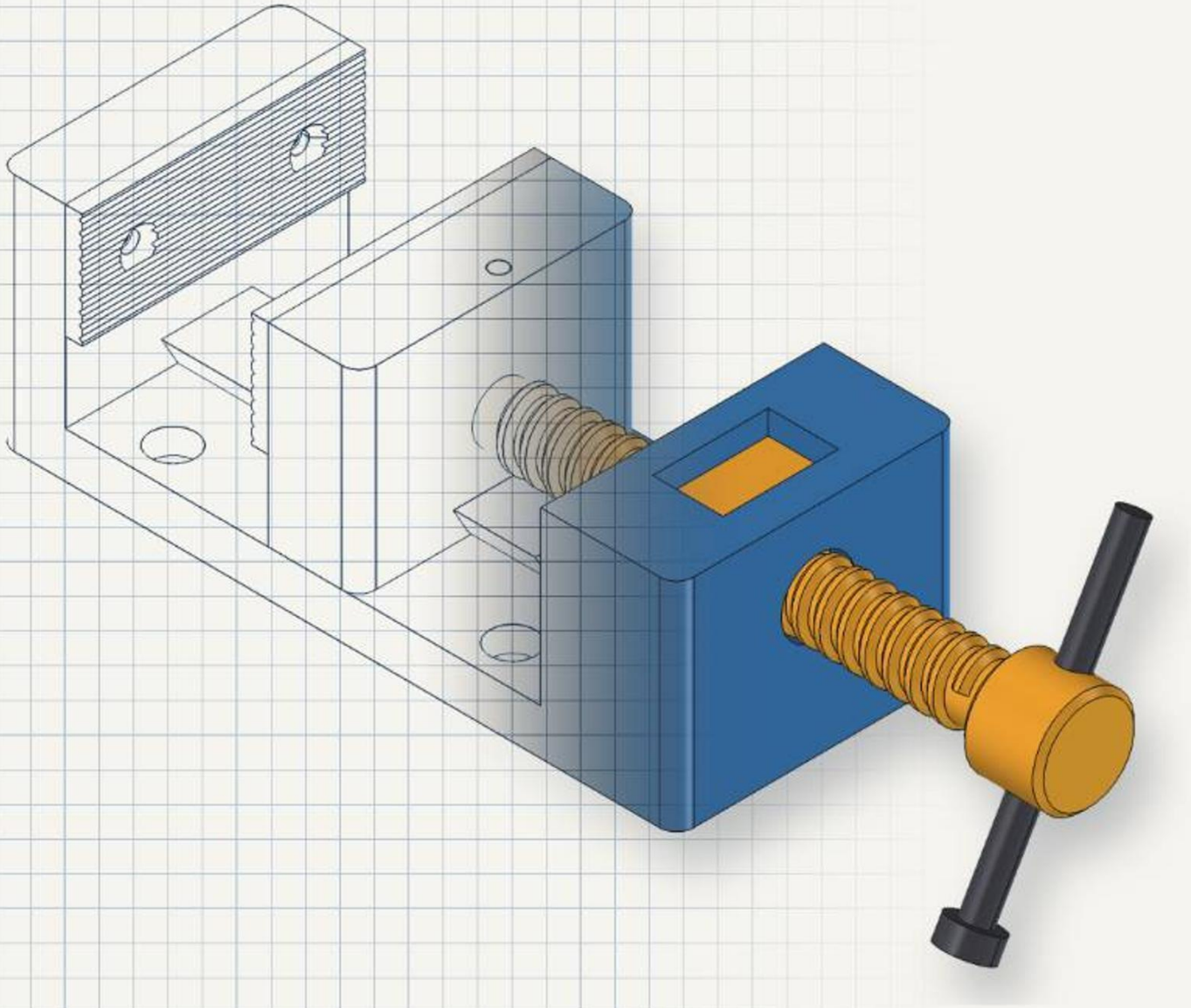
Бойко Сергей

FreeCAD: от идеи до механизма

Практическое руководство по версии 1.1 — детали, сборка, чертежи и 3D-печать



Сергей Бойко

FreeCAD: от идеи до механизма

«Автор»
2026

Бойко С.

FreeCAD: от идеи до механизма / С. Бойко — «Автор», 2026

Практическое руководство по FreeCAD 1.1 — бесплатной системе трёхмерного проектирования. Через всю книгу проходит один проект: настольные тиски, которые можно напечатать на 3D-принтере. Вы начертите эскизы, построите детали, соберёте механизм, проверите ход винта, выпустите чертежи по ЕСКД и подготовите модели к печати. Каждый шаг проверен на программе версии 1.1.4. Для начинающих: опыт работы в САПР не нужен.

© Бойко С., 2026
© Автор, 2026

Содержание

Часть I. Знакомство 7
Глава 1. Установка и первый запуск 7
Что вы построите за книгу 7
Какую версию ставить 8
Установка 9
Windows 9
macOS 9
Linux 10
Первый запуск 10
Если на компьютере была прежняя версия 10
Экран приветствия 10
Перезапустите программу 11
Начальная страница 11
Проверка: откройте пример 12
Настройки, которые нужны сейчас 13
Единицы хранятся в документе 14
Где лежат настройки 14
Как узнать версию 15
Как читать эту книгу 15
Почему так 16
Типичные ошибки 16
Упражнения 17
Глава 2. Окно программы и навигация 18
Подготовка 18
Из чего состоит окно 18
Верстаки 19
Дерево документа 21
Редактор свойств 22
Панель «Задачи» 24
Строка состояния 25
Панели, которых пока не видно 26
Навигация мышью 27
Если у мыши нет колеса или вы работаете на ноутбуке 28
Если вы привыкли к другой программе 28
Стиль вращения 29
Навигационный куб 30
Стандартные виды и проекции 31
Выделение 32
Когда щелчок попадает не туда 33
Почему так 34
Типичные ошибки 35
Упражнения 35
Глава 3. Первая деталь за двадцать минут 36
Шаг 1. Документ и тело 36
Шаг 2. Эскиз квадрата 37

Шаг 3. Выдавливание 40
Шаг 4. Отверстие 40
Шаг 5. Имя и сохранение 42
Что получилось в дереве 43
Меняем размеры 43
Как это устроено: параметры и пересчёт 44
Файл FCStd и резервные копии 45
Почему так 46
Типичные ошибки 47
Упражнения 47
Часть II. Эскизы 49
Глава 4. Геометрия и ограничения 49
Подготовка 49
Окно эскиза 49
Инструменты рисования 50
Поля у курсора: четыре способа задать размер 51
Разминка: три фигуры и восемь степеней свободы 52
Автоограничения 53
Профиль основания 53
Ограничения на панели 56
Как искать, что не так 57
Почему так 57
Типичные ошибки 57
Упражнения 58
Глава 5. Размеры и полностью определённый эскиз 59
Подготовка 59
Инструмент «Размер» 59
Первый размер и автомасштаб 61
Остальные пять размеров 62
Порядок, который стоит запомнить 63
Править, называть, отключать 63
Когда решатель возражает 64
Лишний размер исчезает 65
Противоречие отклоняется сразу 66
Избыточные ограничения 66
Конфликтующие ограничения 67
Почему так 68
Типичные ошибки 69
Упражнения 69
Глава 6. Правка эскиза и внешняя геометрия 70
Пластина 70
Эскиз на грани 71
Внешняя проекция 71
Определяющая и вспомогательная 72
Зеркало 74
Проверка замысла 75
Внешнее пересечение 75
Инструменты правки 76
Обрезать, продлить, разделить 77

Скругление и фаска 78
Смещение 79
Массивы 80
Вспомогательная геометрия 81
Масштаб 82
Почему так 82
Конец ознакомительного фрагмента. 83

Сергей Бойко
FreeCAD: от идеи до механизма

Часть I. Знакомство

Глава 1. Установка и первый запуск

Версия программы: FreeCAD 1.1.4.

В этой главе вы поставите FreeCAD 1.1.4, пройдёте экран первого запуска, переключите интерфейс на русский язык и проверите, что программа работает: откроете встроенный пример и найдёте в настройках то, что понадобится дальше. Моделировать начнём в главе 3, а здесь сначала посмотрим, к чему придём в конце книги.

Что вы построите за книгу

Через всю книгу проходит один проект — настольные мини-тиски, которые можно напечатать на домашнем 3D-принтере (рис. 1.1).

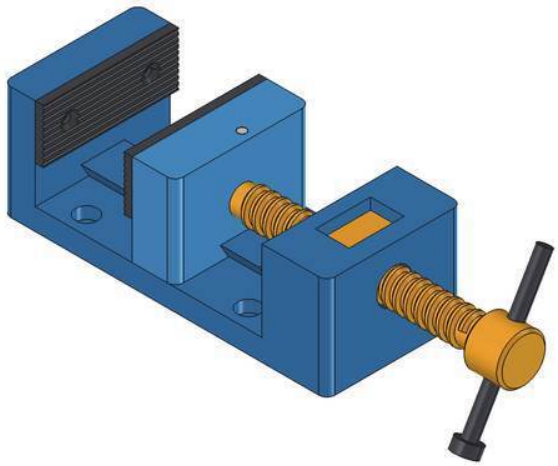


Рис. 1.1 — Мини-тиски: сквозной проект книги

Основание тисков — 120 × 50 × 42 мм, губки шириной 50 мм расходятся на 50 мм. Подвижную губку двигает винт диаметром 12 мм с шагом резьбы 4 мм: один оборот воротка — четыре миллиметра хода. Печатных деталей семь, если считать две одинаковые накладки по отдельности. Ещё понадобятся покупные: четыре винта М3 с потайной головкой для накладок и стальной штифт диаметром 3 мм.

Тиски выбраны не за красоту. На каждой детали осваивается своя группа приёмов, и ни один не приходится притягивать за уши.

Деталь	Чему на ней учимся	Главы
Основание	Тело, эскиз, выдавливание и вырезание, отверстия, скругления	7, 8
Ходовой винт	Вращение, проточка, резьба спиралью	9
Гайка-вкладыш	Первая деталь; вырезание спиралью, зазоры под печать	3, 9
Вороток	Тело вращения из одного эскиза	9
Накладки губок	Насечка линейным массивом, зеркало	10
Подвижная губка	Деталь, построенная от геометрии основания	11
Штифт	Верстак Part: деталь без истории построения	14

Когда детали будут готовы, вы вынесете их размеры в таблицу и перестроите тиски под другую ширину губок (глава 13), соберёте узел и проверите, что губка ходит, а винт вращается (главы 15 и 16), выпустите чертежи (главы 17 и 18) и подготовите модели к печати (глава 19).

В программе тот же проект выглядит так (рис. 1.2). Слева — дерево документа со всеми деталями, в центре — 3D-вид. Окно разберём в главе 2.

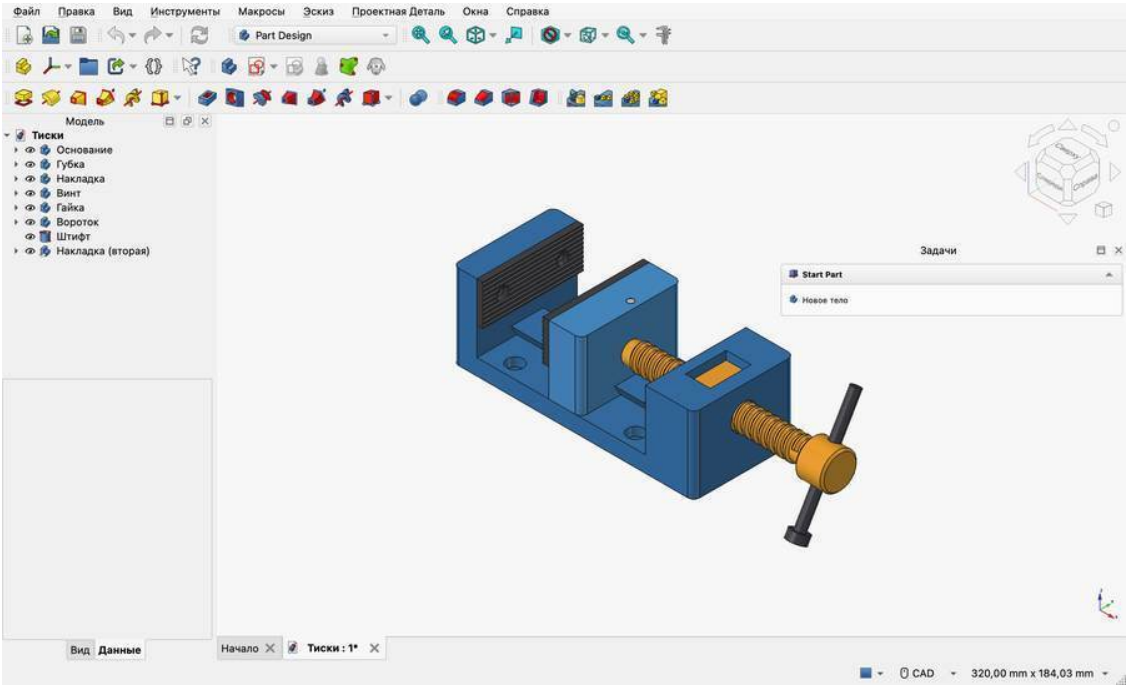


Рис. 1.2 — Тот же проект в окне FreeCAD: слева дерево документа, в центре 3D-вид

Какую версию ставить

Ставьте **1.1.4**. Это текущая стабильная сборка ветки 1.1: сама ветка вышла 24 марта 2026 года, а 1.1.4 — 28 сентября 2026 года. Исправляющие выпуски новых функций не добавляют, поэтому всё, что описано в книге, одинаково работает в любой версии 1.1.x. Но брать стоит именно последнюю: в 1.1.4 закрыты две уязвимости, которые срабатывали при открытии специально подготовленного файла FCStd.

