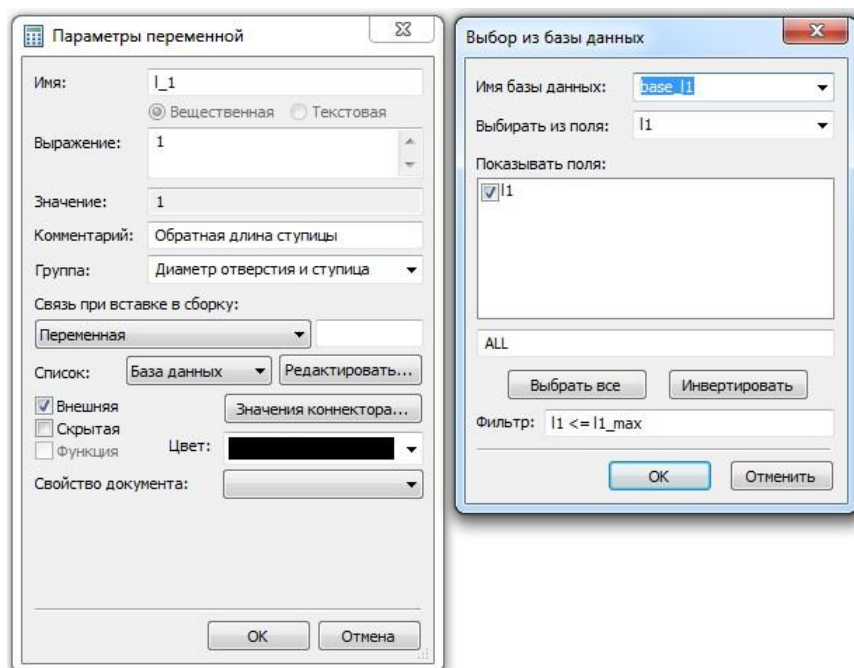


Рисунок 5.39. Свойства параметра l_1

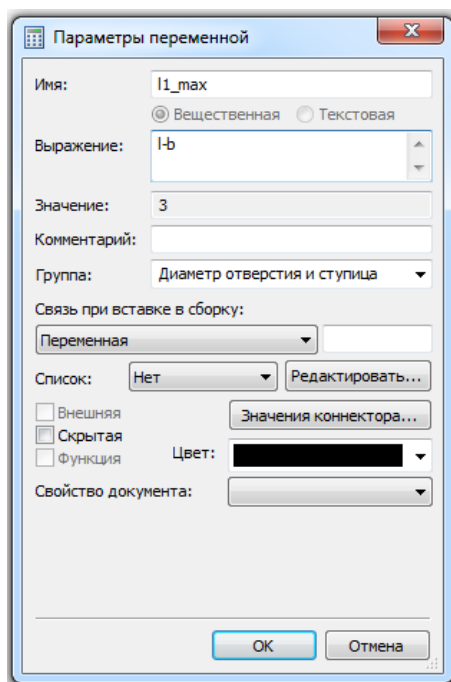


Рисунок 5.40. Свойства параметра $l1_max$

Последняя группа переменных, которую необходимо рассмотреть, это группа Построение профиля.

5.4. Переменные эвольвентного зацепления и построение профиля зубчатого колеса

Перечень переменных, входящих в группу Построение профиля, установленные для их вычисления формулы и полученные значения представлены на рисунке 5.41.








	alpha	20	20	Угол главного профиля
	beta	0	0	Угол наклона зубьев
	c	0.25	0.25	Коэффициент радиального зазора
	delta_y	0	0	К-т уравнивающего смещения
	ha	1	1	Коэффициент высоты головки
	rof	0.384	0.384	К-т радиуса кривизны переходной
	x	0	0	К-т смещения исходного контура
	z	z_row = 1? z_1:z_2	50	Число зубьев
	alpha_t	atan(tan(alpha/180*pi)/cos(beta/180*pi))/pi*180	20	Угол профиля
	d	m*z/cos(beta/180*pi)	40	Делительный диаметр
	da	d+2*m*(ha+x+delta_y)	41.6	Диаметр вершин зубьев
	db	d*cos(alpha_t)	38.042...	Диаметр основной окружности
	df	da-2*m*(2*ha+c-delta_y)	38	Диаметр впадин (справочно)
	r_skr	rof*m	0.3072	Радиус скругления
	s	m*pi/2	1.2566...	Толщина зуба по делительной ок

Рисунок 5.41. Группа переменных Построение профиля

Рассмотрим эти параметры в контексте построения профиля одного зуба и создания профиля зубчатого колеса на основе кругового массива.

Отметим, что технология, лежащая в основе практически всех современных *CAD*-систем, а именно: построение эскиза и создание на его основе «твёрдого» тела, – для обеспечения параметризации в *T-FLEX CAD* не работает. Эскиз, создаваемый в *T-FLEX CAD*, по определению не может быть параметрическим [32]. Параметризацию обеспечивает только базовая для *T-FLEX CAD* технология создания чертежа на основе вспомогательных построений. Именно ей мы и будем следовать. Но дополнительными средствами, связанными с эскизами – установление связей и ограничений (симметрии линий) – воспользуемся.

Итак, выберем плоскость (*Вид СПЕРЕДИ*) и создадим в центре её (т.е. в начале координат) систему координат и зафиксируем обе оси. Построим с центром в начале координат три окружности: делительную диаметра d (показано на рисунке 5.42а, б: в окне *ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖНОСТИ* необходимо

клавишей *ТАВ* перевести фокус от радиуса к диаметру и вместо значения ввести идентификатор параметра d), окружность вершин зубьев диаметра d_1 и окружность впадин зубьев диаметра d_2 .

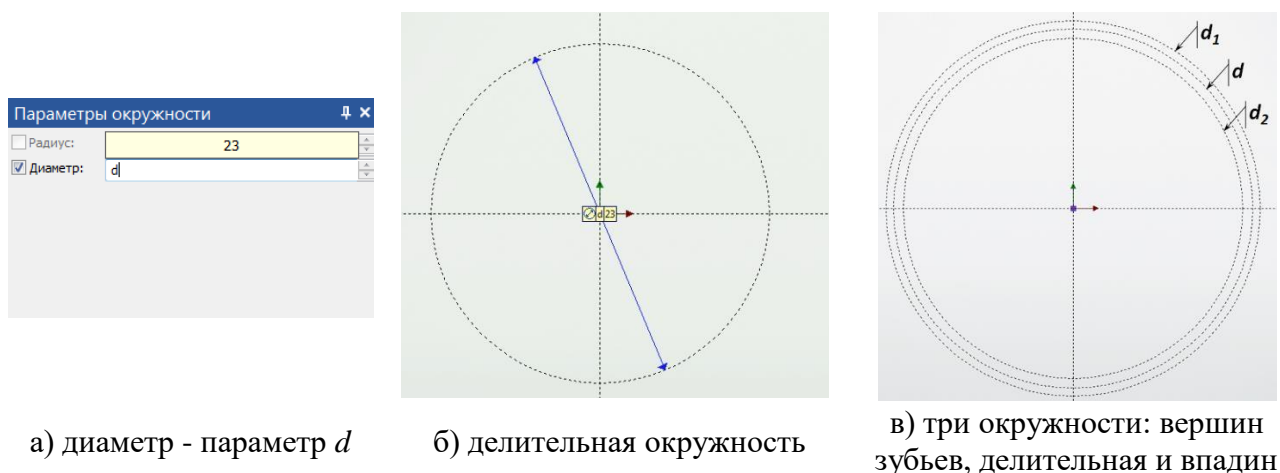


Рисунок 5.42. Построение основных окружностей

Далее будем следовать методике приближенного графического построения профиля эвольвентного зубчатого колеса, изложенной в [33]. При этом будем ссылаться на изложенные и проиллюстрированные в методике действия, всякий раз приводя результаты построения профиля в *T-FLEX CAD*. На иллюстрациях из методики [33] делительная окружность показана красным цветом, окружность вершин – зелёным, впадин – голубым, основная – синим.

Следующий этап состоит в построении касательной прямой к делительной окружности в верхней её точке, а затем – через эту точку прямой под углом α к построенной касательной. Наконец, из центра строим ещё одну окружность, касательную к последней прямой. Это – основная окружность, диаметр которой равен d_3 (таким образом, величина d_3 по сути является справочной, так как её значение определяется построением, см. рисунок 5.43).

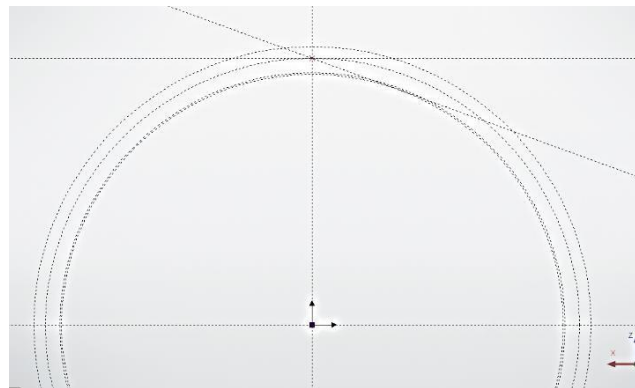
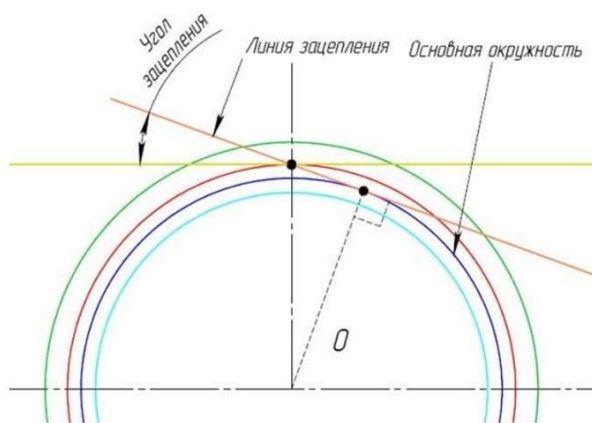


Рисунок 5.43. Построение прямой наклона профиля и основной окружности

Отметим точку A на делительной окружности, точку B – на основной (обратим внимание, что в нашем примере, в отличие от методики, диаметр основной окружности меньше диаметра впадин, рисунок 5.44).

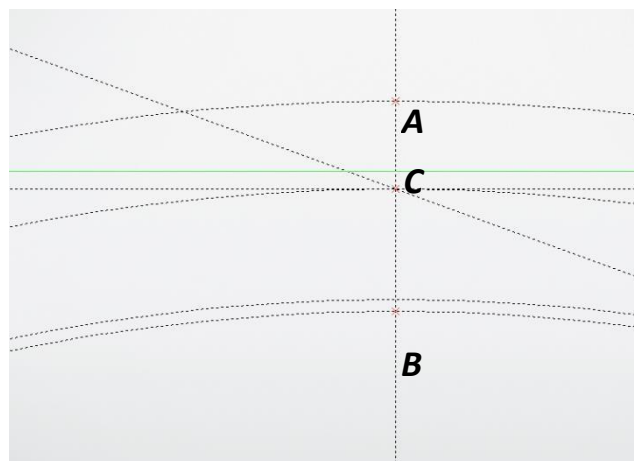
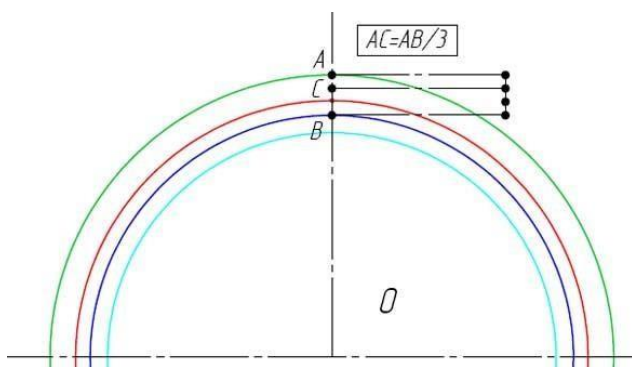


Рисунок 5.44. Построение точки C

Для построения точки C , такой, что $AC = \frac{1}{3}AB$, воспользуемся инструментом «пропорциональная прямая» (рисунок 45). Для этого нужно выбрать в инструменте **ПРЯМАЯ** соответствующий режим (на рисунке 5.45 выделен красным кружком), щёлкнуть по точке A , затем по B и в свойствах прямой ввести значение $1/3$ (см. рисунок 5.45).

Через точку C проведём прямую, касательную к основной окружности. Точку касания обозначим через D и на отрезке CD построим точку E , такую,

что $DE = \frac{1}{4}CD$. Для построения точки E также воспользуемся инструментом

ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ ПРЯМАЯ (рисунок 5.46).

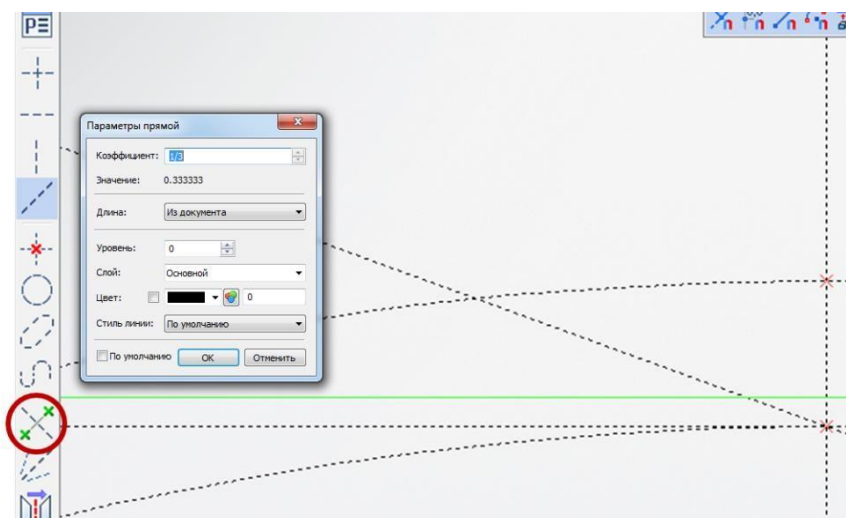


Рисунок 5.45. Построение пропорциональной прямой

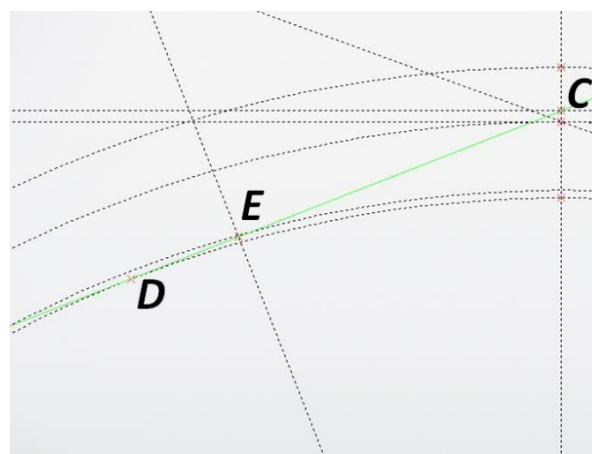
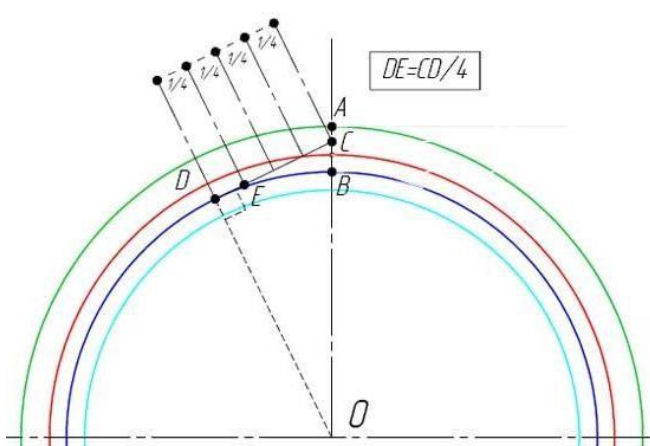


Рисунок 5.46. Построение точки E на отрезке CD

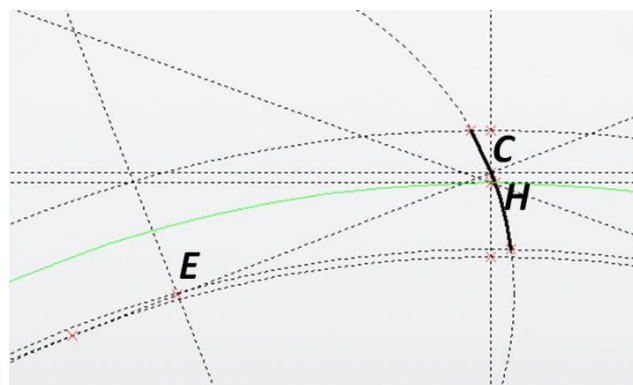
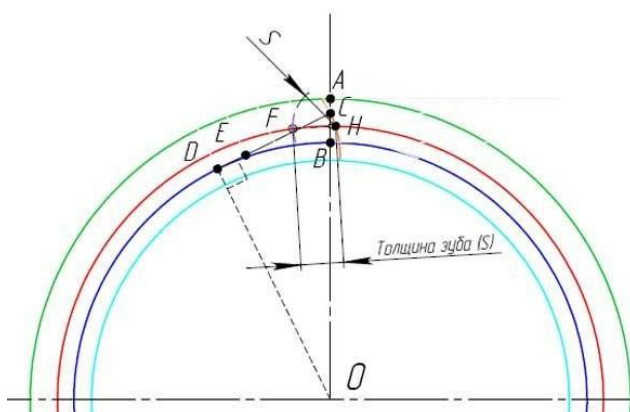


Рисунок 5.47. Построение окружности с центром в точке E и радиусом EC . Определение положения точки H на делительной окружности

Из точки E радиусом EC проводим окружность (рисунок 5.47). Точку пересечения этой окружности с делительной (выделена цветом) обозначим через H . Дуга между окружностями вершин и впадин (выделена цветом) – это правая часть профиля зуба.