Три вещи, которые нужно знать до установки.

Старые версии не подойдут. Уроки в интернете чаще всего сняты во FreeCAD 0.19–0.21, реже в 1.0. С тех пор изменились названия команд, панели, поведение эскизов и сборка. Если у вас уже стоит 0.2x или 1.0, не пытайтесь идти по книге в ней: экран будет расходиться с текстом на каждом шаге. Что именно поменялось, собрано в приложении В.

Еженедельные сборки — тоже. На странице загрузки рядом со стабильной версией лежат weekly builds — сборки из текущего кода разработчиков. В них уже готовится следующий релиз, 26.3, и часть интерфейса отличается от 1.1. Сами разработчики предупреждают, что эти сборки не годятся для рабочих задач. Учиться в них хуже всего: непонятно, ошиблись вы или программа.

Файлы не переносятся назад. Документ, сохранённый в 1.1, в версии 1.0 и более ранних открывается с ошибками. Если вы обмениваетесь моделями с кем-то, у кого старая версия, договоритесь об обновлении или передавайте STEP (глава 19).

Версии 1.0 и 1.1 могут стоять на одном компьютере одновременно: начиная с 1.1 программа хранит настройки каждой версии в отдельной папке.

Установка

Откройте страницу загрузки FreeCAD[1] и выберите файл для своей системы. Те же файлы лежат на странице выпуска 1.1.4[2]. Цифра над строкой здесь и дальше — номер адреса в приложении Д «Адреса в интернете»: в тексте книги адресов сайтов нет.

Система	Файл	Размер
Windows 10 и новее, установщик	`FreeCAD_1.1.4-Windows-x86_64-py311-installer.exe`	519 МБ
Windows, без установки	`FreeCAD_1.1.4-Windows-x86_64-py311.7z`	418 МБ
macOS 12 и новее, Apple Silicon	`FreeCAD_1.1.4-macOS-arm64-py311.dmg`	650 МБ
macOS 12 и новее, Intel	`FreeCAD_1.1.4-macOS-x86_64-py311.dmg`	720 МБ
Linux, x86_64	`FreeCAD_1.1.4-Linux-x86_64-py311.AppImage`	821 МБ
Linux, ARM (aarch64)	`FreeCAD_1.1.4-Linux-aarch64-py311.AppImage`	756 МБ

Все сборки 64-разрядные. Рядом с каждым файлом на странице выпуска лежит одноимённый файл с окончанием -SHA256.txt — контрольная сумма. Сверять её необязательно, но это занимает минуту и защищает от битой загрузки:

• macOS и Linux: shasum -a 256 имя_файла;

• Windows (PowerShell): Get-FileHash имя_файла -Algorithm SHA256.

Строка, которую выведет команда, должна совпасть со строкой в текстовом файле.

Windows

Запустите установщик и пройдите его шаги, оставляя предложенные значения.

Если у вас нет прав администратора или вы хотите держать программу на флешке, возьмите архив .7z: распакуйте его в любую папку и запустите FreeCAD.exe из подпапки bin.

macOS

Выберите образ под свой процессор. Какой у вас, написано в меню Apple → «Об этом Mac»: «Чип Apple M…» — берите arm64, «Процессор Intel» — x86_64.

1. Откройте скачанный .dmg.

2. Перетащите значок FreeCAD в папку «Программы».

3. Запустите FreeCAD из папки «Программы».

При первом запуске macOS спросит, открывать ли программу, загруженную из интернета. Подтвердите. Пока вы этого не сделали, программа не стартует — в том числе из терминала: при подготовке книги запуск из командной строки просто висел, пока запрос не был подтверждён в Finder.

Linux

AppImage — это один исполняемый файл, устанавливать его не нужно.

1. Разрешите запуск: chmod +x FreeCAD_1.1.4-Linux-x86_64-py311.AppImage.

2. Запустите: ./FreeCAD_1.1.4-Linux-x86_64-py311.AppImage.

Пакет freecad из репозитория дистрибутива ставить не советую: там часто лежит версия на год-два старше. Проверьте номер версии до установки.

Первый запуск

Если на компьютере была прежняя версия

FreeCAD 1.1 хранит настройки в папке с номером версии. Если при запуске он находит настройки от 1.0 или 0.2x, то до главного окна показывает диалог «Добро пожаловать в FreeCAD 1.1» с вопросом: «Обнаружены данные конфигурации и дополнения из предыдущей версии программы. Перенести конфигурацию в новый каталог для этой версии?» Вариантов три:

• «Копировать конфигурацию (рекомендуется)» — настройки и дополнения копируются в новую папку, старая версия остаётся при своих;

• «Поделиться конфигурацией между версиями» — обе версии пишут в одну папку;

• «Использовать новую конфигурацию по умолчанию» — 1.1 стартует с чистого листа.

Для работы по книге выбирайте **третий вариант**. Тогда панели, значки и поведение программы будут такими же, как на рисунках. Старые настройки никуда не денутся: они останутся в прежней папке. Второй вариант не выбирайте никогда — сама программа предупреждает, что общие настройки у разных версий приводят к сбоям.

Экран приветствия

На чистой установке первым открывается экран «Добро пожаловать в FreeCAD» (рис. 1.3). На нём четыре настройки.

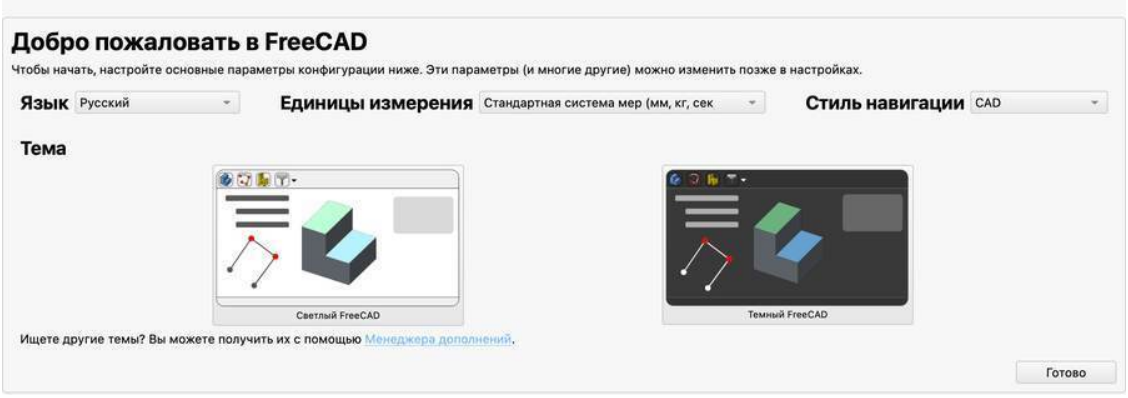


Рис. 1.3 — Экран первого запуска после выбора русского языка

1. **Язык.** Выберите в списке «Русский». Надписи на экране сменятся сразу.
2. **Единицы измерения.** Оставьте «Стандартная система мер (мм, кг, сек, °)».
3. **Стиль навигации.** Оставьте «CAD». Стиль определяет, какими кнопками мыши вращать и двигать модель; его мы разберём и при желании сменим в главе 2.
4. **Тема.** Оставьте «Светлый FreeCAD». Все рисунки в книге сняты в светлой теме. Тёмная работает так же — если она вам привычнее, выбирайте её, отличаться будут только цвета.

Нажмите «Готово».

Ничего из выбранного здесь не окончательно: всё меняется в настройках, а сам экран можно открыть снова кнопкой «Открыть настройку первого запуска» внизу начальной страницы.

Перезапустите программу

Сразу после смены языка интерфейс переведён не полностью. Заголовок панели слева остаётся английским — Model, английскими остаются и подписи на карточках начальной страницы. Закройте FreeCAD («Файл → Выход», Ctrl+Q) и запустите снова. Теперь панель называется «Модель», а всё окно — на русском.

Так устроена смена языка в этой версии, и это повторится каждый раз, когда вы переключите язык в настройках: часть надписей обновляется сразу, остальные — после перезапуска.

Начальная страница

После перезапуска вы увидите начальную страницу (рис. 1.4). Она открывается во вкладке «Начало» там, где потом будет 3D-вид.

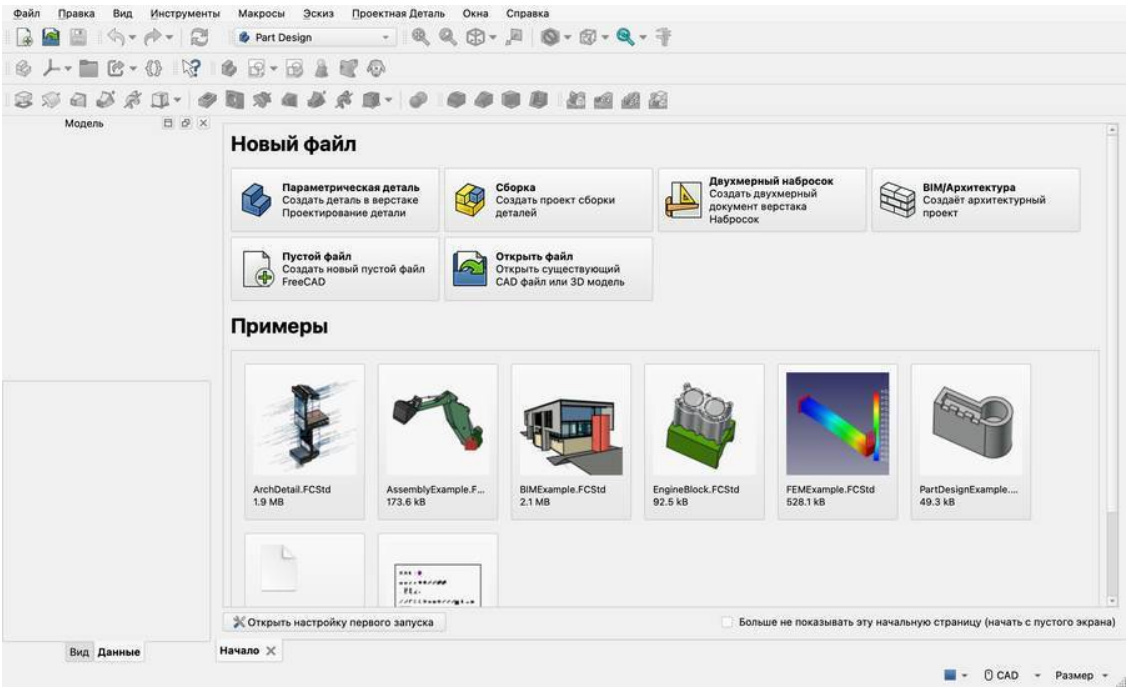


Рис. 1.4 — Начальная страница после перезапуска

В разделе **«Новый файл»** шесть карточек. Нам понадобятся три:

• «Параметрическая деталь» (Parametric Body) — новый документ с пустым телом, сразу открытый в верстаке Part Design. С этой карточки начинаются почти все детали тисков;

• «Сборка» — новый документ со сборкой; сборке посвящена глава 15;

• «Открыть файл» — открыть существующий документ FreeCAD, STEP и другие форматы.

«Пустой файл» создаёт документ без единого объекта, «Двухмерный набросок» и «BIM/Архитектура» относятся к верстакам Draft и BIM. Из Draft понадобится одна команда при импорте DXF (глава 19), на BIM мы взглянем в обзорной главе 20.

В разделе **«Примеры»** лежат готовые модели из поставки программы. Ниже, когда вы начнёте работать, появится раздел с недавними файлами.

Внизу страницы — кнопка «Открыть настройку первого запуска» и флажок «Больше не показывать эту начальную страницу (начать с пустого экрана)». Флажок не ставьте: страница удобна, а если вы её закрыли, она возвращается командой «Справка → Начальная страница».

Обратите внимание на строку меню: «Файл», «Правка», «Вид», «Инструменты», «Макросы», «Эскиз», «Проектная Деталь», «Окна», «Справка». Меню «Эскиз» и «Проектная Деталь» принадлежат верстаку Part Design, который выбран в списке на панели инструментов. При смене верстака они заменятся другими — об этом глава 2.

Проверка: откройте пример

Убедимся, что программа показывает трёхмерную модель.

1. На начальной странице в разделе «Примеры» щёлкните карточку PartDesignExample.FCStd.

2. Откроется новая вкладка с деталью (рис. 1.5). Нажмите клавишу 0 — вид повернётся в изометрию, затем V, F (по очереди, не вместе) — модель впишется в окно.

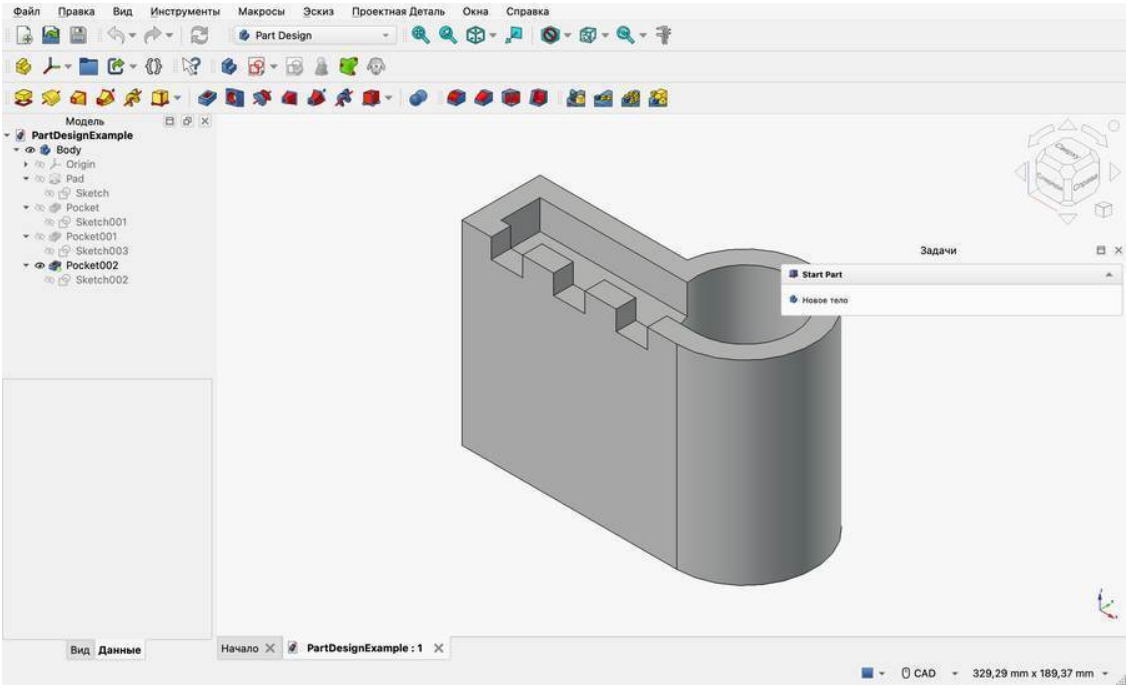


Рис. 1.5 — Встроенный пример PartDesignExample в окне программы

Что должно получиться: серая деталь с полукруглым выступом и ступенчатым вырезом, слева в панели «Модель» — дерево. В корне дерева стоит имя документа PartDesignExample, под ним — тело Body, а внутри тела — список операций: Pad, Pocket, Pocket001, Pocket002.

Под каждой операцией лежит эскиз, из которого она построена. Имена в примере английские, потому что файл создавали в английском интерфейсе: язык программы на имена объектов в готовых документах не влияет.

Это дерево — главное, чем параметрическая САПР отличается от графического редактора. Модель хранится не как форма, а как последовательность действий, и любое из них можно открыть и изменить. Подробно об этом — в главе 3.

Закройте вкладку примера крестиком на ней. Если программа спросит о сохранении, откажитесь: примеры лучше оставить нетронутыми.

Если вместо детали вы видите пустую область, сначала ещё раз нажмите V, F. Если не помогло, смотрите раздел «Типичные ошибки» в конце главы.

Настройки, которые нужны сейчас

Откройте «Правка → Настройки» (Ctrl+,). На macOS этот пункт находится в меню FreeCAD в верхней строке экрана, сочетание — Cmd+,.

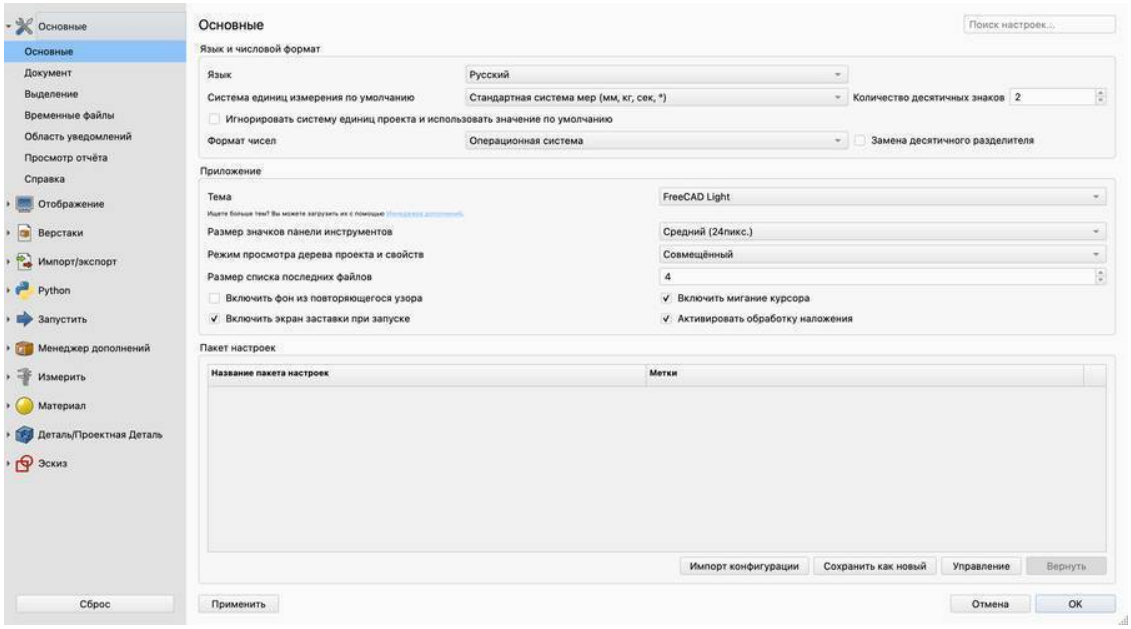


Рис. 1.6 — Окно настроек, раздел «Основные»

Слева — разделы: «Основные», «Отображение», «Верстаки», «Импорт/экспорт», «Python», «Запустить», «Менеджер дополнений», «Измерить», «Материал», «Деталь/Проектная Деталь», «Эскиз». Справа вверху — поле «Поиск настроек…». Оно появилось в 1.1 и экономит много времени: настроек сотни, и помнить, в каком разделе лежит нужная, необязательно. Наберите в нём, например, «единиц» — под полем появится список найденных настроек, и у каждой указан раздел: «Основные/Основные — Система единиц измерения по умолчанию», «Импорт/экспорт/STEP — Единицы для экспорта STEP» и другие. Щелчок по строке открывает нужную страницу.

На странице «Основные → Основные» (рис. 1.6) проверьте блок **«Язык и числовой формат»**:

Настройка	Значение	Зачем
Язык	Русский	Книга описывает русский интерфейс
Система единиц измерения по умолчанию	Стандартная система мер (мм, кг, сек, °)	Все размеры в книге даны в миллиметрах
Количество десятичных знаков	2	Сотых долей миллиметра достаточно; на точность расчёта это не влияет, только на показ
Формат чисел	Операционная система	Десятичный разделитель берётся из настроек системы

В русской системе десятичный разделитель — запятая: программа пишет 320,00 mm. В книге числа записаны так же.

Остальное на этой странице не трогайте. Это общее правило на всю книгу: пока вы учитесь, оставляйте настройки по умолчанию. Тогда ваше окно совпадает с рисунками, а советы из документации и с форума подходят без поправок.

Закройте окно кнопкой «OK».

Единицы хранятся в документе

Настройка «Система единиц измерения по умолчанию» действует на новые документы. У каждого открытого документа система единиц своя, и переключается она в правом нижнем углу окна. Снова откройте пример: там показан размер видимой области 3D-вида, на рис. 1.5 это 329,29 mm x 189,37 mm. Щёлкните по стрелке рядом с этой надписью: откроется список из десяти систем единиц. Если выбрать «Английская десятичная (дюймы, фунты)», та же надпись превратится в 12,96 in x 7,46 in, а все размеры в документе будут показаны в дюймах. Настройка по умолчанию при этом не изменится.

Сама модель от переключения не меняется: внутри программа всегда считает в миллиметрах. Система единиц управляет двумя вещами: как числа показаны и как читается число, введённое без единицы. Второе важнее. В стандартной системе 50 в поле размера — это 50 мм, а в дюймовой — 50 дюймов, то есть 1270 мм.

Где лежат настройки

Настройки записаны в файле user.cfg, а дополнения, макросы и библиотеки — в папке данных. Начиная с 1.1 и папка настроек, и папка данных содержат номер версии. На macOS это:

- ~/Library/Preferences/FreeCAD/v1-1/ — настройки (user.cfg, system.cfg);
- ~/Library/Application Support/FreeCAD/v1-1/ — данные.

На Windows и Linux пути другие. Узнать их на своём компьютере можно у самой программы. Откройте «Вид → Панели → Консоль Python» и введите по очереди две строки, после каждой нажимая Enter:

```
App.getUserConfigDir()

App.getUserAppDataDir()
```

Консоль ответит двумя путями. Панель консоли закройте тем же пунктом меню. Запомните этот приём: когда настройки запутаются, достаточно закрыть программу и переименовать папку настроек — при следующем запуске FreeCAD создаст новую, с экраном приветствия. Копия этой папки — заодно и резервная копия всех ваших настроек.

Как узнать версию

Откройте «Справка → О FreeCAD» (рис. 1.7).



Рис. 1.7 — Окно «О FreeCAD»: номер версии и кнопка копирования сведений

В строке «Версия» должно стоять 1.1.4. Ниже — номер редакции, дата выпуска, операционная система и архитектура процессора. Кнопка «Копировать в буфер обмена» собирает эти сведения в текст. На форуме FreeCAD с него принято начинать любой вопрос: без версии и системы вам, скорее всего, не ответят по существу.

Как читать эту книгу

Несколько соглашений, чтобы дальше не объяснять их каждый раз.

Названия команд даны так, как они написаны в русском интерфейсе 1.1.4. При первом упоминании в скобках стоит английское название: «Выдавливание (Pad)». Оно нужно, чтобы искать справку: документация, форум и почти все видео — на английском, а русский перевод неполон и местами меняется от версии к версии. Названия верстаков — Part Design, Sketcher, TechDraw, Assembly — программа не переводит, и в книге они оставлены как есть.

Путь по меню записан через стрелку: «Правка → Настройки».

Сочетания клавиш приведены для Windows и Linux. На macOS вместо Ctrl нажимайте Cmd. Запись V, F через запятую означает, что клавиши нажимают по очереди; запись Ctrl+Q — что вместе.

Рисунки сняты во FreeCAD 1.1.4 на macOS, с настройками по умолчанию и светлой темой. Строка меню на них показана внутри окна, как в Windows и Linux; на macOS она находится в верхней строке экрана.

Размеры в шагах даны точно. Если у вас после шага получилось другое число, не идите дальше: ошибка в начале дерева аукнется через десять операций.

Почему так

Почему стабильная версия, а не самая новая. В параметрической модели каждая операция опирается на предыдущие. Ошибка программы в середине дерева выглядит точно так же, как ваша собственная, и новичок не отличит одно от другого. В стабильной версии такие ошибки редки и описаны, а в сборке недельной давности их может не знать никто.

Почему русский интерфейс с английскими названиями в скобках. Работать удобнее на родном языке, а искать помощь приходится на английском. Привыкнув сразу к паре «Выдавливание — Pad», вы не останетесь наедине с переводом, когда он окажется неудачным. Таких мест в 1.1 хватает: один и тот же инструмент может называться по-разному в двух верстаках, а перевод верстака Assembly включается с опозданием (глава 15).

Почему чистые настройки. FreeCAD настраивается очень глубоко, и у давнего пользователя окно может быть неузнаваемым. Перенеся такие настройки в новую версию, вы получите панели на непривычных местах и поведение, которое не совпадает ни с книгой, ни с документацией. Настраивать программу под себя стоит тогда, когда вы уже знаете, что именно вам мешает.

Почему миллиметры. Все размеры в книге даны в миллиметрах и вводятся без единицы: «длина 50». Программа понимает такое число в единицах документа. Если документ незаметно для вас оказался в дюймовой системе, те же шаги дадут деталь в 25,4 раза больше, причём эскиз будет выглядеть правильно — пропорции те же. Проще один раз проверить единицы, чем искать такую ошибку в готовой модели.

Типичные ошибки

Установлена не та версия. Признаки: в окне «О FreeCAD» номер версии не начинается с 1.1; в настройках нет поля «Поиск настроек…». Так бывает, когда программу ставят из репозитория Linux, находят старый установщик или скачивают еженедельную сборку вместо стабильной. Удалите её и поставьте 1.1.4 с официальной страницы.

Язык переключён, а часть окна на английском. Признак: заголовки панелей — Model, Tasks, подписи на начальной странице английские. Перезапустите программу. Учтите, что некоторые строки не переведены и после перезапуска: например, заголовок Start Part в панели «Задачи» (он виден на рис. 1.2). Это не ошибка установки, а состояние перевода в 1.1.4. Верстак Assembly ведёт себя по-своему: его перевод включается только после создания сборки — подробности в главе 15.

Перенесены настройки старой версии. Признаки: панели инструментов стоят не так, как на рисунках, не хватает кнопок, при запуске появляются сообщения о дополнениях. Проверить, виноваты ли настройки, помогает команда «Справка → Перезапустить в безопасном режиме»: она запускает FreeCAD без загруженных модулей и плагинов. Если в безопасном режиме всё в порядке, закройте программу и переименуйте папку настроек, как описано выше.

Размеры в дюймах. Признак: в правом нижнем углу окна стоит in вместо mm, размеры показаны с единицей in. Выберите там же «Стандартная система мер (мм, кг, сек, °)». Если так выглядит каждый новый документ, проверьте «Систему единиц измерения по умолчанию» в настройках.

Программа не запускается на macOS. Признак: сразу после установки FreeCAD не открывается из терминала или из стороннего средства запуска. Система ждёт подтверждения, что программу, загруженную из интернета, можно открыть. Запустите FreeCAD из папки «Программы» в Finder и подтвердите запрос. Один раз подтверждённая программа дальше запускается как обычно.

Файл AppImage не запускается на Linux. Признак: двойной щелчок ничего не делает или открывает архив. У файла не выставлено право на исполнение — выполните chmod +x из раздела об установке.