На рисунке 5.48 показано построение на делительной окружности точки F , симметричной точке H и находящейся на противоположной стороне зуба. Расстояние между точками равно шагу зацепления: в методике – s , в рассматриваемом проекте – st , $FH=st$. Указанные точки симметричны относительно оси зуба. Ось симметрии (выделена цветом) в нашем случае строится как *ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ ПРЯМАЯ* между точками F и H с коэффициентом 0.5.

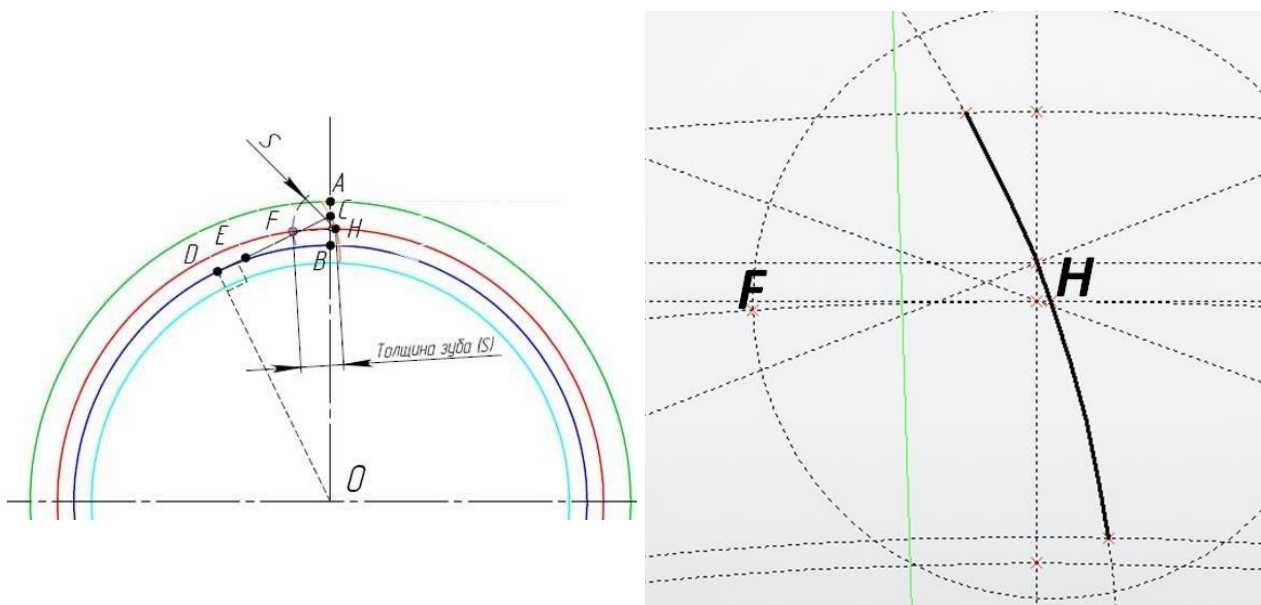


Рисунок 5.48. Построение точки F на противоположной стороне зуба

Таким образом, одна из точек противоположной части профиля зуба (F) построена. Построена также и ось симметрии зуба. Следовательно, можно построить ещё две точки, симметричные точкам профиля, на окружности вершин и на окружности впадин. Дуга окружности, проходящей через эти три точки (K , F и L) и заключённая между окружностями вершин и впадин, является второй частью профиля зуба (рисунок 5.49, выделена цветом).

При построении окружности используется инструмент *ОКРУЖНОСТЬ ЧЕРЕЗ УЗЛЫ* (*ВЫБРАТЬ УЗЕЛ, ЧЕРЕЗ КОТОРЫЙ ПРОХОДИТ ОКРУЖНОСТЬ*, рисунок 5.50). При использовании этого инструмента надо последовательно щёлкнуть по точкам (узлам) *L*, *F* и *K*. Напомним, что через три точки, не лежащие на одной прямой, можно построить *единственную окружность*.

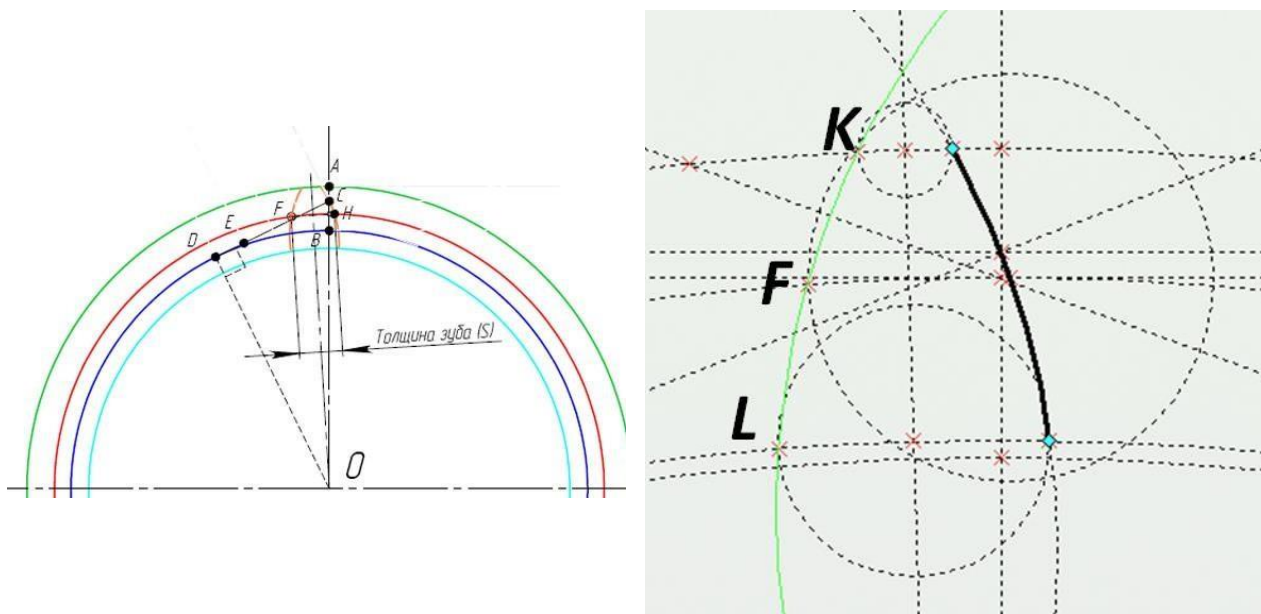


Рисунок 5.49. Построение симметричной части профиля зуба

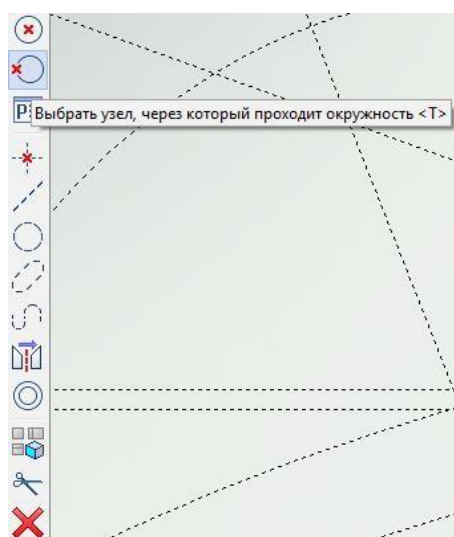


Рисунок 5.50. Выбор инструмента для построения окружности через узлы

Для завершения процесса построения профиля зуба необходимо учесть, что шаг зацепления st определяет положение точек профилей соседних зубьев по делительной окружности. Таким образом, если от точки F влево, а от точки H вправо построить дуги окружностей радиусом st , то на пересечении их с делительной окружностью получим точки зубьев, находящиеся соответственно слева и справа от строящегося профиля (рисунок 5.51, точки M и N). Далее, построив прямые симметрии для пар MF и HN , получим левую и правую границы профиля зуба. Последний штрих – это скругление зуба радиусом r у окружности впадин. Обведённая часть (рисунок 5.51) и есть профиль одного зуба.

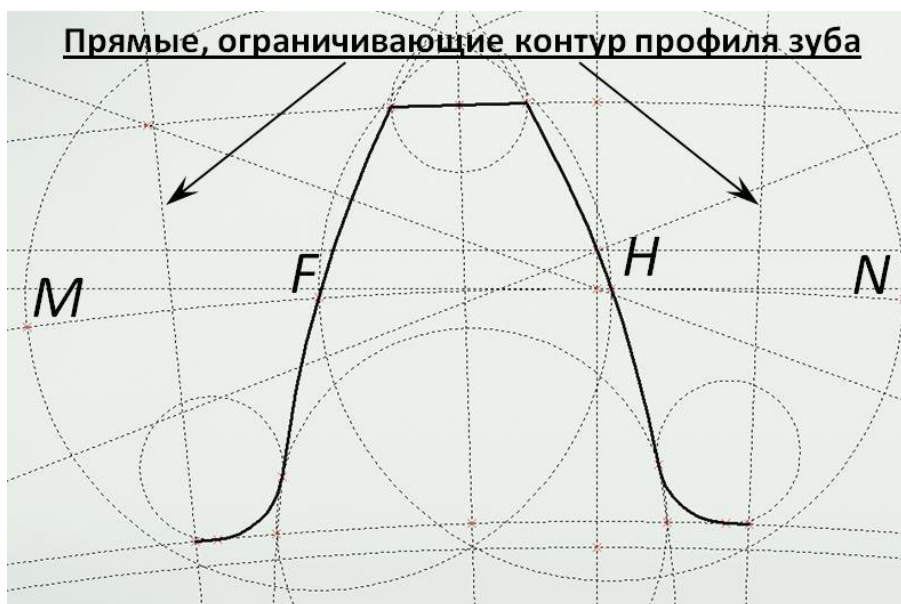


Рисунок 5.51. Построенный контур профиля зуба

Для завершения построения зуба необходимо продлить основание по окружности впадин d_2 . Конечная геометрия зуба зубчатого колеса представлена на рисунке 5.52.

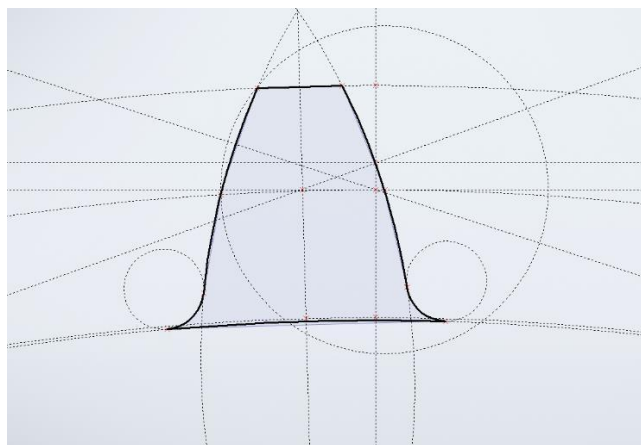
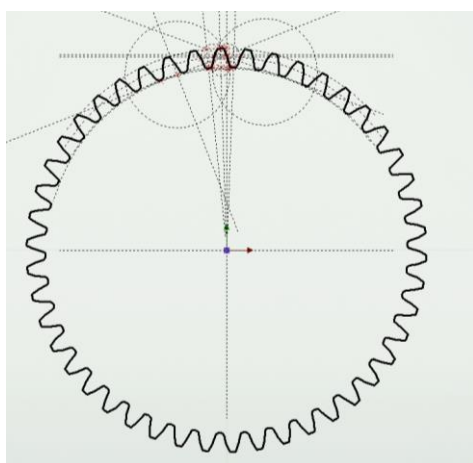


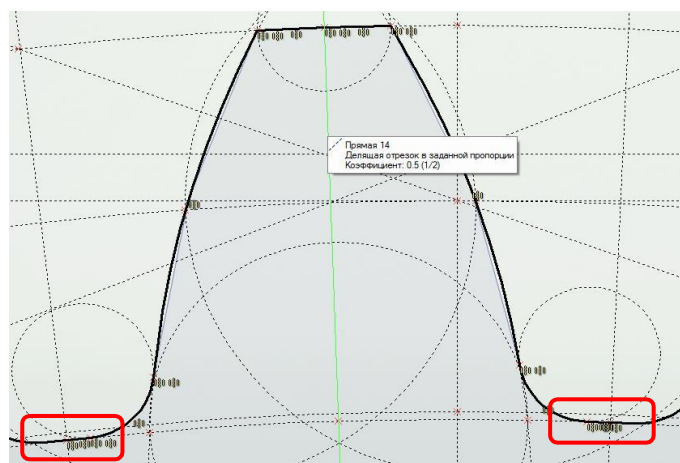
Рисунок 5.52. Конечная геометрия зуба

Дальнейшее построение выполнено с использованием операции *Выталкивание*, которое будет рассмотрено в следующем разделе.

Существует возможность создать геометрию всего венца, как на рисунке 5.53, а. Проблема такого подхода заключается в скрывающейся дуге линии впадины (рисунок 5.53, б, отмечено красой рамкой). Если будут подобраны параметры зубчатого колеса таким образом, что окружности скругления зуба соприкоснутся (значение дуги будет округленно до 0 градусов), то данная линия пропадет, что повлечет за собой появление ошибки. Данную ошибку можно обойти путем построения множества тел и объединении в одно.



а)



б)

Рисунок 5.53. Альтернативный вариант эскиза ЗК

5.5. Построение пространственной модели венца зубчатого колеса и его ступицы

Построим бобышку с полученным профилем зуба. Для этого используем операцию *Выталкивание*, параметры которой представлены на рисунке 5.54.

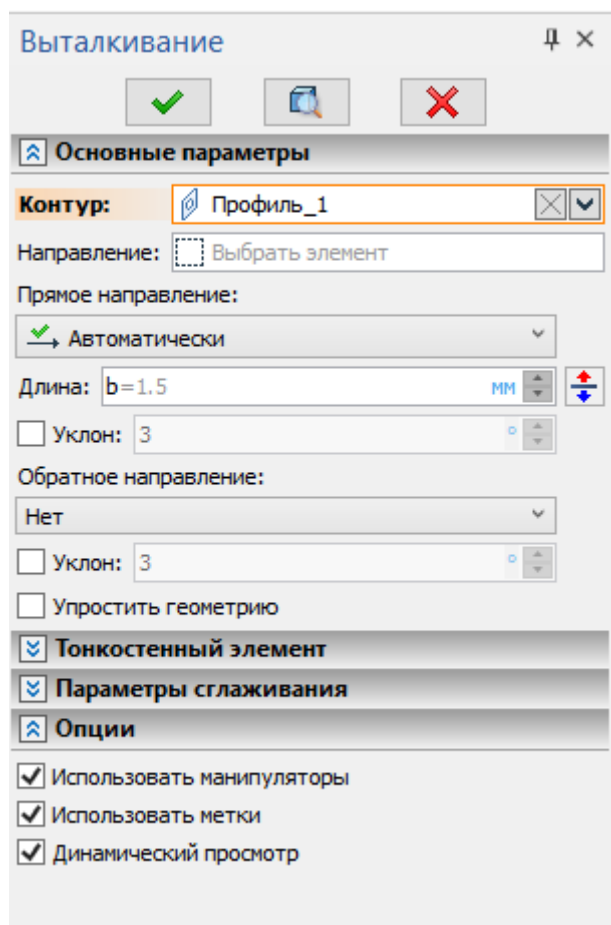


Рисунок 5.54. Параметры операции *Выталкивание* профиля зуба

В переменную *Длина* устанавливаем значение толщины зуба b . В результате получаем *Тело 1*, которое является одним зубом (рисунок 5.55).