Вместо модели пустая область. Нажмите V, F: возможно, модель просто за пределами видимой области. Если 3D-вид остаётся пустым или программа закрывается при открытии документа, дело, вероятнее всего, в драйвере видеокарты.

Упражнения

1. Откройте «Справка → О FreeCAD», нажмите «Копировать в буфер обмена» и вставьте текст в любой редактор. Найдите в нём версию программы, операционную систему и архитектуру процессора. Проверьте, что версия — 1.1.4.

2. Откройте пример PartDesignExample.FCStd. В правом нижнем углу окна переключите систему единиц на «Английская десятичная (дюймы, фунты)» и посмотрите, как изменилась надпись с размером области. Верните стандартную систему. Закройте пример, не сохраняя.

3. В настройках с помощью поля «Поиск настроек…» найдите, где задаётся количество десятичных знаков. Поставьте 3, нажмите «OK», откройте пример и посмотрите на надпись в правом нижнем углу. Верните значение 2.

4. Через консоль Python узнайте, где на вашем компьютере лежит папка настроек. Закройте FreeCAD и сделайте копию этой папки: это ваша точка возврата к чистым настройкам на всё время работы с книгой.

Глава 2. Окно программы и навигация

Версия программы: FreeCAD 1.1.4.

В этой главе вы ничего не построите. Вы разберёте окно программы на части, научитесь вращать, двигать и приближать модель, переключать виды и выбирать грани и рёбра. Всё это — на встроенном примере из главы 1. К концу главы руки должны делать это сами: дальше шаг «поверните модель и выберите заднюю грань» объясняться не будет.

Подготовка

1. Запустите FreeCAD и на начальной странице в разделе «Примеры» щёлкните PartDesignExample.FCStd. Если начальная страница закрыта, откройте её командой «Справка → Начальная страница».

2. Нажмите 0, затем V, F.

В обозначениях мыши дальше: ЛКМ — левая кнопка, ПКМ — правая, СКМ — средняя, то есть нажатие на колесо.

Из чего состоит окно

Щёлкните левой кнопкой по большой плоской грани детали. Окно примет вид, как на рис. 2.1.

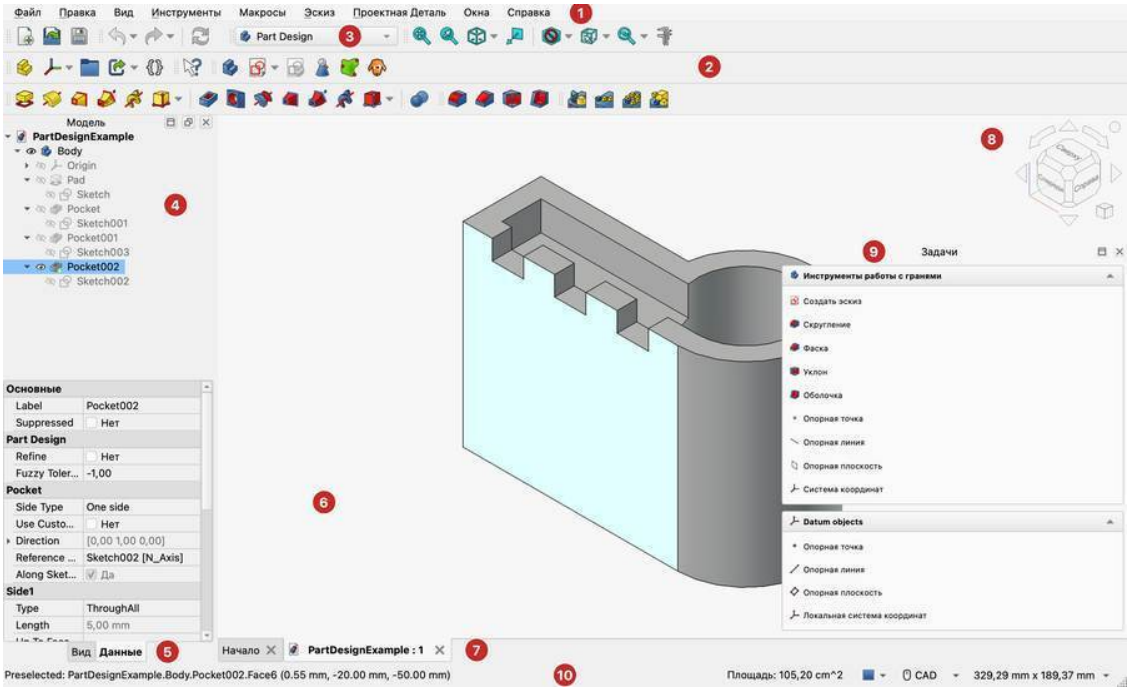


Рис. 2.1 — Окно FreeCAD с открытым примером; выбрана передняя грань детали

1. **Строка меню.** Первые пять меню и два последних есть всегда. Меню между «Макросы» и «Окна» принадлежат верстаку и меняются вместе с ним.

2. **Панели инструментов.** Общие панели — «Файл», «Редактировать», «Вид», «Структура», «Справка» — есть всегда. Остальные принадлежат верстаку. Наведите курсор на любую кнопку и подождите: всплывёт подсказка с названием команды, сочетанием клавиш и коротким описанием.

3. **Список верстаков.** Сейчас в нём выбран Part Design.

4. **Панель «Модель»** (Model) с деревом документа: всё, из чего состоит модель.

5. **Редактор свойств** с вкладками «Вид» (View) и «Данные» (Data): параметры того, что выделено.

6. **3D-вид.**

7. **Вкладки документов.** У каждого открытого документа своя вкладка; «Начало» — начальная страница.

8. **Навигационный куб** (Navigation Cube). Показывает, с какой стороны вы смотрите на модель, и поворачивает её щелчком.

9. **Панель «Задачи»** (Tasks). Показывает команды, уместные для выделенного, а во время работы команды — её параметры.

10. **Строка состояния** (Status Bar). Сообщает, что под курсором, что выделено и чего ждёт текущий инструмент.

В правом нижнем углу 3D-вида стоят оси координат: X красная, Y зелёная, Z синяя. На рис. 2.1 их закрыла панель «Задачи», они видны на рис. 2.12.

Теперь по порядку.

Верстаки

В русском интерфейсе 1.1.4 почти девятьсот команд. Показать их разом нельзя, поэтому FreeCAD делит их на **верстаки** (Workbench) — наборы инструментов под одну задачу: эскизы, детали, сборки, чертежи. В каждый момент активен один верстак, и от него зависит, какие меню и панели инструментов вы видите.

1. Раскройте список верстаков. В нём 15 строк (рис. 2.2).

2. Выберите Part.

3. Посмотрите, что изменилось. Вместо меню «Эскиз» и «Проектная Деталь» появилось одно — «Деталь». Панели верстака Part Design сменились панелями «Твёрдотельные объекты», «Инструменты детали» и «Булевы инструменты». Общие панели, дерево и сама модель остались на месте.

4. Верните в списке Part Design.

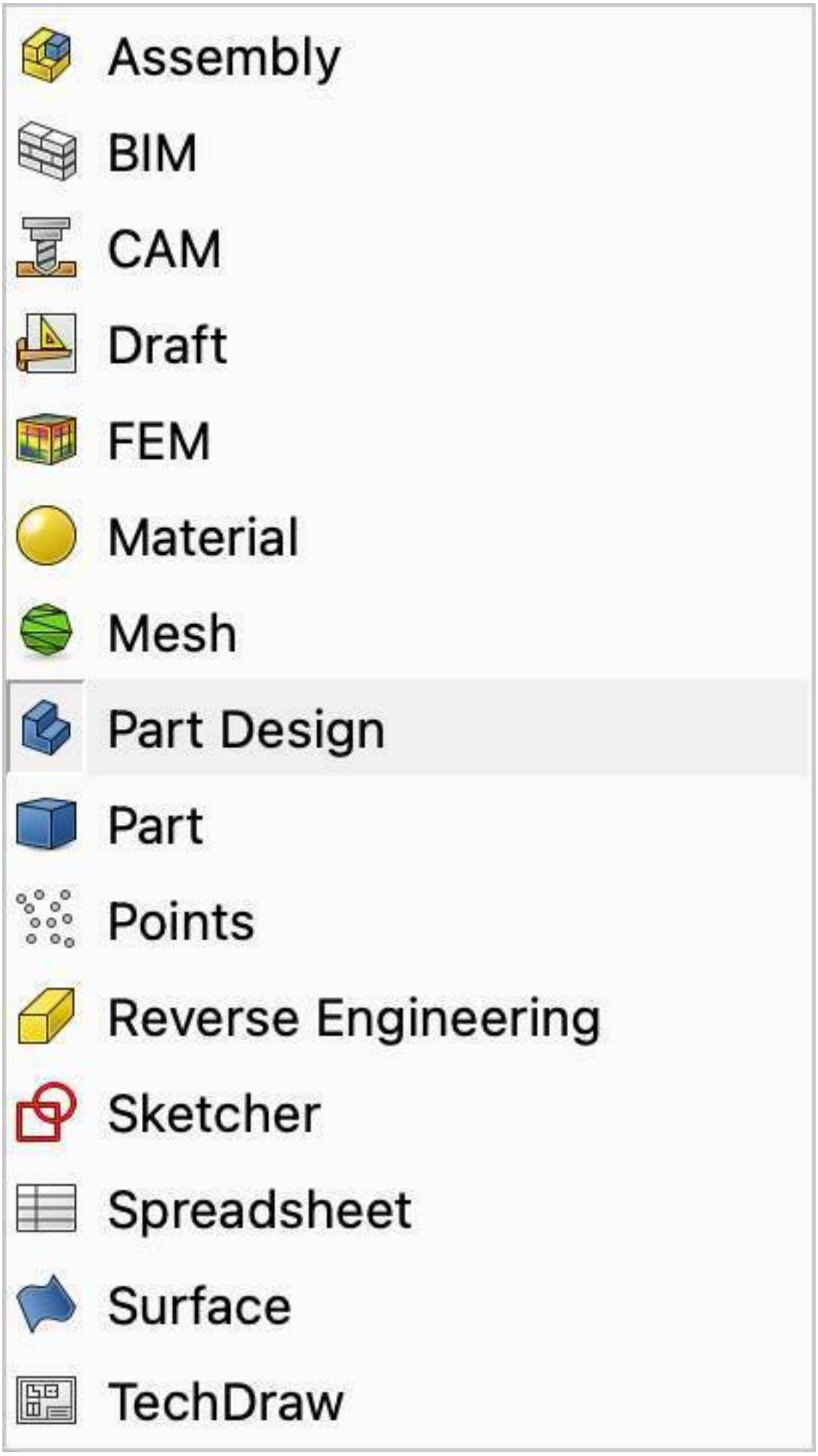

Assembly
BIM
CAM
Draft
FEM
Material
Mesh
Part Design
Part
Points
Reverse Engineering
Sketcher
Spreadsheet
Surface
TechDraw

Рис. 2.2 — Список верстаков

Смена верстака ничего не делает с документом. Меняется только набор инструментов в ваших руках.

Верстак	Для чего	Главы
Part Design	Детали из эскизов, с историей построения	3, 7–13
Sketcher	Эскизы	4–6
Part	Примитивы и булевы операции	14
Assembly	Сборка узла из деталей	15, 16
TechDraw	Чертежи	17, 18
Spreadsheet	Таблицы параметров	13
Mesh	Сетки для 3D-печати	19
Material, CAM, FEM, BIM	Материалы, обработка, расчёты, архитектура — обзорно	20

Из остальных верстаков списка понадобится одна команда Draft (глава 19).

Что ещё нужно знать о верстаках:

• Sketcher включается сам, когда вы открываете эскиз для правки, и сам возвращает прежний верстак, когда вы эскиз закрываете.

• Верстак загружается в память при первом обращении к нему, поэтому первое переключение идёт дольше следующих.

• Переключаться можно с клавиатуры: первым девяти верстакам списка назначены сочетания от W, 1 до W, 9. Part Design — это W, 8, Part — W, 9. Полный перечень — в меню «Вид → Верстак».

• Четыре верстака в 1.1 из списка убраны: Inspection, OpenSCAD, Robot и Test Framework. Если старый урок ссылается на один из них, включите его в «Правка → Настройки → Верстаки» флажком слева от названия.

Дерево документа

Панель «Модель» показывает документ как дерево. В корне стоит сам документ PartDesignExample, в нём — тело Body, в теле — операции в том порядке, в каком их выполняли: Pad, Pocket, Pocket001, Pocket002. Под каждой операцией лежит эскиз, из которого она построена. Строка Origin — начало координат тела с осями и плоскостями; к ней мы вернёмся в главе 7.

Слева от названия стоит значок глаза. Открытый глаз — объект виден в 3D-виде, перечёркнутый — скрыт, и название скрытого объекта написано серым. В примере видны только тело и последняя операция, Pocket002. Так и должно быть: каждая операция хранит форму детали на момент своего выполнения, и последняя — это готовая деталь.

Убедитесь в этом сами.

1. Щёлкните в дереве по строке Pad и нажмите пробел.

2. Глаз открылся у Pad и закрылся у Pocket002, а в 3D-виде вместо детали стоит заготовка без единого выреза.

3. Щёлкните по Pocket, нажмите пробел. В заготовке появилась выемка глубиной 15 мм.

4. Так же покажите Pocket001 — добавится глухое отверстие глубиной 50 мм — и Pocket002: деталь вернётся к готовому виду.

Пробел — это команда «Переключить видимость» (Toggle Visibility). В теле виден только один этап: показав один, программа сама прячет остальные. Листать историю детали таким способом удобно, когда чужая модель непонятна или своя сломалась.