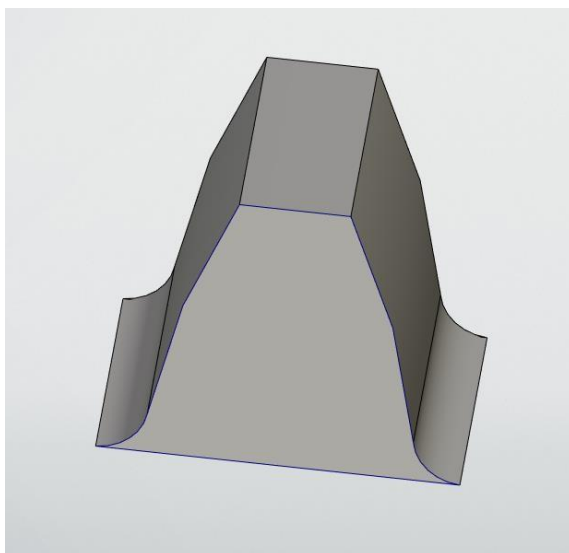


Рисунок 5.55. Тело 1 один зуб

Для построения кругового массива зубьев необходимо построить цилиндр, который будет являться внутренней частью венца. Построим на плоскости зуба две концентрические окружности с центром в начале координат и радиусами $df/2$ (диаметр впадин зубчатого колеса) (рисунок 5.55) и $dy/2$ (диаметр посадочного отверстия) (рисунок 5.56).

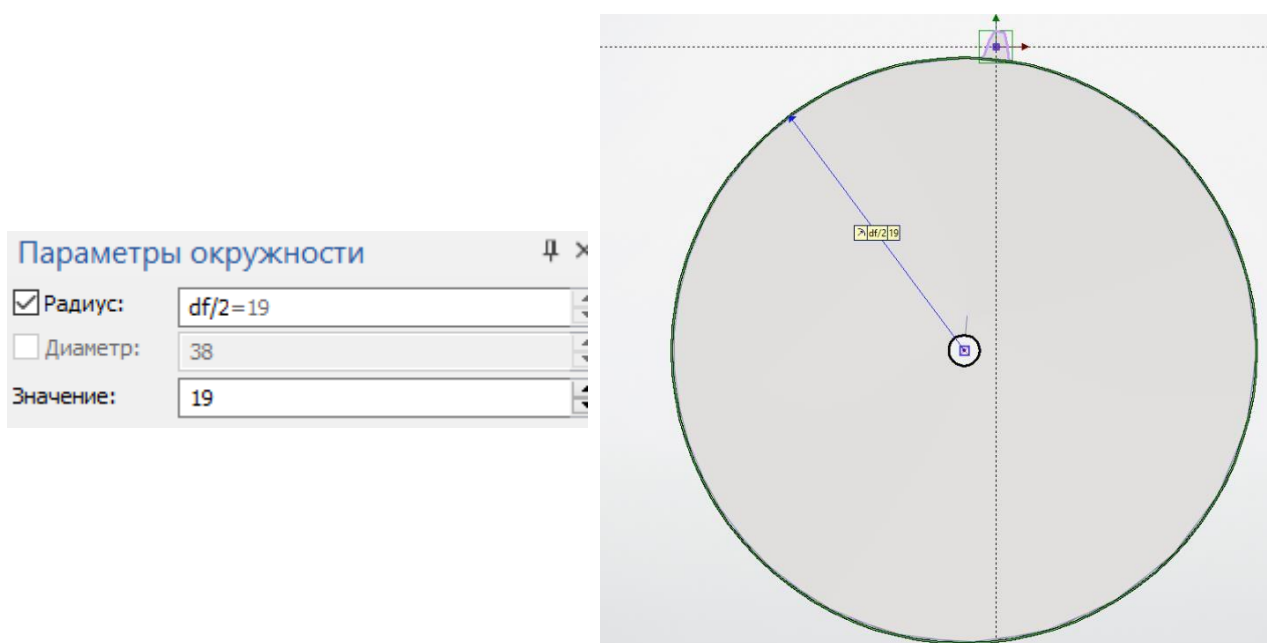


Рисунок 5.55. Окружность впадин зубчатого колеса и ее параметры

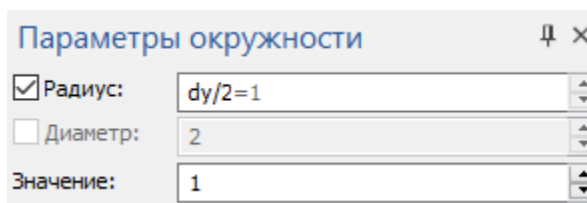


Рисунок 5.56. Окружность посадочного отверстия и ее параметры

После определения эскиза выполняем операцию *Выдавливание* с высотой равной толщине зуба b (рисунок 5.57).

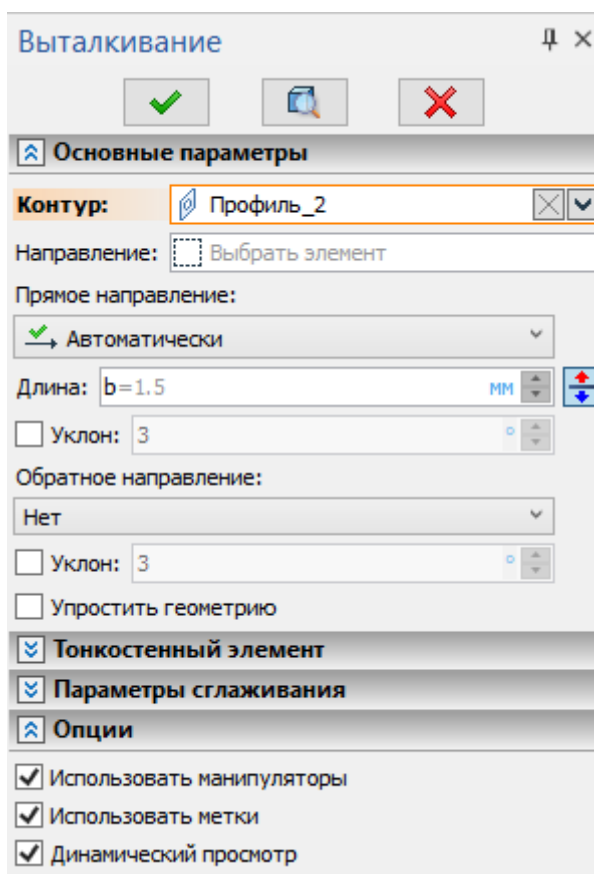


Рисунок 5.57. Параметры и профиль операции Выдавливание

Полученные тела (рисунок 5.58) пока не имеют связи между собой. Это два отдельных тела. Кроме того, пока создан только один зуб колеса. И для получения полного венца требуется на основе созданного зуба построить

круговой массив. Установим два 3D-узла для дальнейшего построения оси вращения. Узлы устанавливаются по кромке окружности (рисунок 5.59).

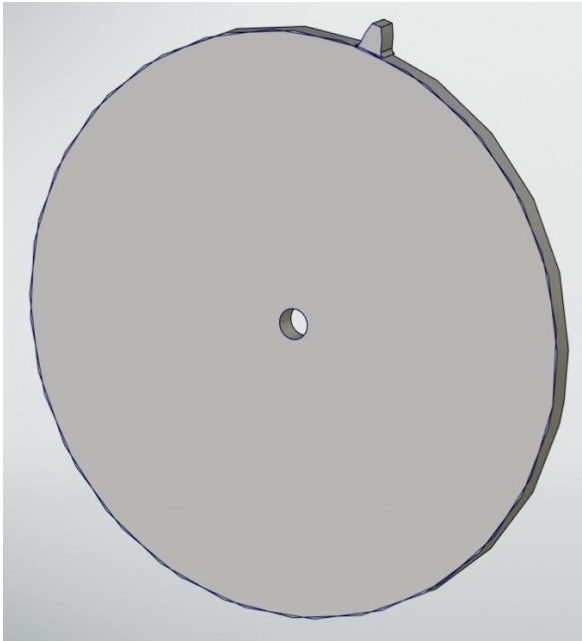


Рисунок 5.58. Полученные тела

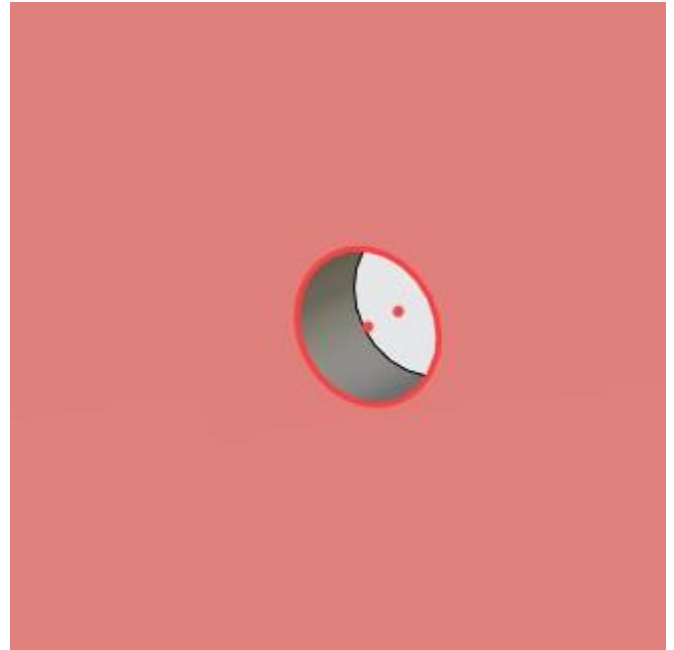


Рисунок 5.59. Построение 3D-узла

По полученным узлам выполним построение трассы. Для этого выберем элемент *Трасса* и два 3D-узла (рисунок 5.60).

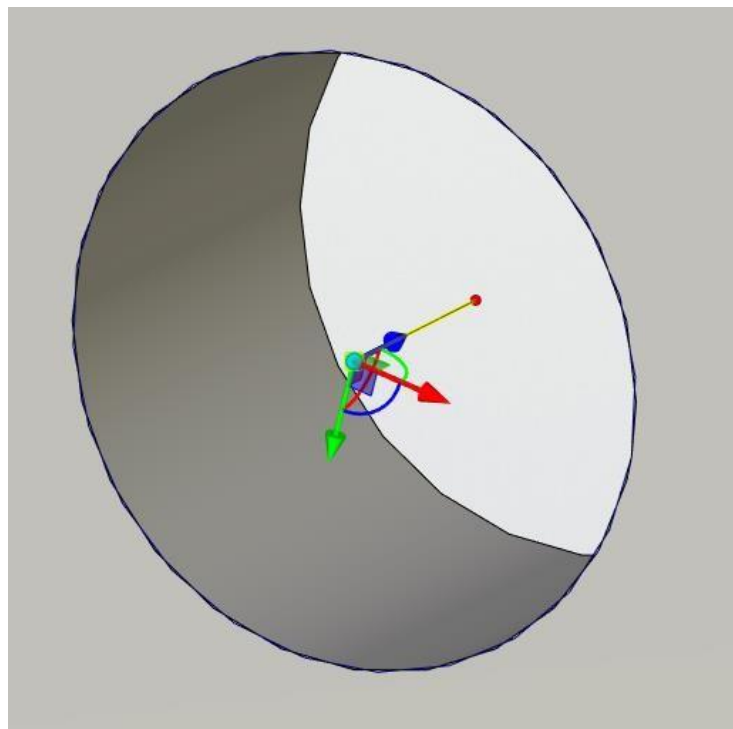
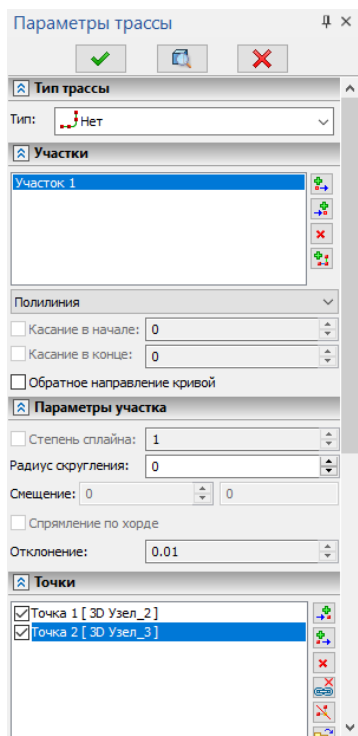


Рисунок 5.60. Построение Трассы по двум 3D-узлам и ее параметры

Теперь можно воспользоваться *Круговым массивом* элементов (рисунок 5.61). В области копируемых элементов массива выберем тело одного зуба, в качестве оси вращения выберем построенную ось *Трассу_1*, присвоив параметру *КОПИЙ* (имеется в виду их количество) значение числа зубьев *z*. В качестве параметров массива в выпадающем списке выберем «Количество копий и общий угол». Угол оставляем стандартным и равным 360°.

После выполнения данных операций создается модель, представленная на рисунке 5.62 слева. Как отмечалось ранее, модель состоит из ДВУХ тел, не имеющих связи между собой. Для объединения тел необходимо применить операцию *Булево сложение*.

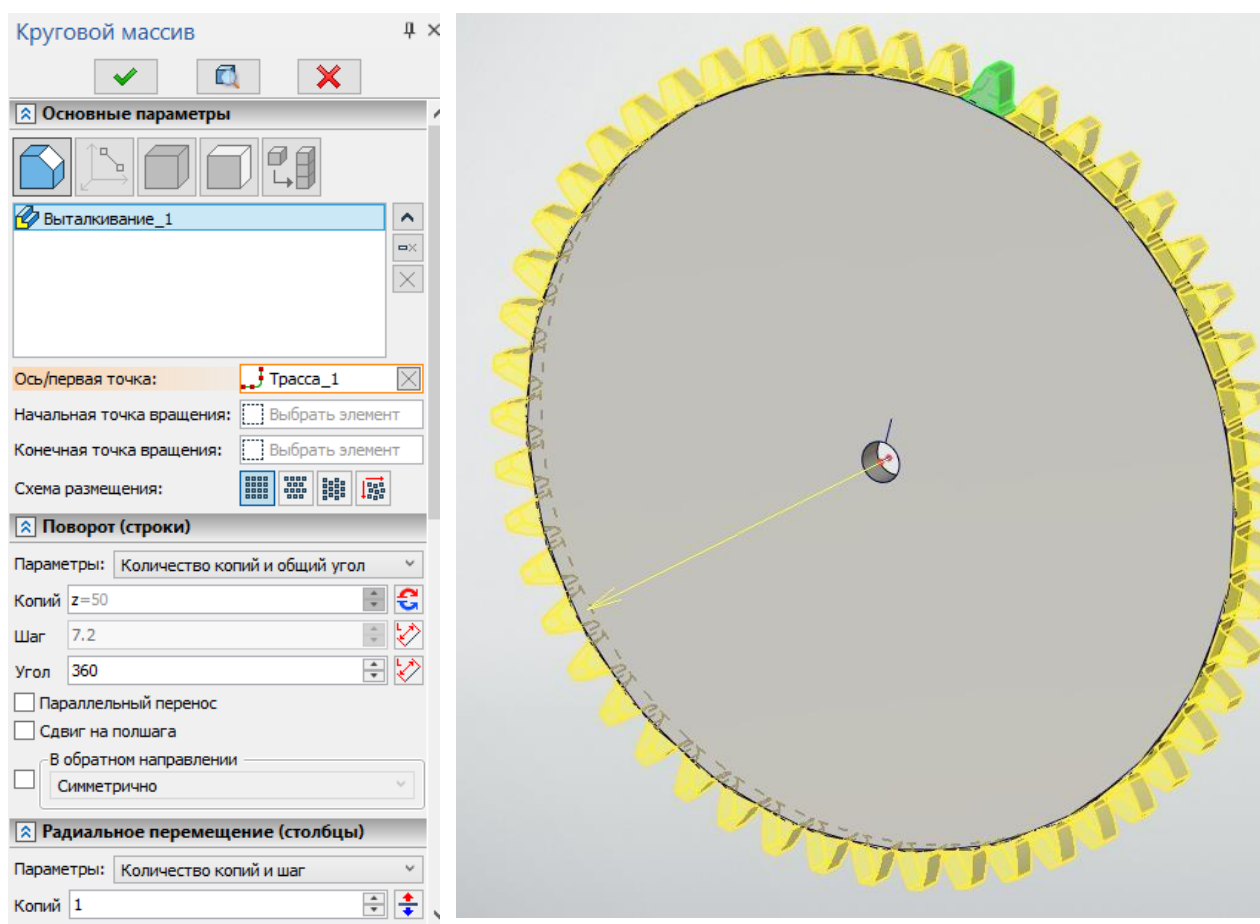


Рисунок 5.61. Построение кругового массива зубьев

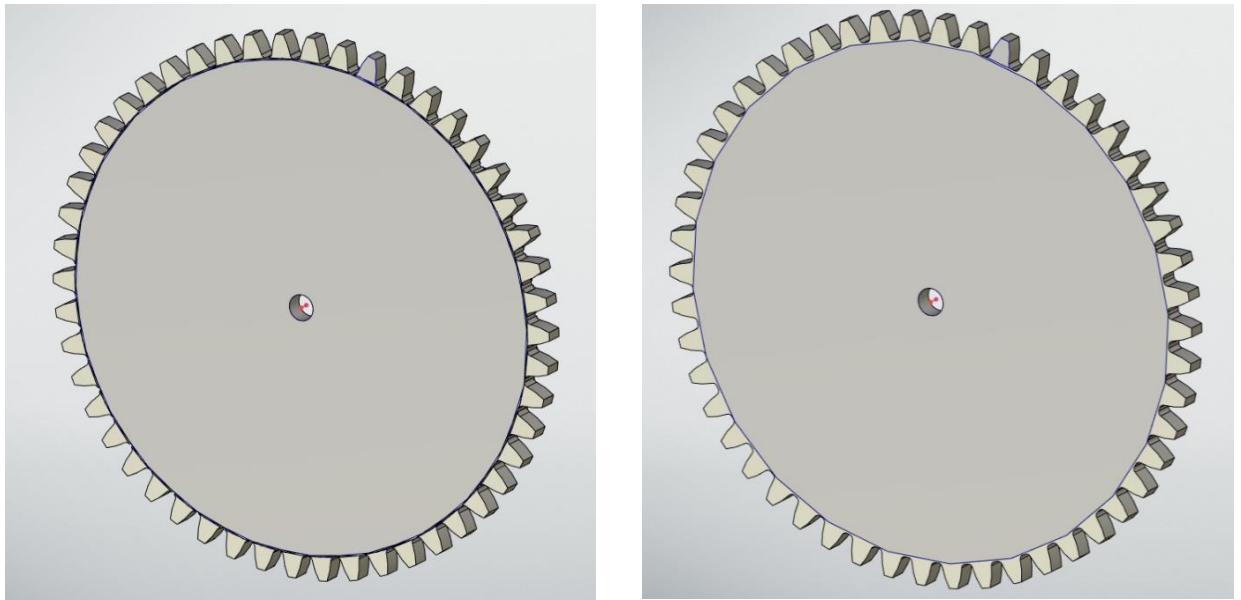


Рисунок 5.62. Итоговая модель до и после выполнения операции Булево сложения

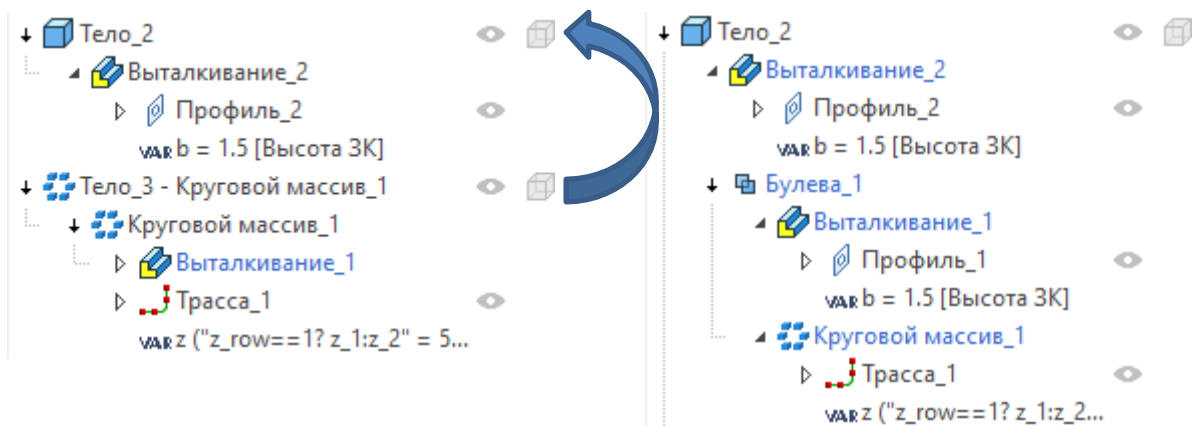


Рисунок 5.63. Булево сложение тел

Для выполнения операции *Булево сложение* можно воспользоваться двумя методами: при построении второго тела, к примеру, методом *Выдавливание* в свойствах объекта выбрать пункт «Сложение тел», либо применить метод *Drag-and-drop*. Воспользуемся вторым способом. Для этого необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши (ЛКМ) по строке *Тело_3 – Круговой массив_1* и, не отпуская ЛКМ, перевести указатель на строку *Тело_2*. Результат объединения двух тел в одно проиллюстрирован на рисунке 5.62, а преобразование древа проекта – на рисунке 5.63.

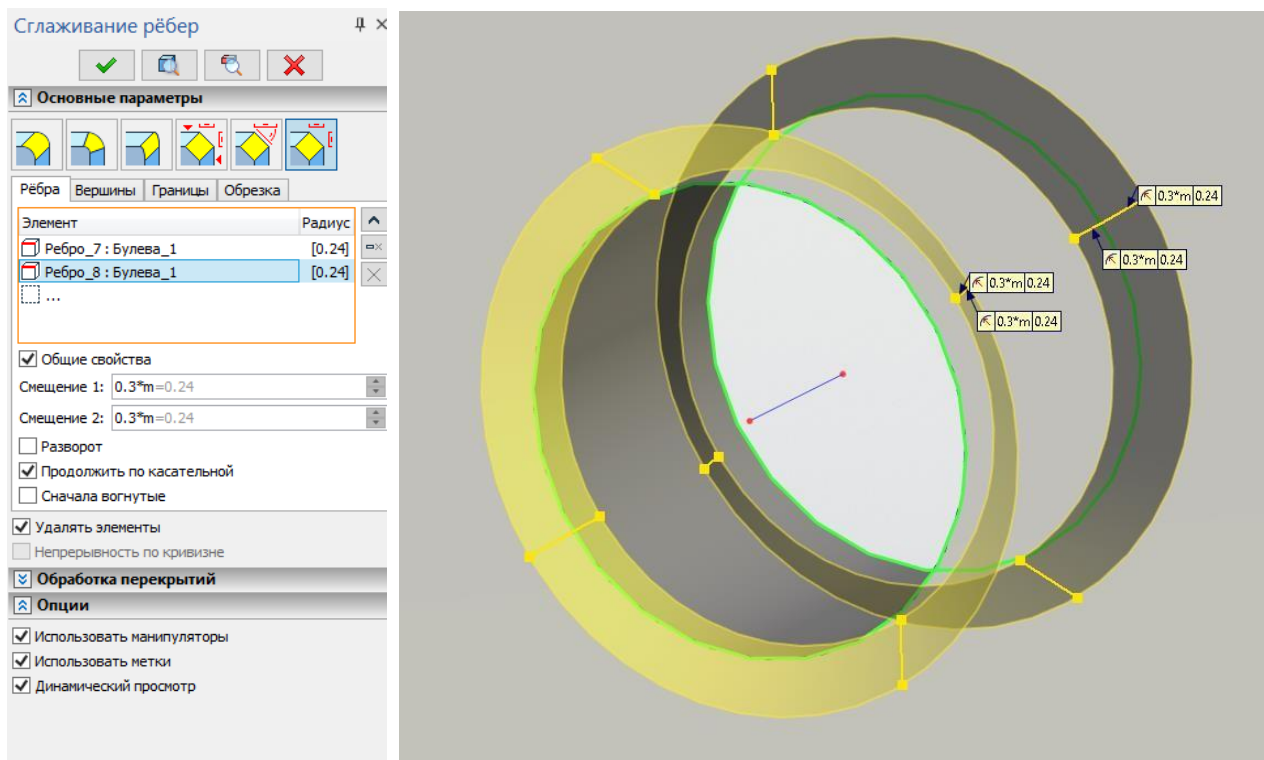


Рисунок 5.64. Построение фаски на основном теле зубчатого колеса

На полученном теле необходимо построить фаску внутреннего отверстия (под ось колеса). Указанное построение необходимо, так как в *Исполнении 1* нет ступицы, и если выполнить фаску только на ступице, построение которой будет рассмотрено далее, то при отображении первого исполнения она пропадет. Размер фаски устанавливаем равным $0.3m$. Указанный процесс проиллюстрирован на рисунке 5.64.

Реализацию исполнений зубчатого колеса начнем с добавления двух вспомогательных переменных $k1$ (рисунок 5.65) и $k2$ (рисунок 5.66) – «коэффициентов исполнения» зубчатого колеса. Каждой переменной добавим список со значениями, представленными на указанных рисунках.

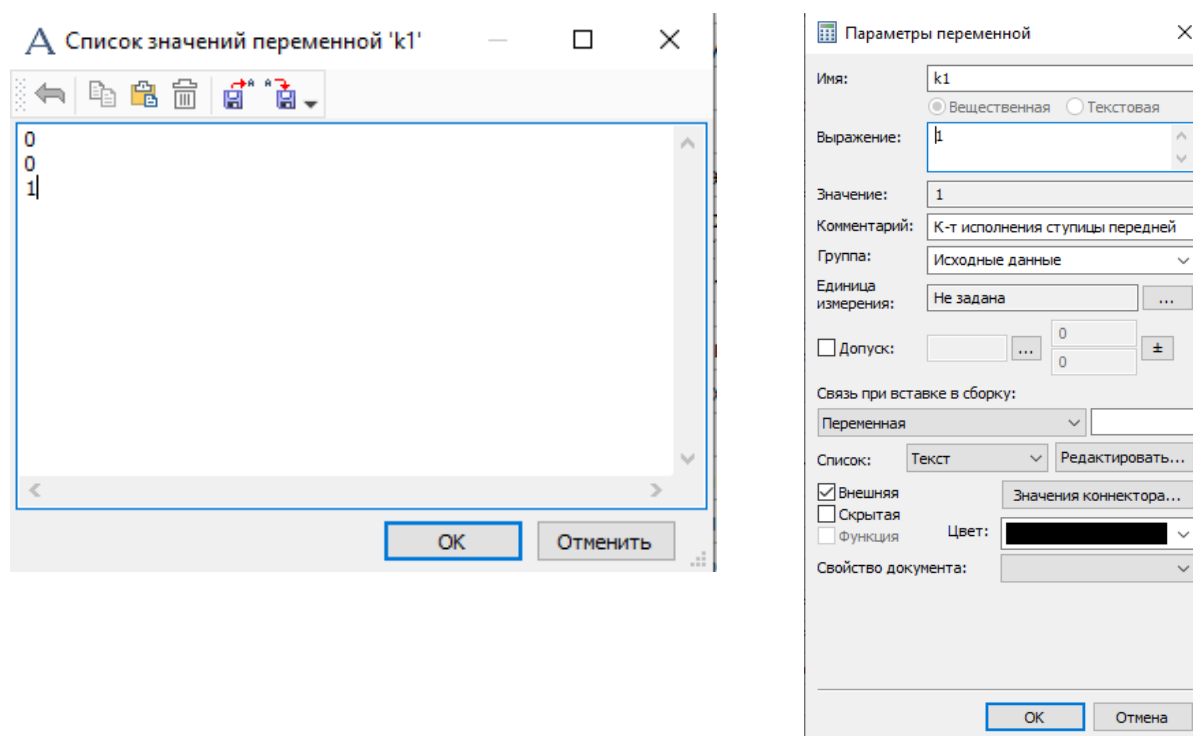


Рисунок 5.65. Создание переменной $k1$

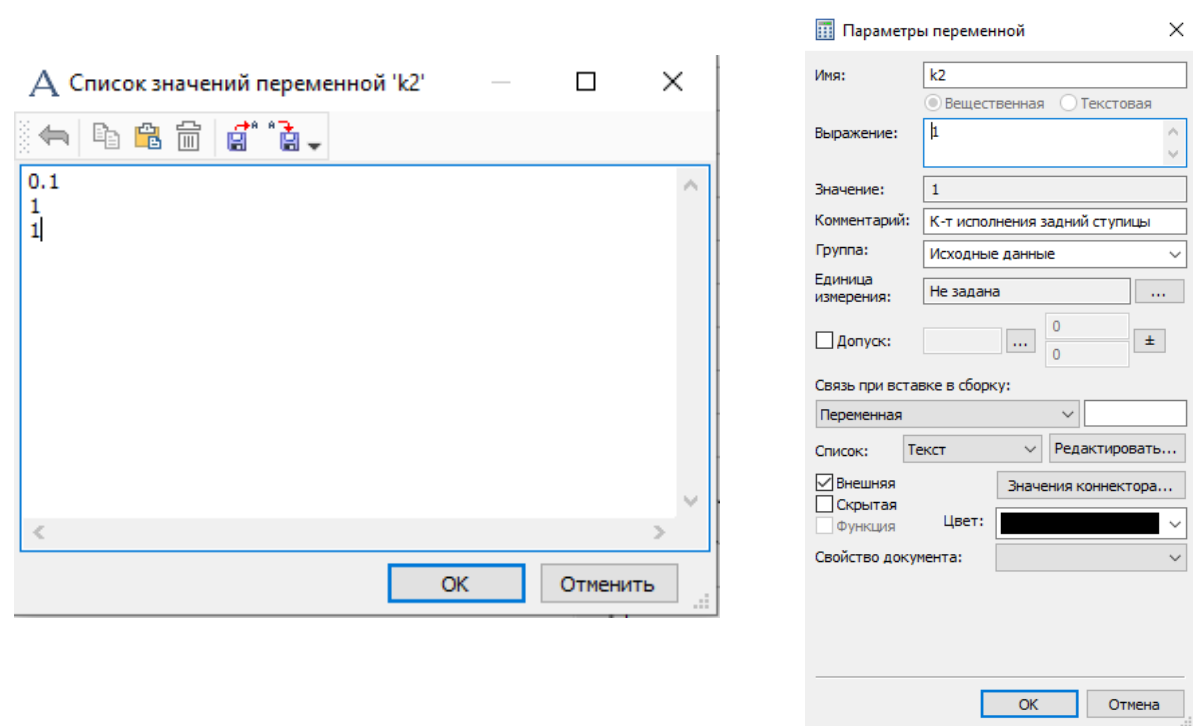


Рисунок 5.66. Создание переменной $k2$

После определения переменных $k1$ и $k2$ построим в плоскости, перпендикулярной плоскости профиля зуба, эскиз ступицы (представляет собой прямоугольник). Построим две вертикальные линии с размерами от

центральной вертикальной оси $dy/2$ и $dy1/2$, рисунки 5.67 и 5.68 соответственно.