Двойной щелчок в дереве означает «открыть»:

• по операции — открывает её параметры в панели «Задачи»;

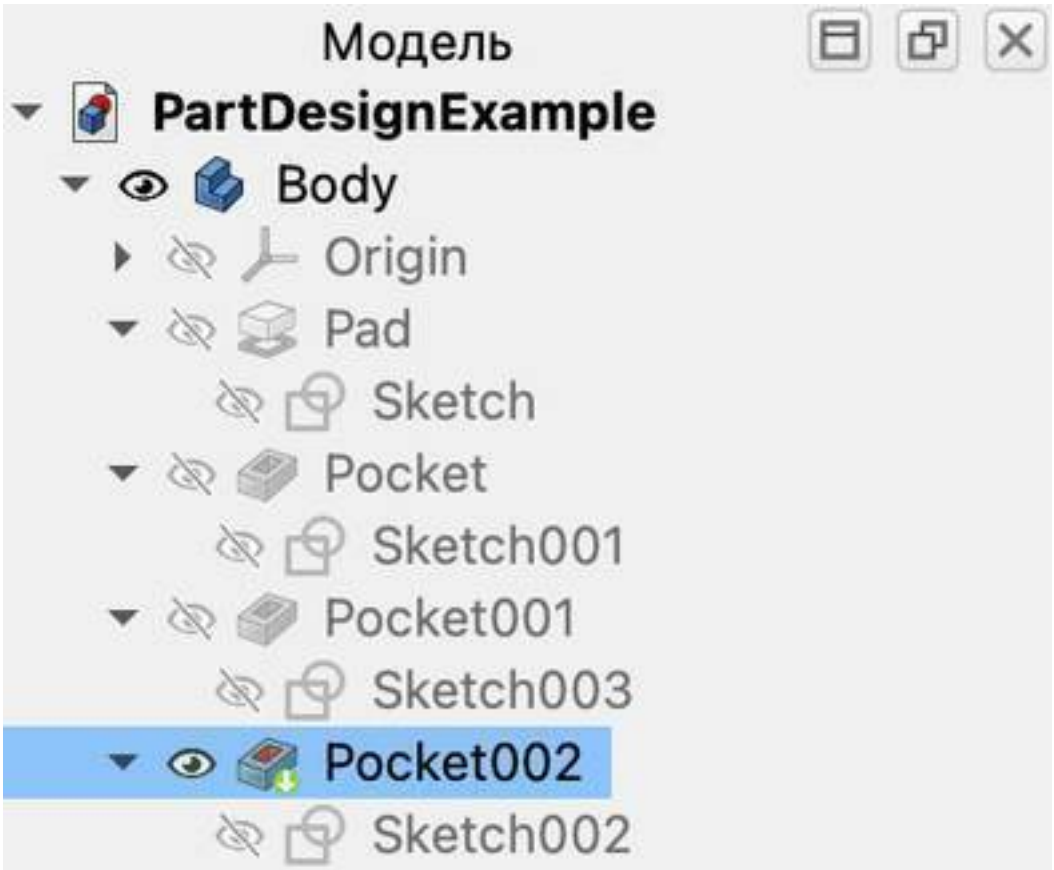
• по эскизу — открывает эскиз в редакторе;

• по телу — делает тело **активным**. Строка активного тела написана жирным шрифтом на зелёном фоне. Новые операции попадают в активное тело, поэтому в главе 3 мы начнём именно с этого. Повторный двойной щелчок снимает активность и сворачивает ветку тела; развернуть её можно стрелкой слева.

Щелчок правой кнопкой по строке открывает контекстное меню. Чаще всего из него нужны «Переименовать» и «Переключить видимость», а у операции — первая строка: у выреза это «Редактировать вырезание», то же, что двойной щелчок.

Редактор свойств

Щёлкните в дереве по Pocket002. Нижняя половина панели «Модель» заполнится (рис. 2.3).


Модель
PartDesignExample
Body
Origin
Pad
Sketch
Pocket
Sketch001
Pocket001
Sketch003
Pocket002
Sketch002

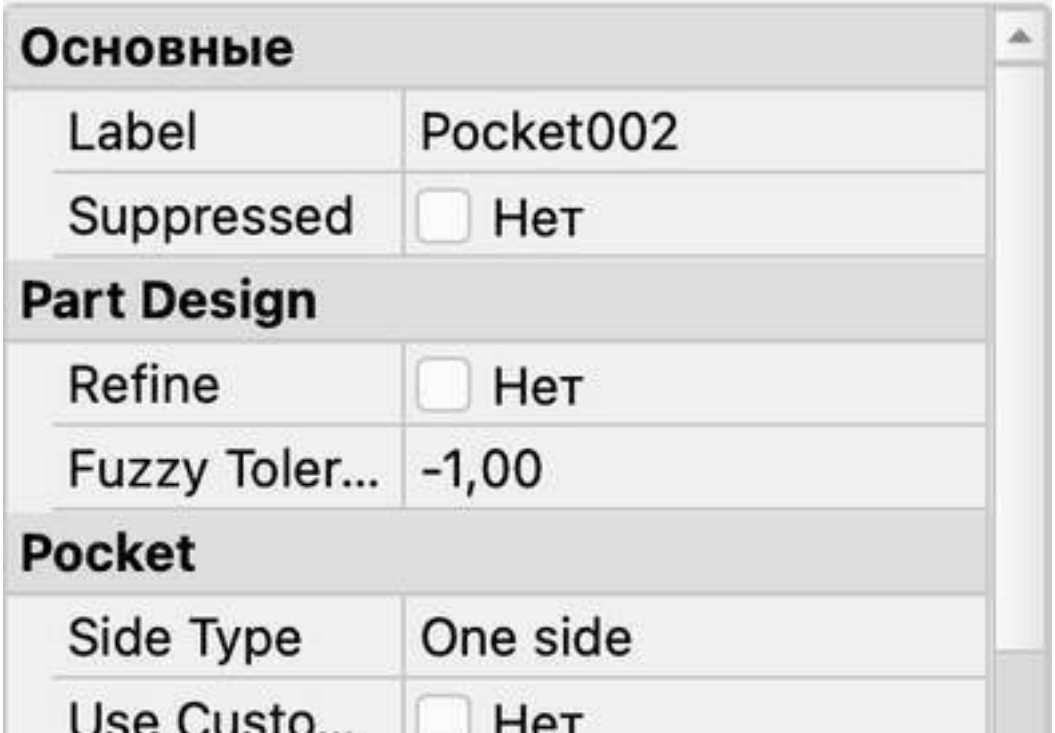

Основные
Label
Pocket002
Suppressed
Нет
Part Design
Refine
Нет
Fuzzy Toler...
-1,00
Pocket
Side Type
One side
Use Custo...
Нет

Рис. 2.3 — Дерево документа и свойства операции Pocket002 на вкладке «Данные»

У любого объекта две группы свойств, и у каждой своя вкладка.

«Данные» — что это за объект. У выреза здесь тип (Type — ThroughAll, то есть насквозь), направление, ссылка на эскиз. Изменение на этой вкладке меняет геометрию модели.

«Вид» — как объект показан: видимость, цвет, прозрачность, толщина линий. Изменение здесь на геометрию не влияет.

Две особенности, к которым придётся привыкнуть.

Названия свойств не переведены. В русском интерфейсе вы видите Label, Placement, Transparency, и значения вроде One side — тоже. Переведены только названия некоторых групп, например «Основные». Это не ошибка установки.

Свойства «да/нет» показаны флажком с подписью «Да» или «Нет». Чтобы изменить такое свойство, щёлкните по флажку. Чтобы изменить число или текст, щёлкните по значению, введите новое и нажмите Enter.

Проверьте на безобидном свойстве.

1. Щёлкните в дереве по Body и откройте вкладку «Вид».
2. Найдите в группе Object Style свойство Transparency. Его значение — 0.
3. Нажмите V, T. Значение стало 70, деталь — полупрозрачной.
4. Нажмите V, T ещё раз: снова 0.

V, T — команда «Переключить прозрачность» (Toggle Transparency). Сквозь прозрачную деталь удобно смотреть на то, что у неё внутри.

У свойства Label особая роль: это название объекта в дереве. Его можно менять как угодно, в том числе писать по-русски. Внутреннее имя, которое программа дала объекту при создании, при этом не меняется.

Панель «Задачи»

Панель «Задачи» в 1.1.4 по умолчанию лежит поверх правой части 3D-вида и занимает столько места, сколько нужно её содержимому. Содержимое зависит от того, что вы делаете.

Ничего не выделено — в панели одна кнопка, «Новое тело» (New Body), под заголовком Start Part (он не переведён).

Выделена грань — в панели инструменты, которые к грани применимы: «Создать эскиз», «Скругление», «Фаска», «Уклон», «Оболочка» и опорные элементы (рис. 2.1). Это те же команды, что на панелях инструментов, но отобранные под выделенное.

Идёт команда — в панели её параметры и кнопки «OK» и «Отмена».

1. Дважды щёлкните в дереве по Pad.
2. Панель «Задачи» покажет «Параметры выдавливания» (рис. 2.4): режим, тип, длину 100,00 mm. В 3D-виде заготовка стала полупрозрачной зелёной, по ней идёт стрелка — манипулятор длины, о нём в главе 7.
3. Посмотрите на панели инструментов: все кнопки верстака стали серыми.
4. Нажмите «Отмена».

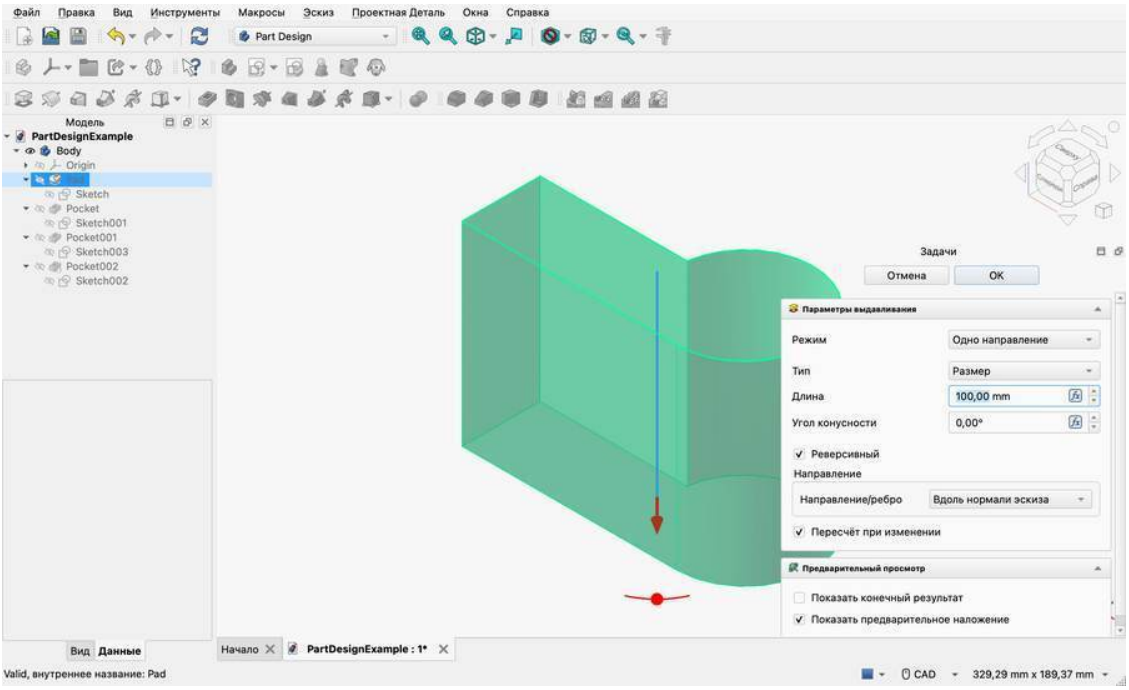


Рис. 2.4 — Панель «Задачи» во время правки операции Pad

Запомните это состояние. Пока в панели «Задачи» есть кнопки «OK» и «Отмена», программа ждёт вашего решения и другие команды не принимает. Серые кнопки на панелях инструментов — первый признак того, что вы забыли закрыть задачу.

Строка состояния

Нижняя строка окна сообщает больше, чем кажется. Слева направо в ней шесть участков (рис. 2.5).

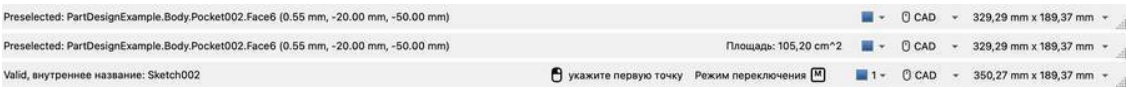


Рис. 2.5 — Строка состояния: курсор над гранью, грань выбрана, в эскизе выбран инструмент «Линия»

Что под курсором. Наведите курсор на грань, не щёлкая. Слева появится строка вроде Preselected: PartDesignExample.Body.Pocket002.Face6 (0.55 mm, -20.00 mm, -50.00 mm). Это путь к элементу — документ, тело, операция, номер грани — и координаты точки под курсором. Строка не переведена.

Подсказки инструмента. Этот участок появился в 1.1. Пока вы просто смотрите на модель, он пуст. Когда активен инструмент, здесь написано, чего он ждёт. На нижней полосе рис. 2.5 в эскизе выбрана «Линия»: значок мыши и «укажите первую точку», затем «Режим переключения» и клавиша M. Заведите привычку смотреть сюда каждый раз, когда не знаете, что делать дальше: начиная с главы 4 это будет экономить вам время на каждом шаге.

Быстрое измерение. Щёлкните по грани, и правее появится её площадь: Площадь: 105,20 cm^2. Что именно покажет программа, зависит от выделенного.

Выделено	Что показано
Плоская грань	Площадь
Цилиндрическая грань	Площадь и радиус
Прямое ребро	Длина
Окружность	Диаметр
Дуга	Радиус
Две вершины	Расстояние
Две параллельные грани или два параллельных ребра	Номинальное расстояние
Две грани, не параллельные друг другу	Общая площадь

Для большинства вопросов «какой здесь размер» этого хватает, и отдельный инструмент измерения открывать не нужно.

Уведомления. Синий значок со стрелкой открывает таблицу сообщений программы. Когда сообщения есть, рядом со значком стоит их число.

Стиль навигации. Кнопка с надписью CAD — о ней следующий раздел.

Размер и единицы. Размер видимой области 3D-вида и список систем единиц документа, знакомый по главе 1.

Панели, которых пока не видно

Кроме «Модели» и «Задач» у программы есть ещё три панели. Они включаются в меню «Вид → Панели» (рис. 2.6).

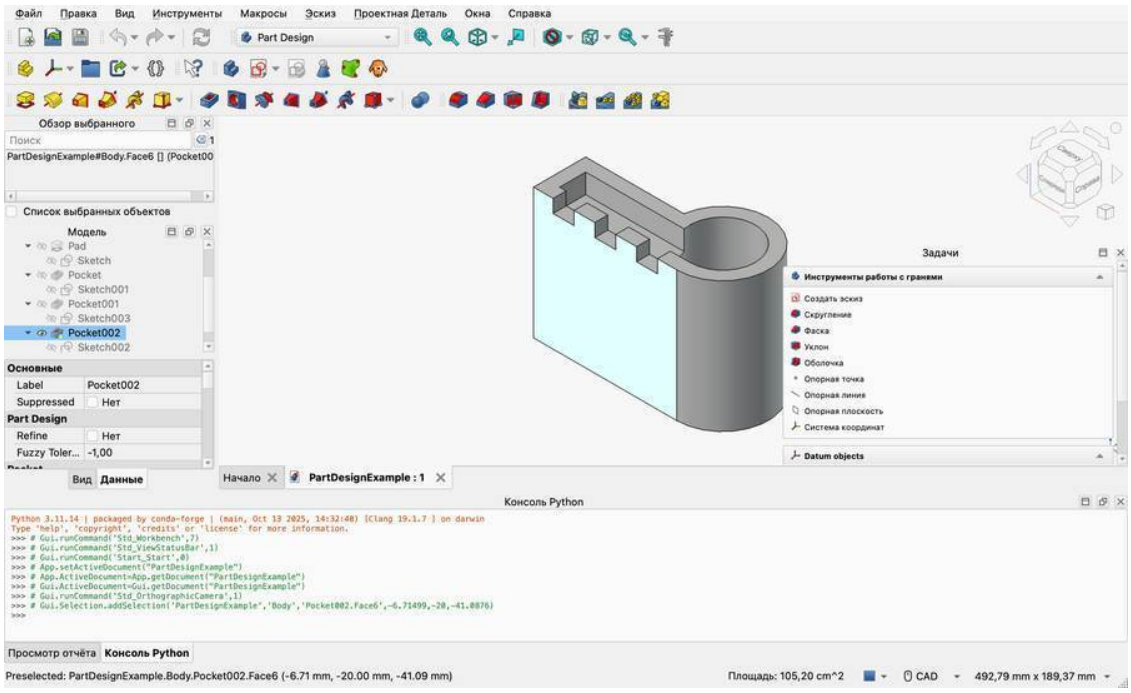


Рис. 2.6 — Включены панели «Обзор выбранного» и «Консоль Python»

• **«Обзор выбранного»** (Selection View) — список всего, что сейчас выделено. Полезен, когда выделено много и нужно убедиться, что именно.

• **«Консоль Python»** (Python Console) — каждое ваше действие программа записывает сюда командой на языке Python. На рис. 2.6 последняя строка консоли — щелчок по грани. Консоль уже пригодилась в главе 1, а всерьёз понадобится в главе 21.

• **«Просмотр отчёта»** (Report View) — сообщения и ошибки программы. К нему мы вернёмся в главе 22.

Пока оставьте их выключенными: они отнимают место у 3D-вида.

В заголовках панелей стоят кнопки «Переключить наложение», «Переключить плавающее окно» и «Закрыть пристыкованное окно». Если вы случайно закрыли «Модель» или «Задачи», верните их через то же меню «Вид → Панели». Панели инструментов возвращаются через «Вид → Панели инструментов».

Навигация мышью

Способ управления видом во FreeCAD называется **стилем навигации** (Navigation Style). Их двенадцать, и по умолчанию включён CAD. Его название написано в строке состояния. Наведите на него курсор: всплывёт схема кнопок (рис. 2.7).

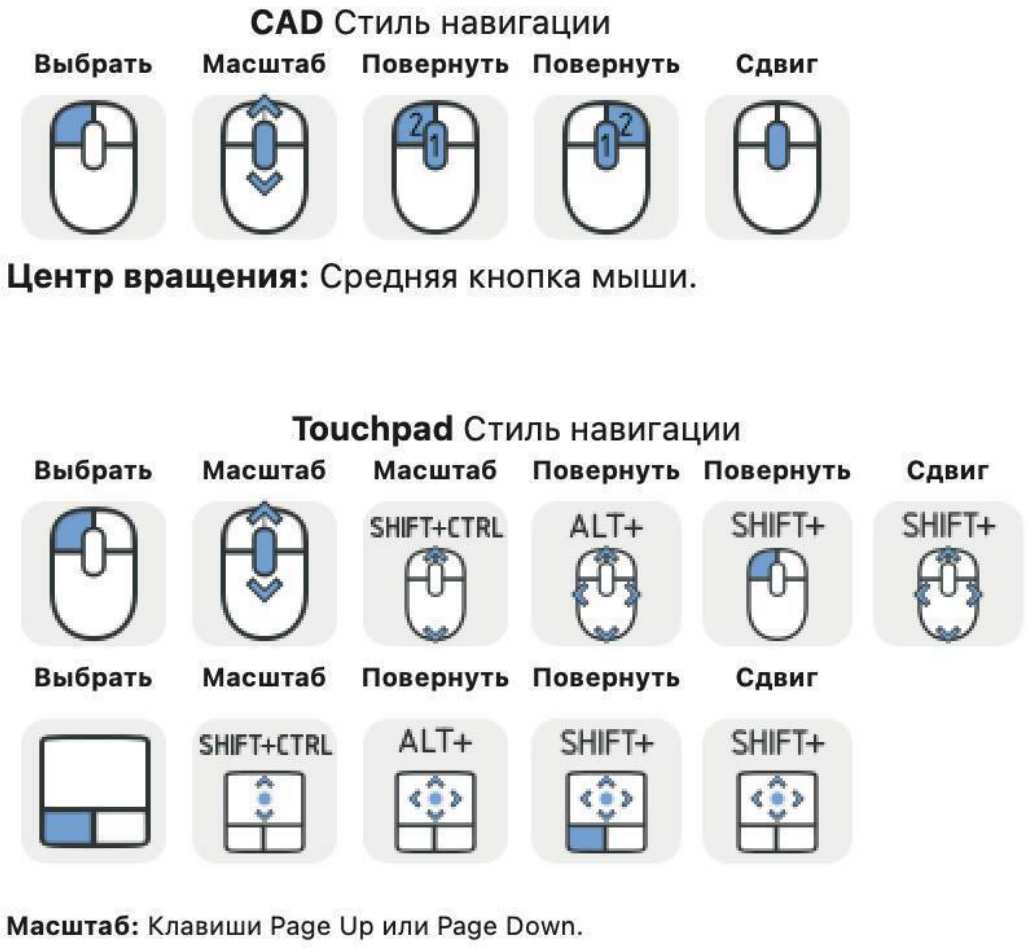


Рис. 2.7 — Подсказки индикатора для стилей CAD и Touchpad

В стиле CAD мышь работает так.

Действие	Мышь	Без средней кнопки
Выбрать	ЛКМ	ЛКМ
Приблизить, отдалить	Колесо от себя, на себя	PageUp, PageDown или Ctrl+Shift+ПКМ
Сдвинуть вид	Зажать СКМ и вести	Ctrl+ПКМ или стрелки
Повернуть вид	Зажать СКМ, затем ЛКМ, и вести	Shift+ПКМ
Задать центр вращения	Щелчок СКМ по точке модели	—
Контекстное меню	ПКМ	ПКМ

Отработайте по порядку.

1. Наведите курсор на цилиндрическую часть детали и прокрутите колесо от себя. Деталь приближается, причём к той точке, где стоит курсор. Прокрутите на себя.

2. Нажмите колесо как кнопку и, не отпуская, ведите мышь. Вид сдвигается.

3. Нажмите колесо, затем, не отпуская его, левую кнопку. Ведите мышь: вид вращается. Порядок важен — сначала средняя, потом левая.

4. Щёлкните колесом по любому углу детали. Эта точка переедет в центр окна. Повторите шаг 3: теперь вид вращается вокруг неё.

5. Нажмите 0, затем V, F.

Пятый шаг — ваша спасательная комбинация. Как бы ни потерялась модель, 0 возвращает привычный ракурс, а V, F — «Уместить всё» (Fit All) — вписывает модель в окно.

Если у мыши нет колеса или вы работаете на ноутбуке

Первый выход — правая кнопка с клавишами: третья колонка таблицы.

Второй — стиль Touchpad. Щёлкните по надписи CAD в строке состояния и выберите в списке Touchpad. В этом стиле вид управляется движением курсора с зажатой клавишей, без кнопок: Alt — поворот, Shift — сдвиг, Ctrl+Shift — масштаб. Масштаб меняют ещё PageUp и PageDown.

Если вы привыкли к другой программе

Остальные стили повторяют управление других программ. Колесо во всех приближает и отдаляет.

Стиль	Поворот	Сдвиг	Масштаб без колеса
CAD	СКМ, затем ЛКМ; Shift+ПКМ	СКМ; Ctrl+ПКМ	Ctrl+Shift+ПКМ
Touchpad	Alt + движение	Shift + движение	Ctrl+Shift + движение
Blender	СКМ	Shift+СКМ	Ctrl+СКМ
Revit	Shift+СКМ	СКМ	Ctrl+СКМ
SolidWorks	СКМ	Ctrl+СКМ	Shift+СКМ
Siemens NX	СКМ	Shift+СКМ	СКМ, затем ЛКМ
TinkerCAD	ПКМ	СКМ	–
OpenSCAD	ЛКМ	ПКМ	СКМ
OpenCascade	Ctrl+ПКМ	СКМ	Ctrl+ЛКМ
OpenInventor	ЛКМ	СКМ	Ctrl+СКМ
Gesture	ЛКМ	ПКМ	–
MayaGesture	Alt+ЛКМ	Alt+СКМ	Alt+ПКМ

Если вы пришли из SolidWorks, NX, Revit или Blender, смело берите свой стиль: рукам не придётся переучиваться. Если опыта нет, оставайтесь на CAD. В книге шаги с мышью даны для него.

Стиль хранится в настройках программы, а не в документе.

Стиль вращения

Отдельно от кнопок настраивается то, как вид отзывается на движение мыши при вращении. По умолчанию в 1.1 выбран «Круглый сектор» (Rounded Arcball): вид свободно крутится во все стороны, и после нескольких движений деталь оказывается наклонённой набок. При подготовке книги три движения мышью наискосок наклонили горизонт примерно на 11°.

Если вас это раздражает, выберите «Поворотный стол» (Turntable): в нём ось Z всегда остаётся вертикальной, а горизонт — ровным. Настройка лежит в «Правка → Настройки → Отображение → Навигация», поле «Стиль вращения» (рис. 2.8). Там же собрано всё остальное, что относится к навигации: стиль, шаг масштабирования, навигационный куб.

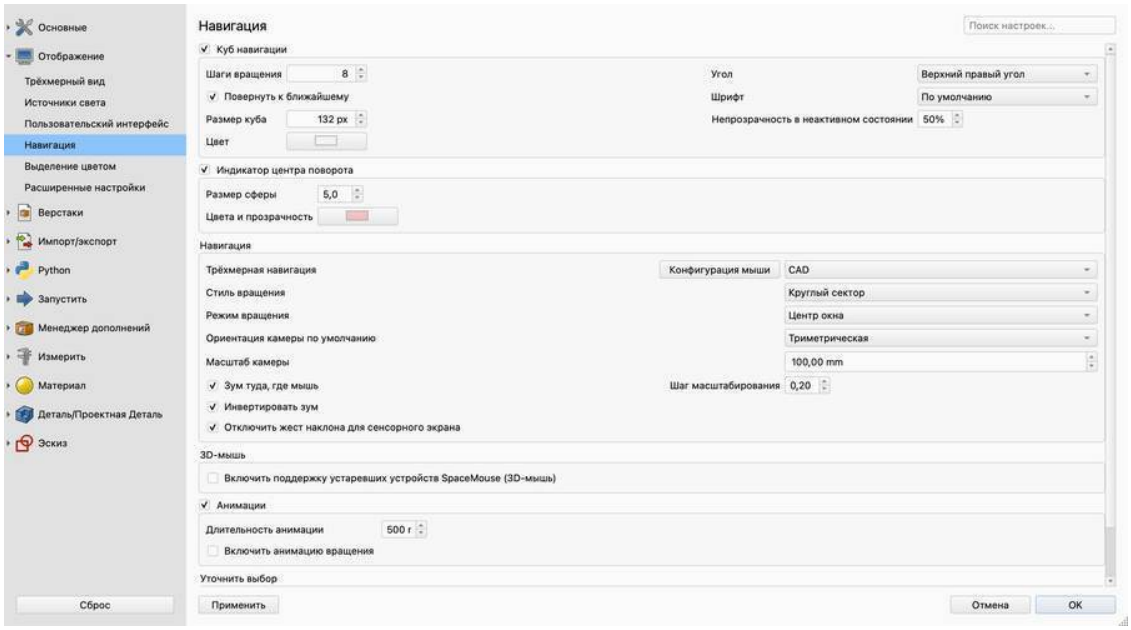


Рис. 2.8 — Настройки навигации

Тот же выбор есть в строке состояния: CAD → «Настройки» → «Способ вращения». Учтите, что в этом меню названия переведены иначе: «Поворотный стол» там назван «Вращение», а «Круглый сектор» — «Круглый сектор шара».