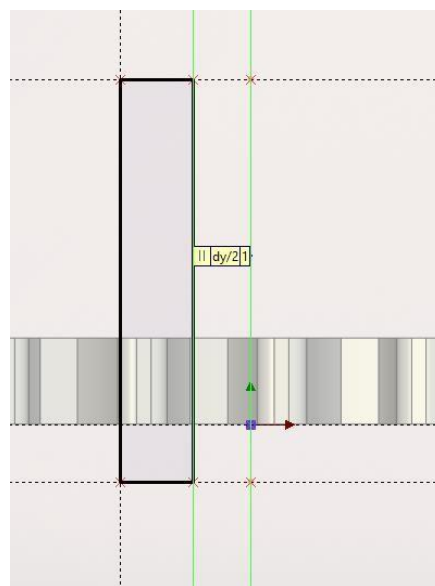
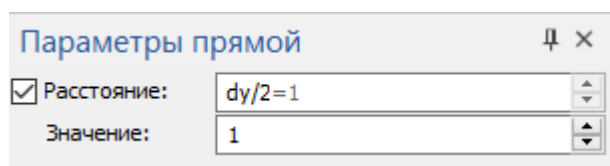


Рисунок 5.67. Построение первой вертикали

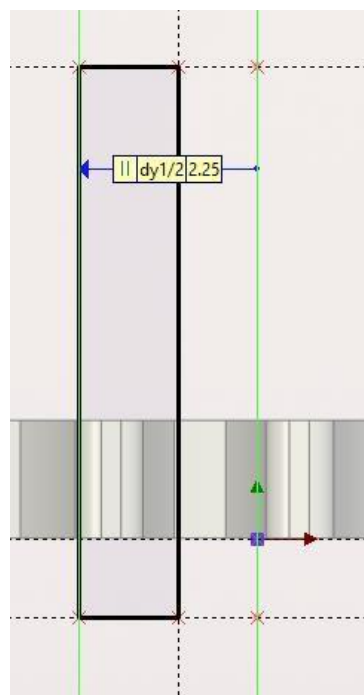
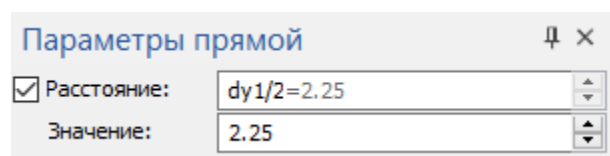


Рисунок 5.68. Построение второй вертикали

Далее построим две горизонтальные линии. Первая горизонтальная линия (рисунок 5.69) строится от центральной оси со смещением $-l1 \cdot k1$. Вторая (рисунок 5.70) – смещением от первой горизонтальной линии на $l \cdot k2$ –

$l_1 \cdot k_1$. Данные уравнения позволяют выбирать исполнение зубчатого колеса и управлять видом и размерами ступицы.

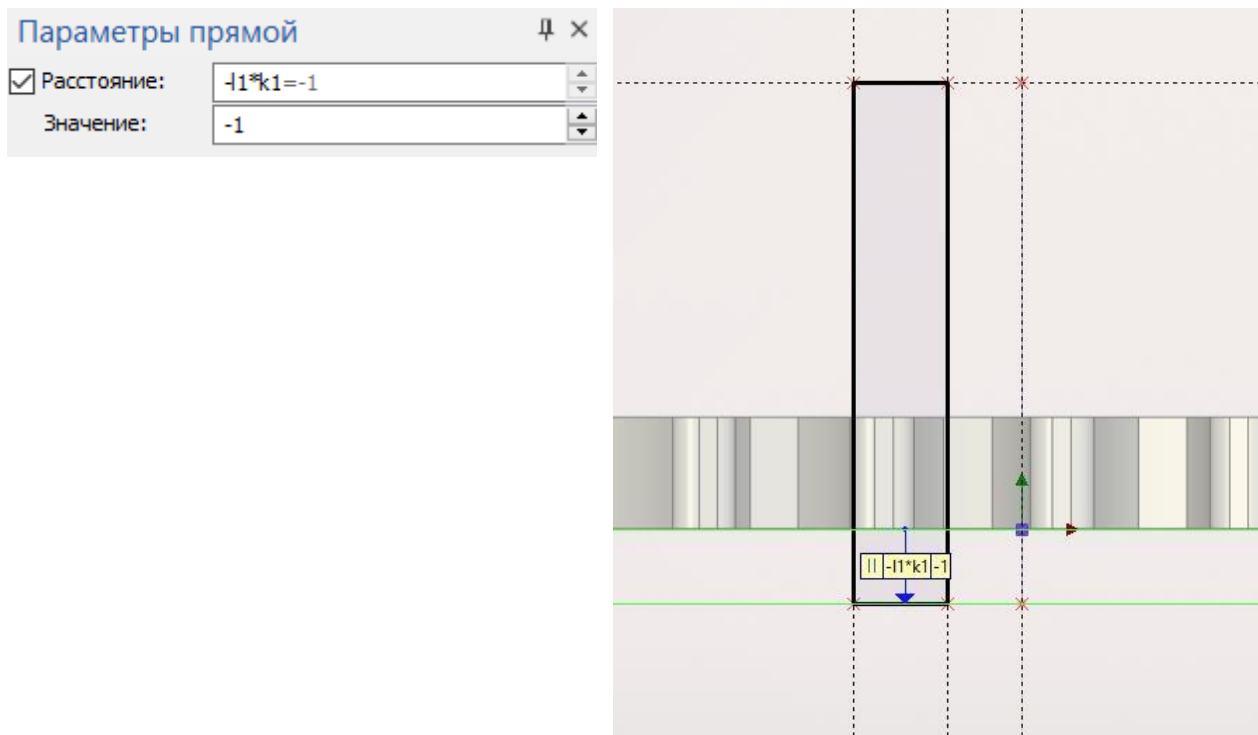


Рисунок 5.69. Построение первой горизонтали

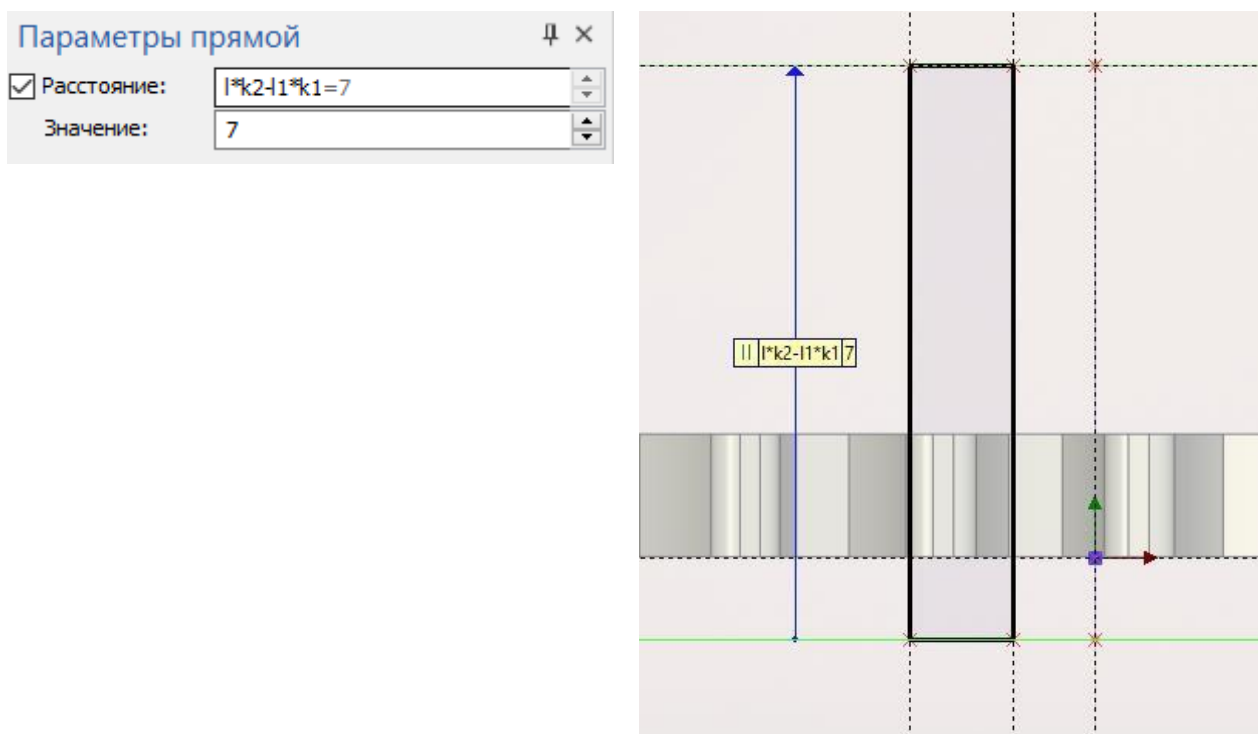


Рисунок 5.70. Построение второй горизонтали

Ступица создается как тело вращения одноименной операцией (рисунок 5.71). В качестве оси вращения устанавливается *Трасса_1*.

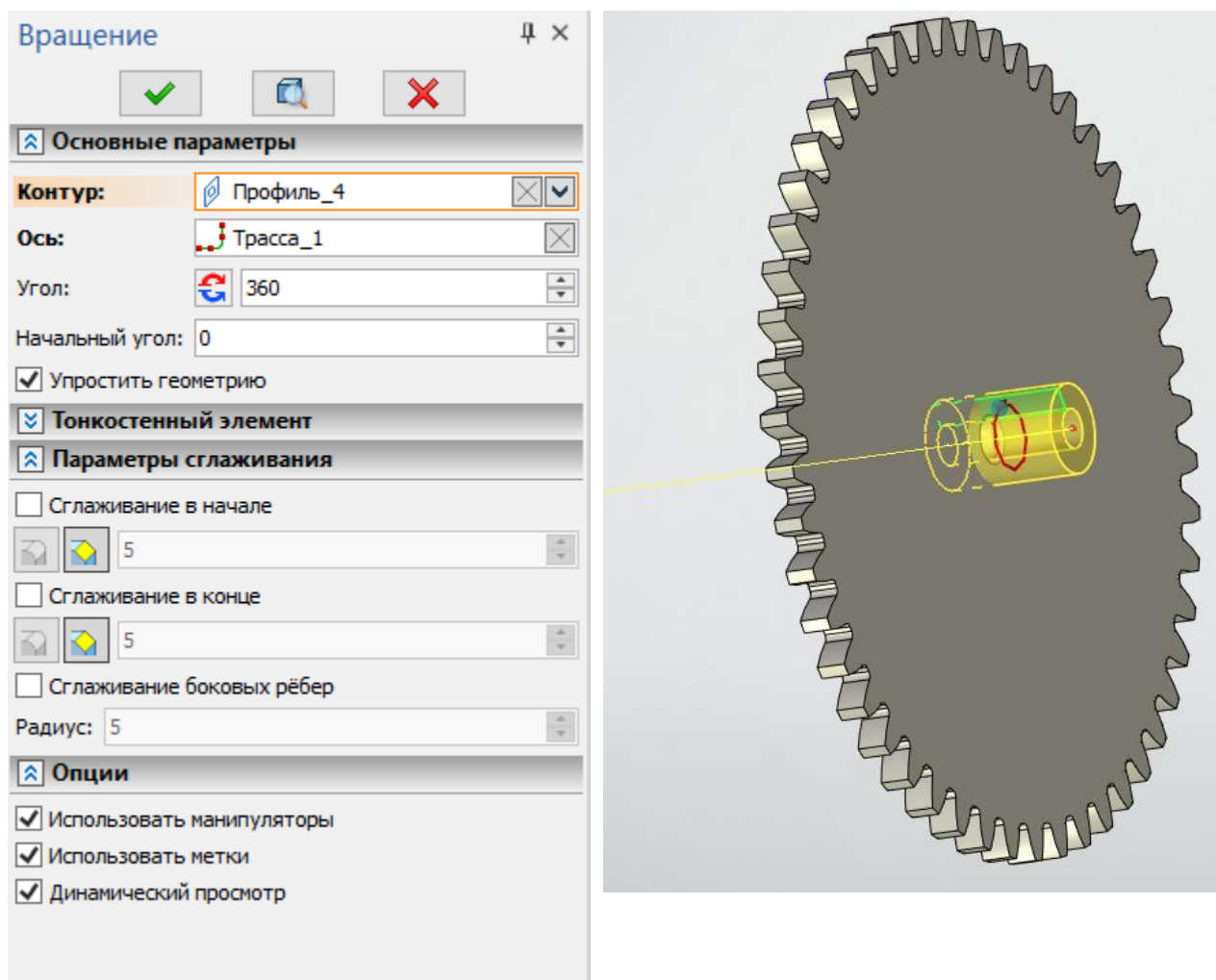


Рисунок 5.71. Построение ступицы методом *Вращения* и его параметры

Добавим фаски на полученное тело. Для этого выберем элемент *Сглаживание ребер* и выделим четыре кромки (рисунок 5.72). В области *Смещение 1* и *Смещение 2* введем формулу $0.3 \cdot t$.

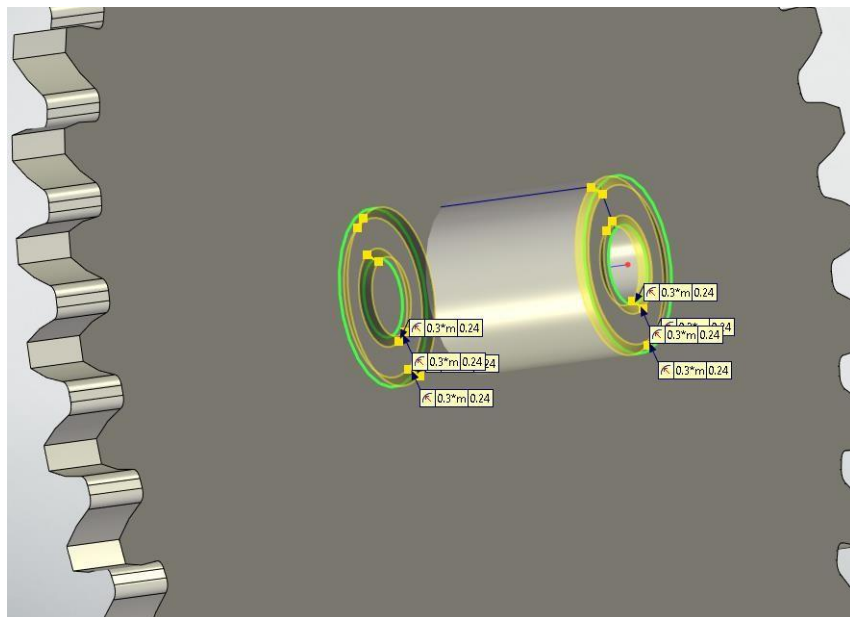
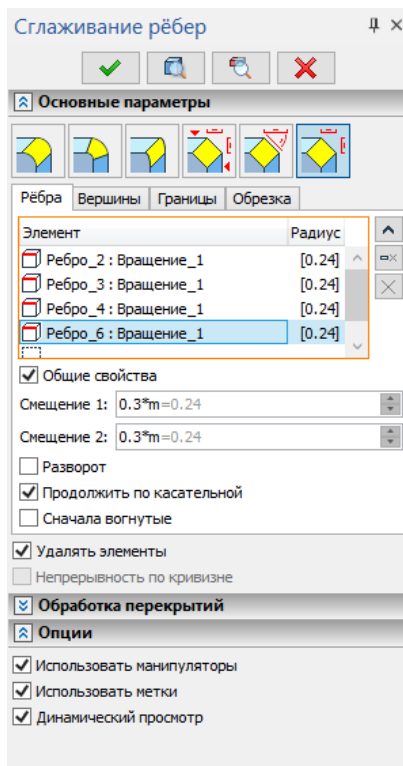


Рисунок 5.72. Создание фасок и их характеристики

На рисунке 5.73 проиллюстрирован процесс объединения двух тел (*ТЕЛО_2* и *ТЕЛО_4*), а на рисунке 5.74 – итоговая модель зубчатого колеса (шестерни).