Рисунки в книге сняты со стилем по умолчанию.

Навигационный куб

Куб в правом верхнем углу 3D-вида повторяет ориентацию модели. Пока курсор далеко, он полупрозрачный; под курсором становится плотным, а элемент, по которому придётся щелчок, подсвечивается (рис. 2.9).

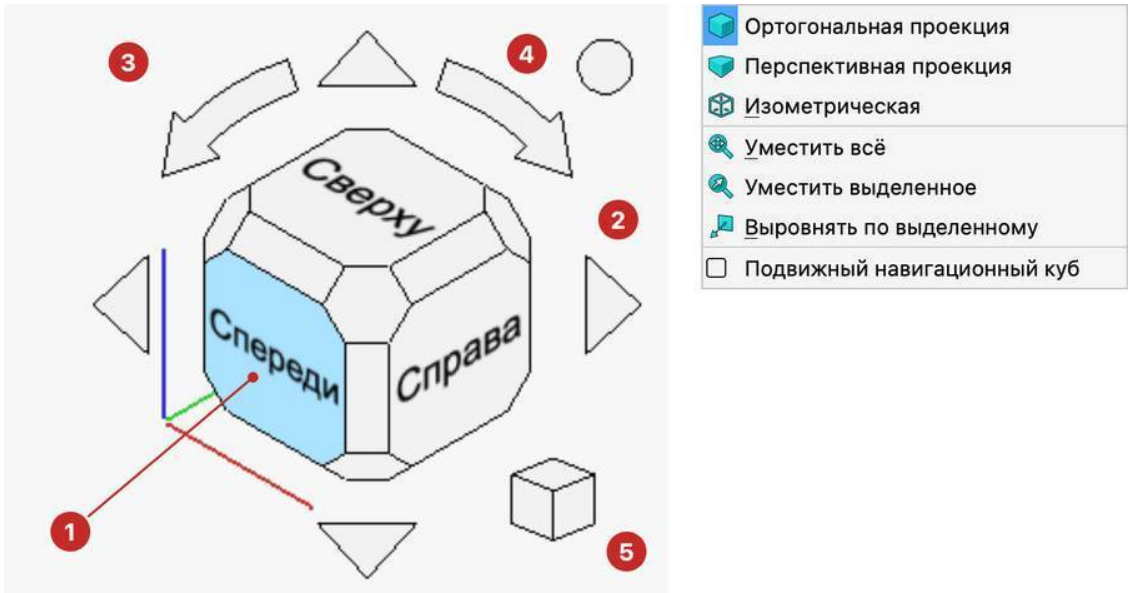


Рис. 2.9 — Навигационный куб и меню мини-куба

1. **Грани, рёбра и углы.** Щелчок по грани ставит вид с этой стороны: «Спереди», «Сверху», «Справа». Щелчок по ребру или углу ставит промежуточный вид.

2. **Четыре треугольные стрелки** поворачивают вид на 45° влево, вправо, вверх или вниз.

3. **Две дуговые стрелки** поворачивают вид на 45° вокруг направления взгляда.

4. **Кружок** разворачивает вид на 180°: вы смотрите на модель с обратной стороны.

5. **Мини-куб** открывает меню: проекция, изометрия, «Уместить всё», «Уместить выделенное» и «Выровнять по выделенному».

Куб можно и просто потянуть левой кнопкой — вид повернётся следом.

Пройдите по кубу: щёлкните «Спереди», затем правую стрелку дважды, затем кружок, затем 0.

Стандартные виды и проекции

Те же виды вызываются с клавиатуры, и это быстрее куба.

Клавиша	Вид	Куда направлен взгляд
0	Изометрическая	–
1	Спереди	Вдоль оси Y
2	Сверху	Вниз, против оси Z
3	Справа	Против оси X
4	Сзади	Против оси Y
5	Снизу	Вверх, вдоль оси Z
6	Слева	Вдоль оси X
Shift+←, Shift+→	Повернуть влево, вправо	Поворот на 90° вокруг взгляда
V, F	Уместить всё	–
V, S	Уместить выделенное (Fit Selection)	–

Все они собраны в меню «Вид → Стандартные виды» и в выпадающей кнопке на панели «Вид». Часть команд есть и в меню, которое открывает правая кнопка на пустом месте 3D-вида; подменю видов там называется Standard Views — оно не переведено.

Отдельно стоит команда **«Выровнять по выделенному»** (Align to Selection). Выделите грань, вызовите команду — и вы смотрите на эту грань строго в лоб, с той стороны, с которой видели её до команды. Она незаменима, когда грань наклонная и ни один стандартный вид её не показывает без искажения. У команды нет клавиши; она есть в меню «Вид → Стандартные виды», на панели «Вид», в меню мини-куба и в меню по правой кнопке.

Проекция. По умолчанию включена ортогональная (Orthographic View): параллельные рёбра остаются параллельными, размеры не искажаются. V, P включает перспективную проекцию (Perspective View), V, O возвращает ортогональную. Работать нужно в ортогональной: в перспективе нельзя на глаз сравнить два размера.

Стиль отрисовки (Draw Style). Меню «Вид → Стиль отрисовки» и клавиши от V, 1 до V, 7 меняют способ показа модели (рис. 2.10).

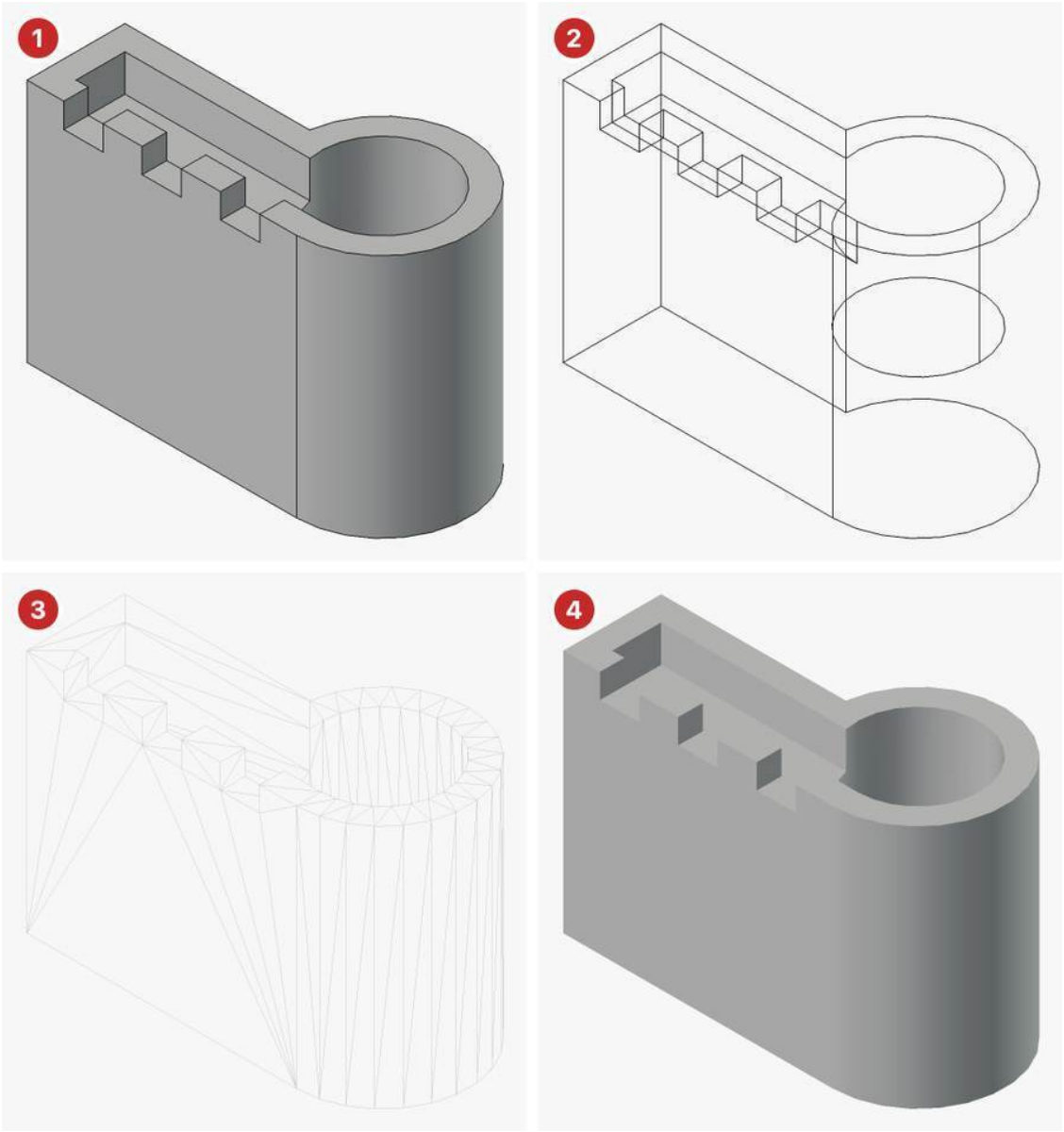


Рис. 2.10 — Стили отрисовки: 1 — «Предустановленный», 2 — «Каркас», 3 — «Скрытая сетка», 4 — «Грани с затенением»

Постоянно нужен первый, «Предустановленный» (As is; V, 1). «Каркас» (Wireframe; V, 3) полезен, когда надо увидеть то, что скрыто внутри: на рис. 2.10 в каркасе видно дно отверстия. Если модель вдруг стала выглядеть непривычно, нажмите V, 1.

Выделение

Почти каждая команда начинается с вопроса «к чему её применить», и отвечают на него выделением.

Под курсором элемент подсвечивается зелёным. Это ещё не выделение, а подсказка: щёлкнете сейчас — выберете именно его. Выделенный элемент окрашен светло-голубым (рис. 2.11).

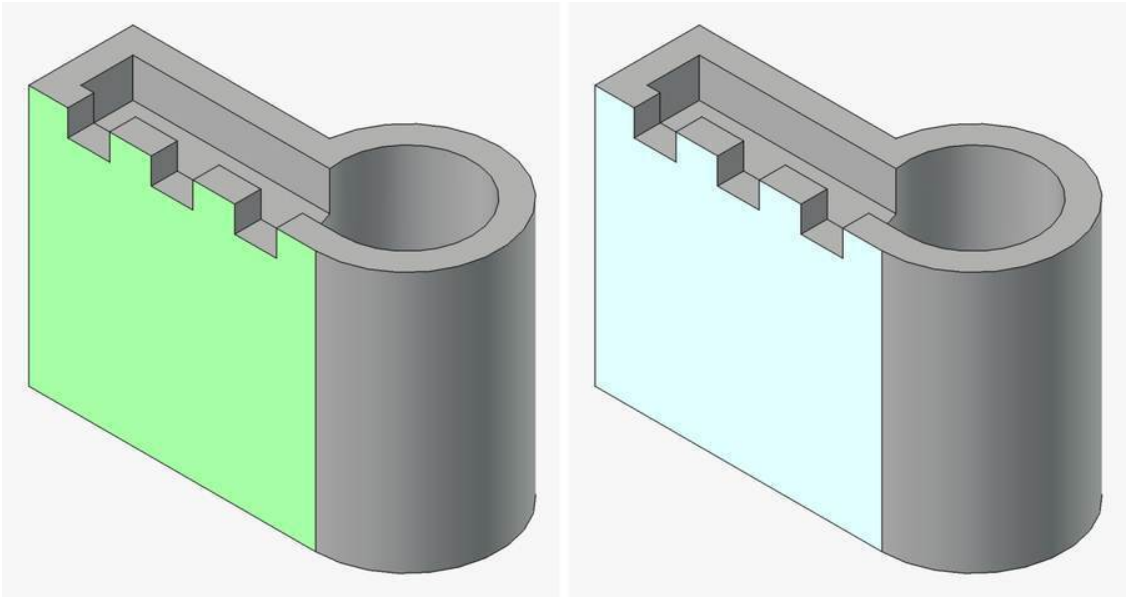


Рис. 2.11 — Грань под курсором (слева) и выделенная грань (справа)

Действие	Результат
Щелчок по грани, ребру или вершине	Выделен этот элемент, прежнее выделение снято
Ctrl+щелчок	Элемент добавлен к выделению; по уже выделенному — убран из него
Двойной щелчок по модели	Выделен объект целиком
Щелчок по строке дерева	Выделен объект целиком
Щелчок по пустому месту	Выделение снято

Обратите внимание на разницу. В 3D-виде вы выбираете **элемент** — грань, ребро, вершину. В дереве — **объект** целиком. Командам нужно то одно, то другое: скругление применяют к рёбрам, а видимость переключают у объекта.