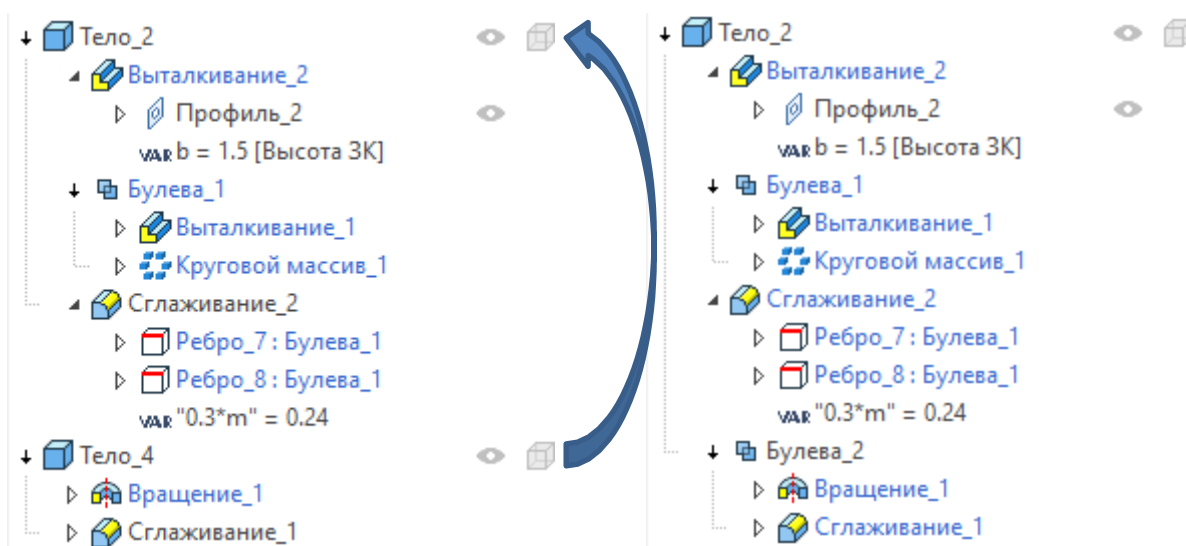


Рисунок 5.73. Объединение тел

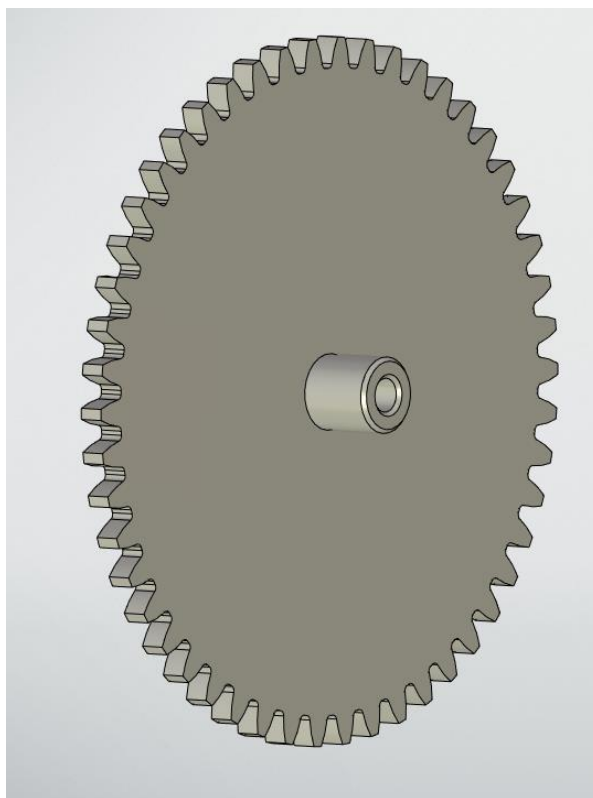


Рисунок 5.74. Итоговая 3D-модель

5.6. Создание диалогового окна

Диалоговое служит для упрощения работы с параметрами детали и/или сборки. Рассмотрим метод создания диалогового окна для быстрого редактирования уже созданных нами переменных. В данном случае это особенно важно, поскольку созданная модель имеет несколько исполнений, связана с базами данных, включает довольно большое число параметров, и, очевидно, удобно, чтобы все параметры были сконцентрированы в одном диалоге, по завершении которого формируется модель шестерни с заданными параметрами. Как указывалось выше, если с моделью связан и чертеж, то он также изменится в соответствии с созданной моделью.

В первом приближении знакомство с созданием диалога рассмотрено выше. Здесь остановимся более подробно на основных операциях создания диалога, его рационального вида и др.

Первый шаг – создание нового окна документа в детали. Для этого на вкладке *Вид* (рисунок 5.75) необходимо выбрать *Новое окно документа* и подтвердить выбор (кнопка *Ок*): создано пустой документ.

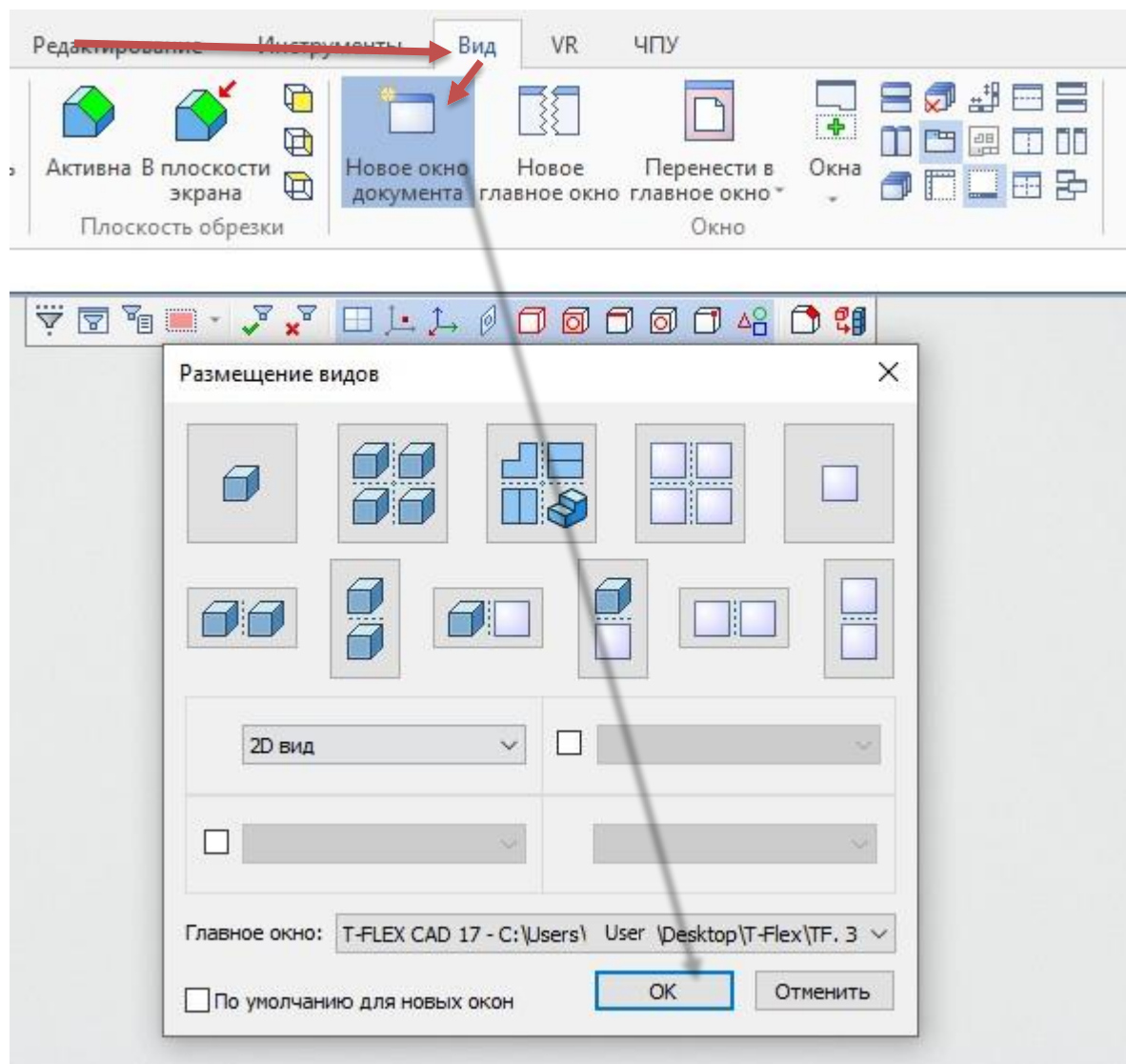


Рисунок 5.75. Создание нового документа

В этом документе создаётся новое окно диалога. К его созданию приводит последовательность действий, проиллюстрированная на рисунке 5.76, а результат – Диалог 1 – на рисунке 5.77.

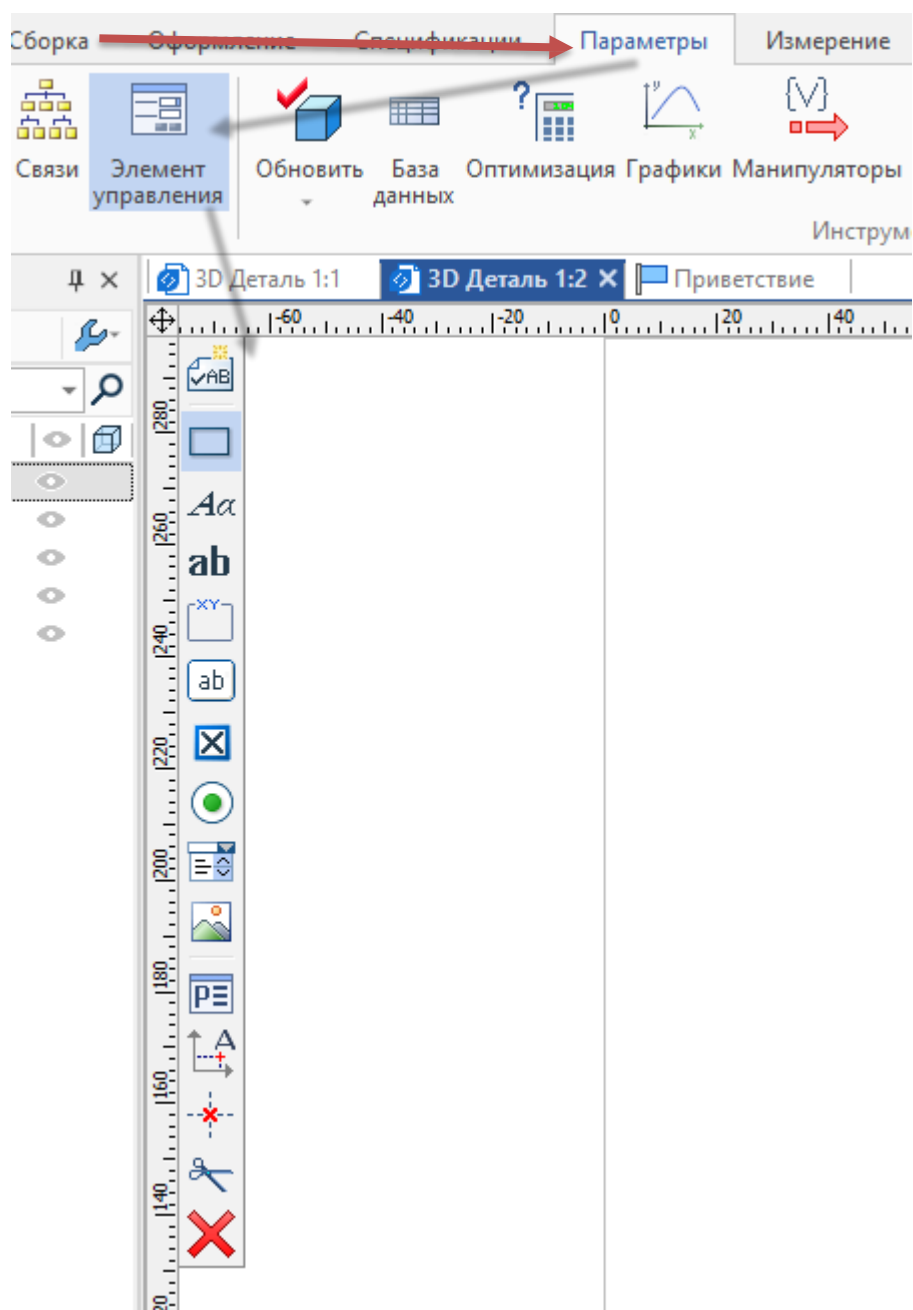


Рисунок 5.76. Создание нового диалога

Щелчок правой кнопкой мыши по вкладке *ДИАЛОГ 1* даёт возможность переименовать документ (функция *Переименовать*). Выберем её и заменим название *ДИАЛОГ 1* на *НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ЗК*.

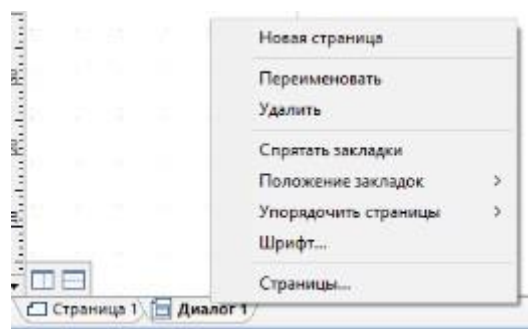


Рисунок 5.77. Переименование диалогового окна

Как правило, диалог обрамляется прямоугольной рамкой (см. рисунок 5.78), которая придаёт ему законченный вид. Инструмент создания рамки вызывается с боковой панели и строится на листе диалога путем установки двух её крайних точек: левой верхней и правой нижней.

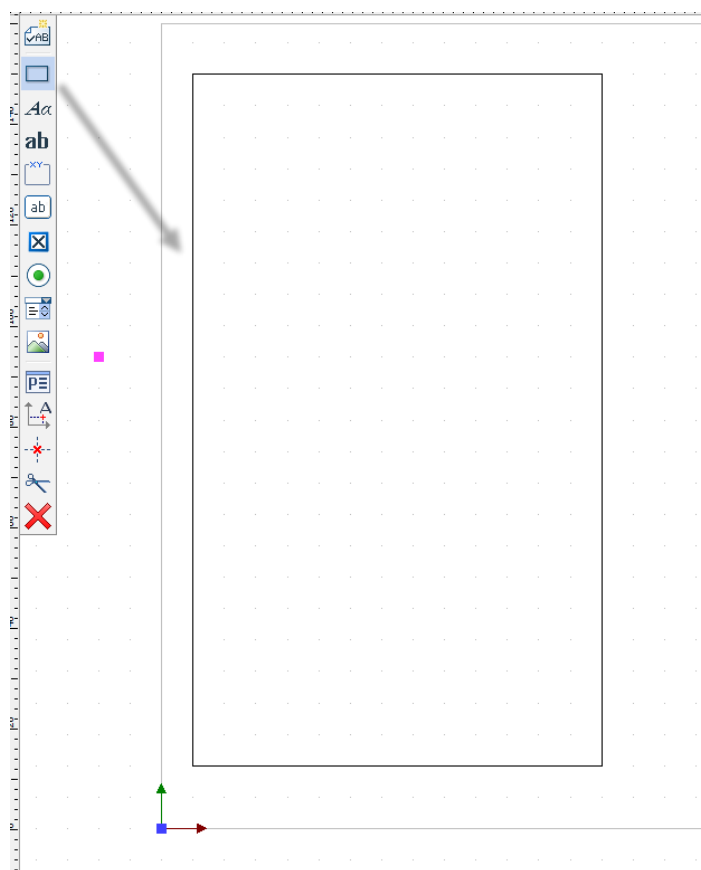


Рисунок 5.78. Создание рамки диалогового окна

Практика показывает, что эффективность диалогов существенно выше, если используемые в них параметры разделены на группы, и каждая группа имеет наименование, связанное с функциональным назначением включенных в неё параметров. Для организации групп параметров используется элемент

Группа (рисунок 5.79). Данный элемент устанавливается и редактируется аналогично инструменту *Рамка*. Единственное отличие состоит в том, что после построения рамки появляется диалоговое окно, в котором надо ввести название.

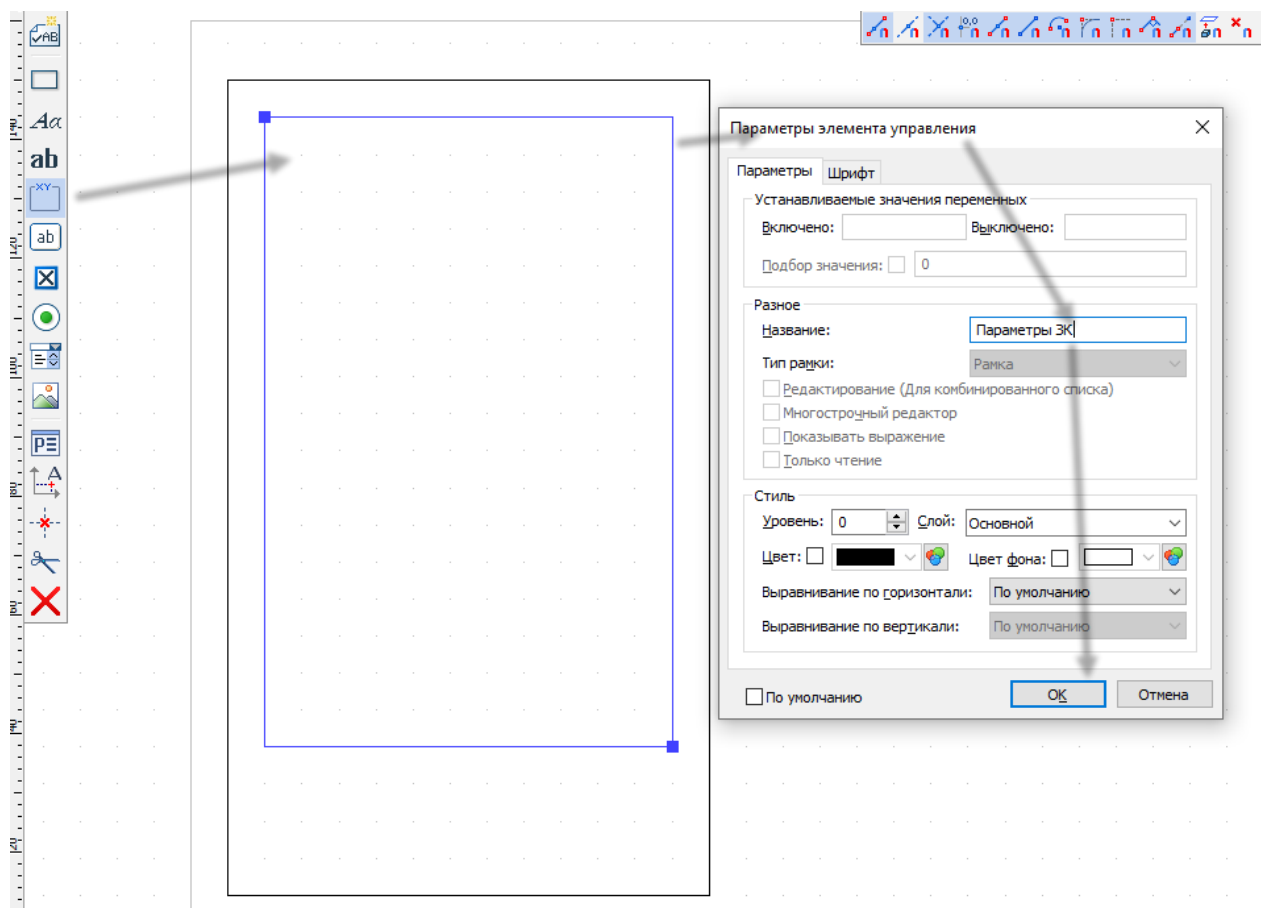


Рисунок 5.79. Создание группы в диалоговом окне

Также для наглядности у полей, связанных с вводом и (или) редактированием значений, у выпадающих списков также размещаются надписи. Для этого воспользуется элемент Статический текст (см. рисунок 5.80). Определение его местоположения и добавление названия осуществляется аналогично *Группе*.

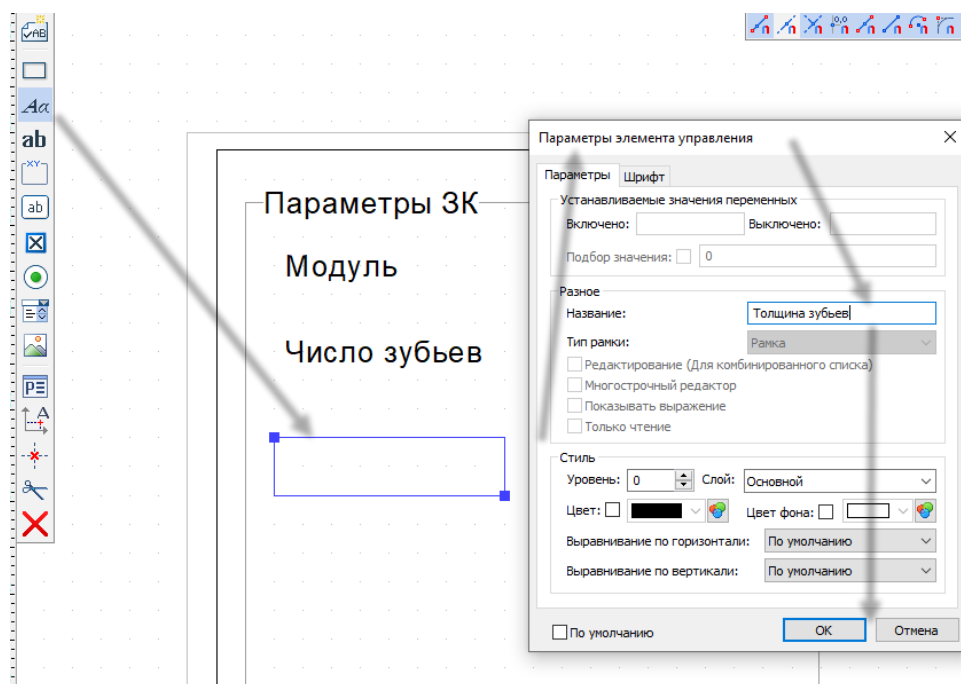


Рисунок 5.80. Создание статического текста в диалоговом окне

Выбор значения переменной, содержащей вектор чисел (массив), осуществляется с помощью *Выпадающего списка* (рисунок 5.81). Действия с этим элементом в рабочей области осуществляются аналогично предыдущим элементам. После размещения такого элемента на листе диалога открывается окно, в котором необходимо выбрать изменяемую переменную.

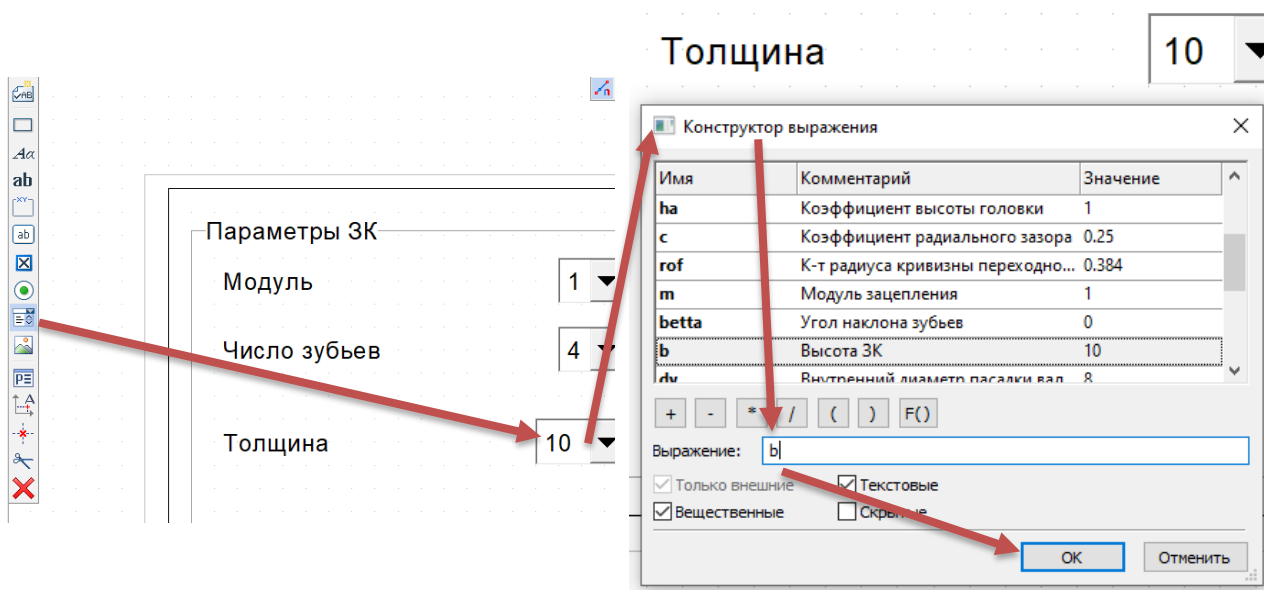


Рисунок 5.81. Создание выпадающего списка в диалоговом окне

Выберем, к примеру, выпадающий список для установления величины параметра *b Толщина зуба*. В область *Выражение* введем переменную *b*. Тогда в работающем диалоге при нажатии на кнопку со стрелкой вниз в строке *ТОЛЩИНА* открывается список допустимых в установленных условиях значений толщины зуба, из которых нужно выбрать то, которое является ближайшим большим к расчетному значению. Поясним, что значение толщины зуба получается из прочностного расчета, т.е. определяется условиями нагружения зубчатого колеса. В свою очередь, в ГОСТ содержится ряд так называемых нормальных толщин зуба, под которые разрабатывается и выпускается соответствующий инструмент. С другими толщинами зубчатые колеса не изготавливаются. Так как проектируемая шестерня должна удовлетворять условиям прочности, то значение толщины зуба устанавливается из ГОСТ равным ближайшему большему по отношению к расчетному.

Для реализации исполнения зубчатого колеса можно воспользоваться различными комбинациями элементов. Поскольку исполнений всего три, то есть существенно ограниченное число, удобно реализовать выбор конкретного исполнения через элемент *Кнопка* (рисунок 5.82). При этом отметим, что указанным кнопкам программно приданы свойства «радиокнопок», когда может быть «нажата» только одна из группы. Последовательность и результаты действий по созданию указанных элементов показаны стрелками на рисунке 5.82. После размещения элемента в окне диалога (синий прямоугольник) в открывшемся окне устанавливаем *НАЗВАНИЕ*: 1, 2 или 3 в зависимости от исполнения. После ввода названия каждой кнопки, при нажатии на *ОК* активизируется окно *ДЕЙСТВИЯ*, в котором записываются последовательно команды, связанные с этой кнопкой (*ПРИСВОИТЬ ПЕРЕМЕННОЙ ЗНАЧЕНИЕ* и др.). Например, для *ИСПОЛНЕНИЯ 1* установлена следующая последовательность команд:

$$k1 = 0$$

$$k2 = 1/l*b$$

Пересчёт 3D модели

Указанные команды реализуют шестерню по *ИСПОЛНЕНИЮ 1* и сразу же перестраивают и 3D модель, и построенный для неё чертёж. Отметим, что команды, связанные с кнопкой, выполняются последовательно.

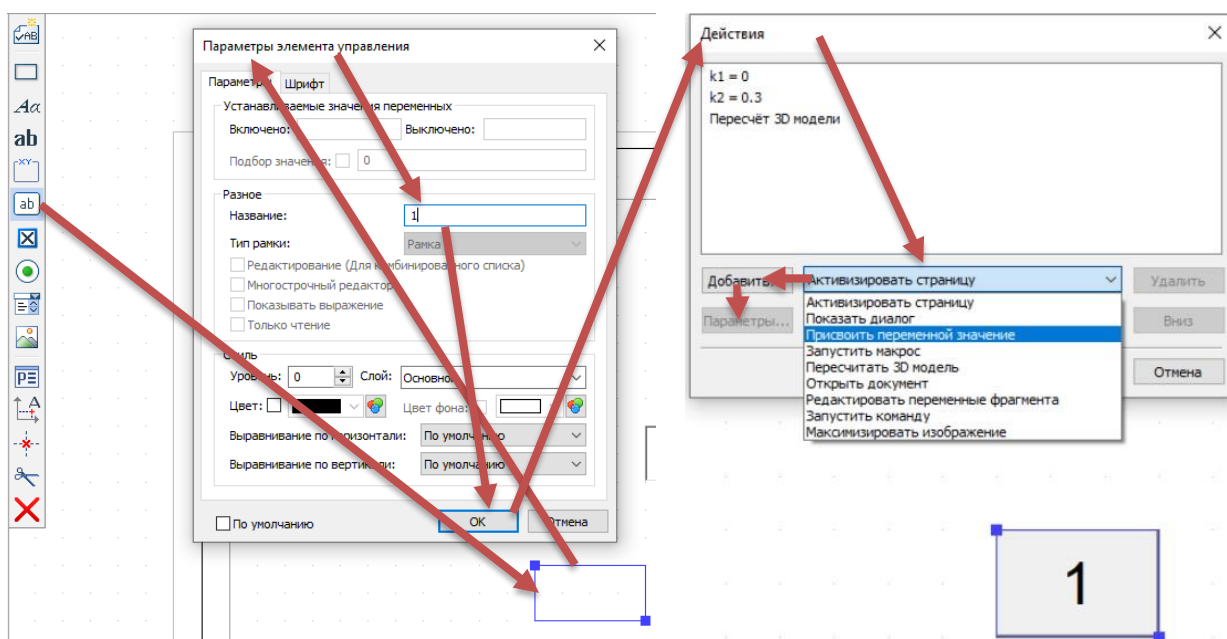


Рисунок 5.82. Создание кнопки в диалоговом окне

Чтобы задать свободное значение переменной (в рассматриваемом случае их два: угол наклона зубьев и угол главного профиля) необходимо использовать элемент *Редактор* (рисунок 5.83). Вызов, установка и выбор значений аналогичен *Выпадающему списку*, с той лишь разницей, что можно выбрать только переменные со свободным вводом (без формул или списка, только одно значение). Отметим, что для прямозубой эвольвентной передачи угол наклона зубьев равен 0, угол профиля – 20°. Таким образом, в данном случае это только иллюстрация работы с элементом Редактор.

Для изменения размера отображаемого диалогового окна перейдем в правую боковую панель и нажмем на иконку *Размеры страницы* (рисунок 5.84 справа). После корректировки рамки нажмем на иконку *Применить* в левой верхней части рабочего пространства.

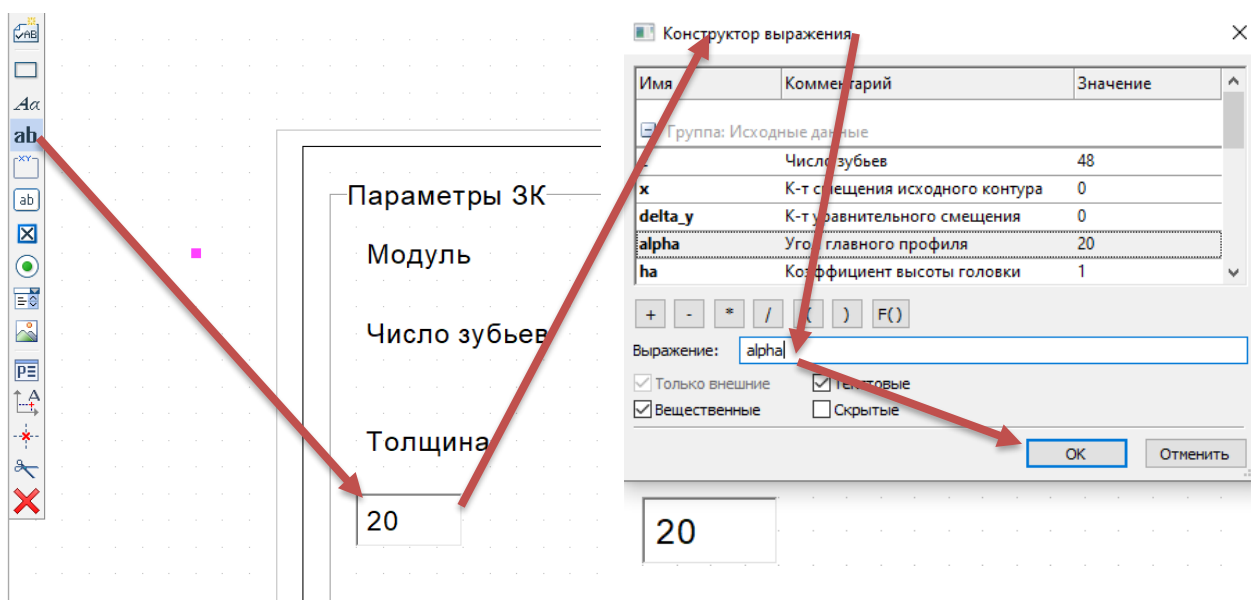


Рисунок 5.83. Создание редактора в диалоговом окне

Для более удобного позиционирования элементов на рабочем пространстве мы можем уменьшить (или увеличить) размер шага сетки. Иконка уменьшения шага сетки располагается в разделе *Сетка...* в правой панели инструментов (рисунок 5.84 слева).

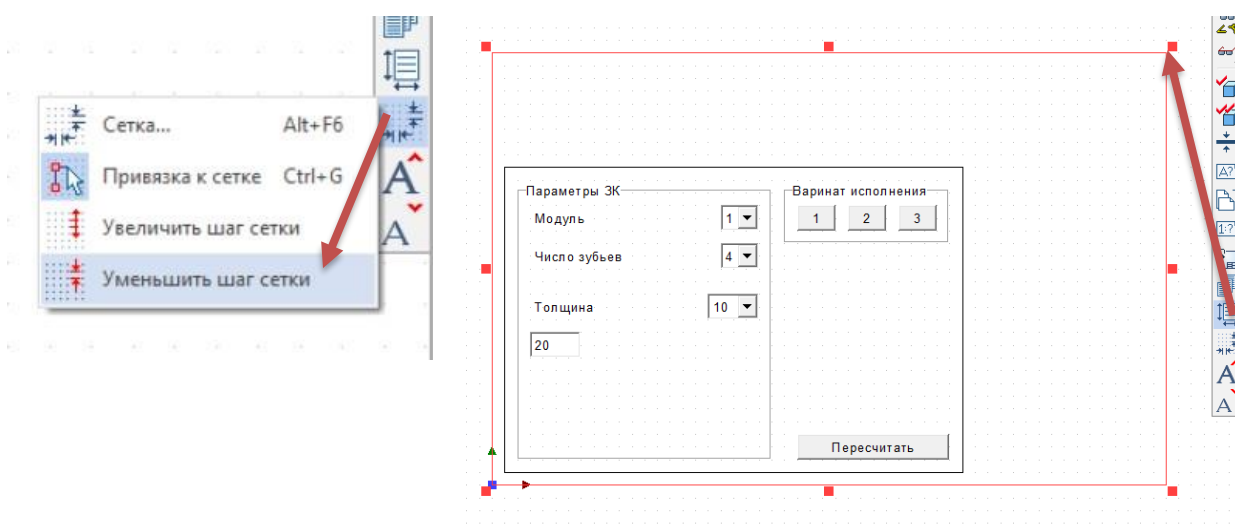


Рисунок 5.84. Уменьшение сетки в диалоговом окне и изменение отображаемого окна

Итак, с использованием рассмотренных инструментов создано диалоговое окно, представленное на рисунке 5.85.

В указанном окне:

В Группе Модуль Выпадающий список Выбор ряда имеет переменную m_row , Выпадающий список Ряд 1 – m_1 , Выпадающий список Ряд 2 – m_2 .

В Группе Модуль Выпадающий список Число зубьев имеет переменную z_row , Выпадающий список Ряд 1 – z_1 , Выпадающий список Ряд 2 – z_2 .

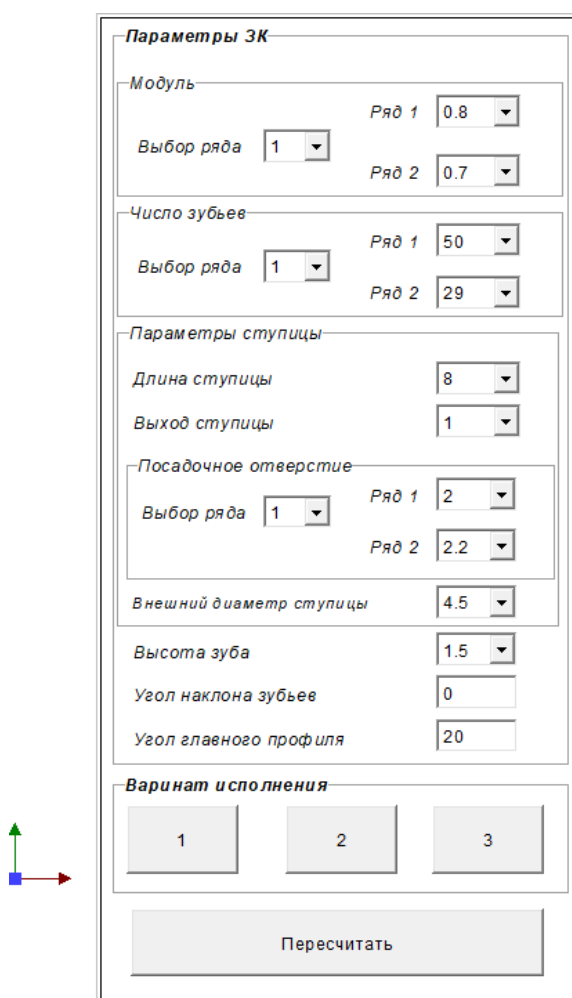


Рисунок 5.85. Итоговое представление диалогового окна

В Группе Параметры ступицы Выпадающий список Длина ступицы имеет переменную l , Выпадающий список Выход ступицы – $l1$, Выпадающий список Внешний диаметр ступицы – $dy1$.

В Группе Параметры, в под-Группе Посадочное отверстие Выпадающий список Выбор ряда имеет переменную d_row , Выпадающий список Ряд 1 – dy_1 , Выпадающий список Ряд 2 – dy_2 .

В Группе Параметры 3K Выпадающий список Высота зуба имеет переменную b , Редактор Угол наклона зубьев – $beta$, Редактор Угол главного профиля – $alpha$.

В Группе Варианты исполнения кнопка 1 имеет следующие действия:
Присвоить переменной значение $k1 = 0$; Присвоить переменной значение $k2 = 0.1$; Пересчитать 3D модель.

В Группе Варианты исполнения кнопка 2 имеет следующие действия:
Присвоить переменной значение $k1 = 0$; Присвоить переменной значение $k2 = 1$; Пересчитать 3D модель.

В Группе Варианты исполнения кнопка 3 имеет следующие действия:
Присвоить переменной значение $k1 = 1$; Присвоить переменной значение $k2 = 1$; Пересчитать 3D модель.

В диалоговом окне кнопка Пересчитать имеет следующие действия:
Пересчитать 3D модель.

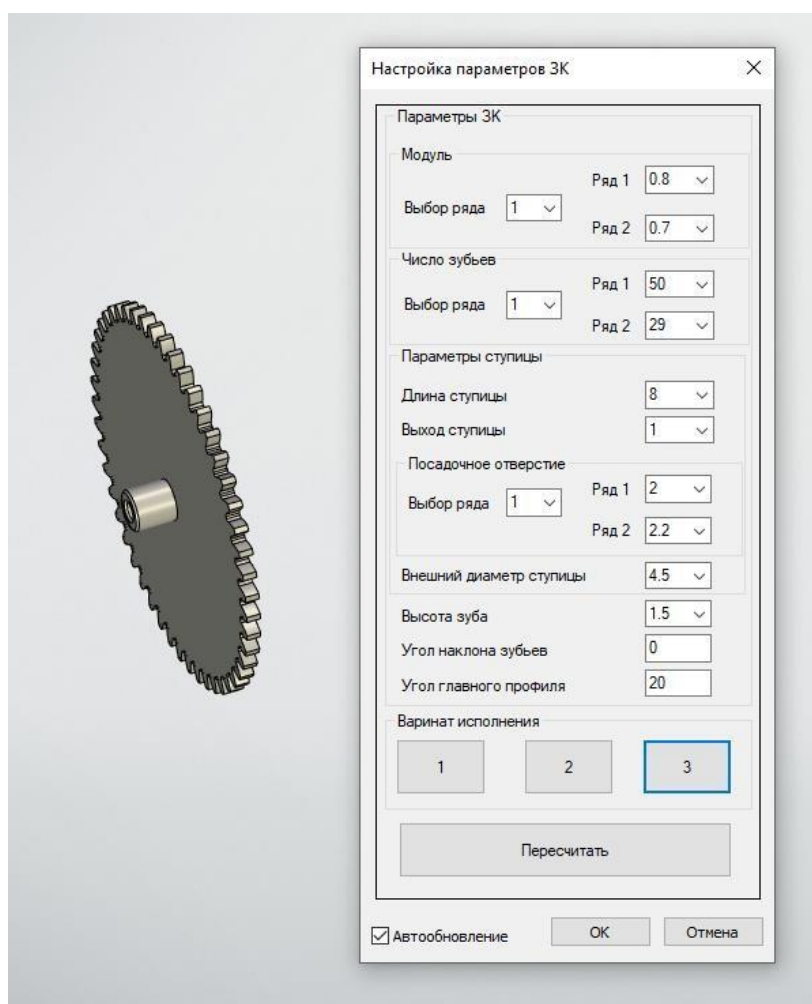


Рисунок 5.86. Вызов и использование диалогового окна

Приложение 5.1. Переменные группы «Исходные данные»

Группа: Исходные данные				
	alpha	20	20	Угол главного профиля
	b	1.5	1.5	Высота ЗК
	? b_max	val(finder_b,base_b_min_max.bmax)	12	Максимальная ширина венца
	? b_min	val(finder_b,base_b_min_max.bmin)	1.5	Минимальная ширина венца
	betta	0	0	Угол наклона зубьев
	c	0.25	0.25	Коэффициент радиального зазора
	d_row	1	1	Диаметр отверстия под ось
	delta_y	0	0	К-т уравнивающего смещения
	dy	d_row==1?dy_1:dy_2	2	Диаметр отверстия (фактически)
	dy1	4.5	4.5	Внешний диаметр ступицы ЗК
	? dy1_max	val(finder_dy,base_dy_min_max.dy1_max)	5	Максимальное значение диаметра
	? dy1_min	val(finder_dy,base_dy_min_max.dy1_min)	4.5	Минимальное значение диаметра
	dy_1	2	2	Значения диаметра отверстия 1
	dy_2	2.2	2.2	Значения диаметра отверстия 2
	dy_p	8	8	Внутренний диаметр посадки вала
	finder_b	rec(base_b_min_max.m_par==m)	9	
	finder_dy	rec(base_dy_min_max.dy==dy)	7	
	ha	1	1	Коэффициент высоты головки
	k1	0	0	К-т исполнения ступицы передней
	k2	0.1	0.1	К-т исполнения задней ступицы
	l	8	8	Общая длина ступицы ЗК
	l1	1	1	Выход длины ступицы ЗК
	? l1_max	l-b	6.5	
	? l_max	val(finder_dy,base_dy_min_max.l_max)	6	Максимальное значение длины ступицы
	? l_min	val(finder_dy,base_dy_min_max.l_min)	2	Минимальное значение длины ступицы
	m	m_row==1? m_1:m_2	0.8	Модуль зацепления
	m_1	0.8	0.8	Модуль, 1 ряд (предпочтительный)
	m_2	0.7	0.7	Модуль, 2 ряд
	m_row	1	1	Переключение модуля (m1 -1; m2 -2)
	rof	0.384	0.384	К-т радиуса кривизны переходной кривой
	x	0	0	К-т смещения исходного контура
	z	z_row==1? z_1:z_2	50	Число зубьев
	z_1	50	50	Количество зубьев, 1 ряд
	z_2	29	29	Количество зубьев, 2 ряд
	z_row	1	1	Переключатель ряда

Приложение 5.2. Переменные группы «Результаты расчета»

Группа: Результаты расчета				
	alpha_t	atan(tan(alpha/180*pi)/cos(betta/180*pi))/pi*180	20	Угол профиля
	d	m*z/cos(betta/180*pi)	40	Делительный диаметр
	da	d+2*m*(ha+x+delta_y)	41.6	Диаметр вершин зубьев
	db	d*cos(alpha_t)	38.042...	Диаметр основной окружности
	df	da-2*m*(2*ha+c-delta_y)	38	Диаметр впадин (справочно)
	r_skr	rof*m	0.3072	Радиус скругления
	s	m*pi/2	1.2566...	Толщина зуба по делительной окружности

Литература

1. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204.
2. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Протокол заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 04 июня 2019 г. № 7.
3. «О создании правительственной комиссии по импортозамещению». Постановление Правительства РФ от 04.08.2015 г. №785.
4. ГОСТ Р 56135-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения.-М.: Стандартинформ, 2015.
5. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения.-М.: Стандартинформ, 2015.
6. ГОСТ 16504-81. Межгосударственный стандарт. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. (с изменениями 2011 г.). – М.: Стандартинформ, 2011.
7. ГОСТ 23501.101-87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения.-М.: Издательство стандартов, 1987.
8. ГОСТ 15971-90. Системы обработки информации. Термины и определения.-М.: Издательство стандартов, 1991.
9. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Автоматизированные системы. Термины и определения.-М.: Стандартинформ, 2009.
10. ГОСТ 2.052-2015. Межгосударственный стандарт. Электронная модель изделия. Общие положения.-М: Стандартинформ, 2019.
11. САПР и графика. Спецвыпуск «Управление и производство». №9, 2020 г. [электронный ресурс] (<https://sapr.ru/issue/1223>) (Дата обращения 10.01.2021 г.).
12. Козлов С.Ю. *T-FLEX PLM 2020: Российское решение в области управления жизненным циклом изделия* [электронный ресурс] (<https://www.tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=4439>) (Дата обращения 18.12.2020) Загл. с экрана. *(Интервью создано совместно с информационной группой MIL.PRESS в рамках обсуждения единой платформы цифровизации оборонки в эфире "АрмияОнлайн")*.
13. Официальный сайт компании «Топ Системы» [электронный ресурс] (<https://www.tflex.ru/products/>) (Дата обращения 05.01.2021 г.).
14. Официальный сайт компании «Топ Системы» [электронный ресурс] (<https://www.tflex.ru/industries/ОПК/>) (Дата обращения 05.01.2021 г.).

15. Официальный сайт компании «Топ Системы» [электронный ресурс] (<https://www.tflex.ru/products/konstruktor/cad3d/functions/>) (Дата обращения 11.01.2021 г.).
16. Официальный сайт ООО «Автомеханика» [электронный ресурс] (<http://www.euler.ru>) (Дата обращения 11.01.2021 г.).
17. Официальный сайт компании ООО «3В-Сервис» [Электронный ресурс] (<https://3v-services.com/#simintech>) (Дата обращения 11.01.2021 г.).
18. Официальный сайт компании «Топ Системы» [электронный ресурс] (<https://www.tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=3846>) (Дата обращения 11.01.2021 г.).
19. *T-FLEX CAD 16*. Двухмерное проектирование и черчение. Руководство пользователя.-М.: ЗАО «Топ Системы», 2020.
20. ГОСТ 5915-70. Межгосударственный стандарт. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры. Электронный документ подготовлен АО «Кодекс» – М.: Стандартинформ, 2010.
21. *T-FLEX CAD 16*. Трехмерное моделирование. Руководство пользователя.-М.: ЗАО «Топ Системы», 2020.
22. ГОСТ 17474-80. Межгосударственный стандарт. Винты с полупотайной головкой классов точности А и В. Конструкция, и размеры. Электронный документ подготовлен АО «Кодекс» – М.: Стандартинформ, 2006.
23. ГОСТ 24669-81. Межгосударственный стандарт. Шлицы прямые для винтов и шурупов. Размеры. Электронный документ подготовлен АО «Кодекс» – М.: Стандартинформ, 2006.
24. *T-FLEX CAD 16*. Двухмерное проектирование и черчение. Руководство пользователя.-М.: ЗАО «Топ Системы», 2020.
25. ГОСТ 7798-70. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры. Электронный документ подготовлен АО «Кодекс» – М.: Стандартинформ, 2010.
26. ГОСТ 28961-91. Межгосударственный стандарт. Шайбы плоские для метрических болтов, винтов и гаек. Общий план. Электронный документ подготовлен АО «Кодекс» – М.: Стандартинформ, 2006.
27. *T-FLEX CAD 16*. Трехмерное моделирование. Руководство пользователя.-М.: ЗАО «Топ Системы», 2020.Раздел 5.
28. Колеса зубчатые цилиндрические мелко модульные прямозубые и косозубые. Типы. Основные параметры и размеры. ГОСТ 13733-77.–М.: Госстандарт СССР, 1977.
29. Межгосударственный стандарт. Передачи зубчатые. Общие термины, определения и обозначения. ГОСТ 16530-83. –М.: Росстандарт, 2004.

30. Расчет и конструирование одноступенчатого зубчатого редуктора: Учеб. пособие / М.Ш. Мигранов, О.Ф. Ноготков, А.А. Сидоренко, Л.Ш. Шустер. - М.: Изд-во МАИ, 2005.
31. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходный контур. ГОСТ 13755-81.–М.: Росстандарт, 2005.
32. *T-FLEX CAD 16*. Двухмерное проектирование и черчение. Руководство пользователя. – М.: ЗАО «Топ Системы», 2020.
33. Построение эвольвенты зубчатого колеса (упрощенный способ). [электронный ресурс] (<http://www.swlesson-mpl.ru/indexphp/2009-09-28-05-10-23/177--30-.html>) (Дата обращения 17.06.2020 г.).