Рамкой, как в графических редакторах, просто так не выделить: протяжка левой кнопкой по 3D-виду рамку не создаёт, выделится только то, над чем вы отпустили кнопку. Для рамки есть две команды. После «Правка → Выделить область» (Box Selection; Shift+B) протяжка левой кнопкой выбирает объекты, попавшие в рамку, после «Правка → Область выбора элементов» (Box Element Selection; Shift+E) — их грани.

Когда щелчок попадает не туда

Фильтр выделения (Selection Filter). На панели «Вид» есть выпадающая кнопка «Фильтр выделения». В ней четыре режима: «Выбор вершин» (X, S), «Выбор рёбер» (E, S), «Выбор граней» (F, S) и «Нет фильтров» (C, S). С фильтром «Выбор рёбер» щелчок по середине грани не выбирает ничего, а по ребру — выбирает ребро. Закончив, верните «Нет фильтров»: забытый фильтр выглядит как «программа перестала выделять».

«Уточнить выбор» (Clarify Selection). Нужная грань бывает закрыта другой, и поворачивать модель ради одного щелчка не хочется. Наведите курсор на место, где она находится, и нажмите G, G. Откроется меню со всем, что лежит под курсором на любой глубине (рис. 2.12).

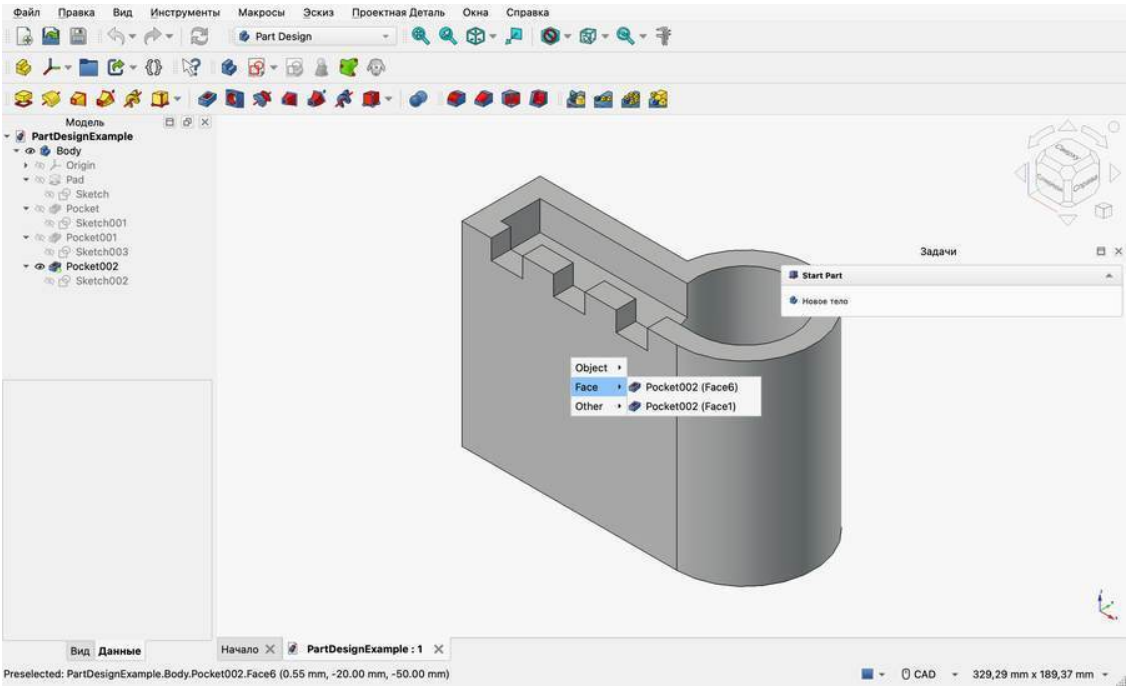


Рис. 2.12 — Меню «Уточнить выбор»: под курсором две грани — передняя и скрытая за ней задняя

На рисунке курсор стоит над передней гранью. В группе Face две строки: Pocket002 (Face6) — передняя грань, и Pocket002 (Face1) — задняя, которую отсюда не видно. Щелчок по строке выделяет её элемент. Названия групп — Object, Face, Other — не переведены.

То же меню открывают ещё двумя способами: правой кнопкой по модели, первая строка «Уточнить выбор», и долгим нажатием левой кнопки — держите её секунду, не двигая мышь. Команда появилась в 1.1.

Почему так

Почему верстаки, а не одна панель со всем. Девятьсот кнопок на экране бесполезны: нужную не найти. Верстак показывает только то, что относится к текущему занятию. Цена этого решения — привычка, которую придётся выработать: не видя нужной кнопки, первым делом смотреть в список верстаков.

Почему дерево важнее 3D-вида. Картинка показывает результат, а дерево — то, как он получен. Править модель вы будете через дерево: находить операцию, открывать её, менять параметр. Картинка при этом пересчитается сама. Тот, кто смотрит только в 3D-вид, быстро перестаёт понимать собственную модель.

Почему стоит читать строку состояния. FreeCAD редко открывает окна с сообщениями. О том, чего ждёт инструмент и что вы выбрали, он пишет внизу мелким шрифтом. Большая часть вопросов «почему ничего не происходит» снимается одним взглядом туда.

Почему ортогональная проекция. Инженерная модель — это размеры. В ортогональной проекции равные отрезки выглядят равными, а параллельные линии — параллельными, поэтому ошибку в эскизе видно глазом. Перспектива нужна для красивой картинки, и включают её в самом конце.

Почему G, G, а не вращение. Повернуть модель, выбрать, вернуть ракурс — три действия, и после них вы уже не помните, как модель стояла. «Уточнить выбор» оставляет вид

на месте. В сборке, где детали закрывают друг друга, так добираться до нужной грани проще всего.

Типичные ошибки

Модель пропала. Признак: 3D-вид пуст, хотя в дереве всё на месте. Нажмите 0, затем V, F. Если не помогло, посмотрите в дереве на значок глаза у тела: возможно, тело скрыто — выделите его и нажмите пробел.

Деталь выглядит недоделанной. Признак: пропали вырезы или отверстия. В дереве открыт глаз не у последней операции. Выделите последнюю операцию тела и нажмите пробел.

Кнопки на панелях серые. Признак: недоступны почти все команды верстака. В панели «Задачи» осталась открытая команда. Закончите её кнопкой «OK» или «Отмена».

Нет нужных кнопок или меню. Признак: на панелях не то, что на рисунке в книге. Включён другой верстак — проверьте список.

Щелчок ничего не выделяет. Признак: щелчок по грани не выделяет ничего, хотя рёбра или вершины выделяются. Включён фильтр выделения. Нажмите C, S.

Вид завалился набок. Признак: вертикальные рёбра стоят наклонно. Нажмите 0 или щёлкните по любой грани навигационного куба. Если это повторяется, смените стиль вращения на «Поворотный стол».

Модель не вращается. Признак: средняя кнопка двигает вид, а повернуть не получается. Вы нажимаете кнопки не в том порядке: сначала средняя, потом левая. Если средней кнопки нет, поворачивайте с Shift+ПКМ или перейдите на стиль Touchpad.

Модель нарисована линиями. Признак: грани исчезли, остались рёбра. Включён стиль отрисовки «Каркас». Нажмите V, 1.

Дальние части детали кажутся меньше ближних. Включена перспектива. Нажмите V, O.

Пропала панель «Модель» или «Задачи». Откройте «Вид → Панели» и поставьте флажок у нужной.

Упражнения

1. **Измерения без инструмента.** Выделяя элементы детали, найдите по строке состояния: радиус цилиндрической части (35,00 mm), радиус отверстия (25,00 mm), длину вертикального ребра пластины (100,00 mm). Затем выделите переднюю грань, поверните модель и с Ctrl добавьте противоположную заднюю. Строка состояния должна показать толщину пластины: Номинальное расстояние: 40,00 mm.

2. **Грань, которой не видно.** Верните вид клавишей 0 и снимите выделение. Не вращая модель, выделите заднюю грань пластины через «Уточнить выбор». Проверьте себя по строке состояния: у задней грани Площадь: 75,36 cm^2, у передней было 105,20.

3. **История детали.** Переключая видимость операций в дереве, выясните, какая из них делает три паза в передней стенке и какая — отверстие. Верните видимость последней операции.

4. **Вид в лоб.** Из изометрии выделите верхний торец цилиндрической части и вызовите «Выровнять по выделенному». Вернитесь в изометрию и сделайте то же с передней гранью. Каким стандартным видам соответствуют оба результата? Проверьте клавишами 1–6.

5. **Свой стиль.** Смените стиль вращения на «Поворотный стол», покрутите модель минуту и решите, какой вам удобнее. Если вы работаете на ноутбуке без мыши, проделайте шаги раздела «Навигация мышью» в стиле Touchpad.

Глава 3. Первая деталь за двадцать минут

Версия программы: FreeCAD 1.1.4.

В этой главе вы построите первую деталь тисков — заготовку гайки-вкладыша: брусок 20 × 20 × 12 мм со сквозным отверстием Ø10,6 мм (рис. 3.1). Резьбу в отверстии мы нарежем в главе 9. Сейчас важна не гайка, а путь: тело, эскиз, операция, ещё эскиз, ещё операция, сохранение. Этим путём строится любая деталь в Part Design. Потом вы поменяете размеры готовой детали и увидите, что значит слово «параметрическая», а в конце разберётесь, что лежит в файле FCStd и откуда берутся резервные копии.

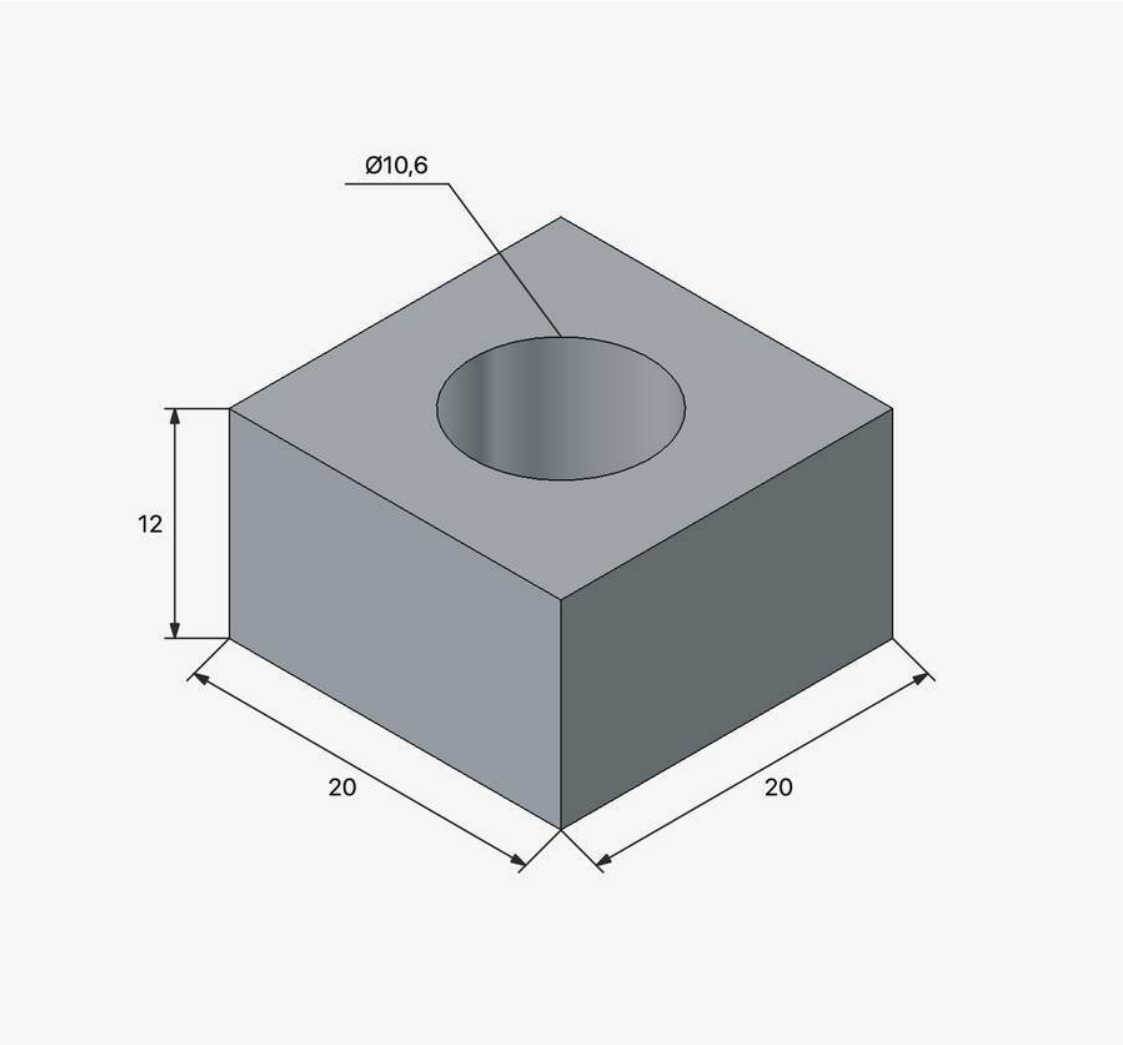


Рис. 3.1 — Заготовка гайки-вкладыша

Все размеры в книге даны в миллиметрах. В полях ввода набирайте только число: mm программа допишет сама.

Шаг 1. Документ и тело

Запустите FreeCAD и на начальной странице в разделе «Новый файл» щёлкните карточку «Параметрическая деталь» (Parametric Body).

Программа сделала сразу три вещи: создала документ «Безымянный», включила верстак Part Design и создала в документе тело — строку «Тело» в дереве (рис. 3.2).

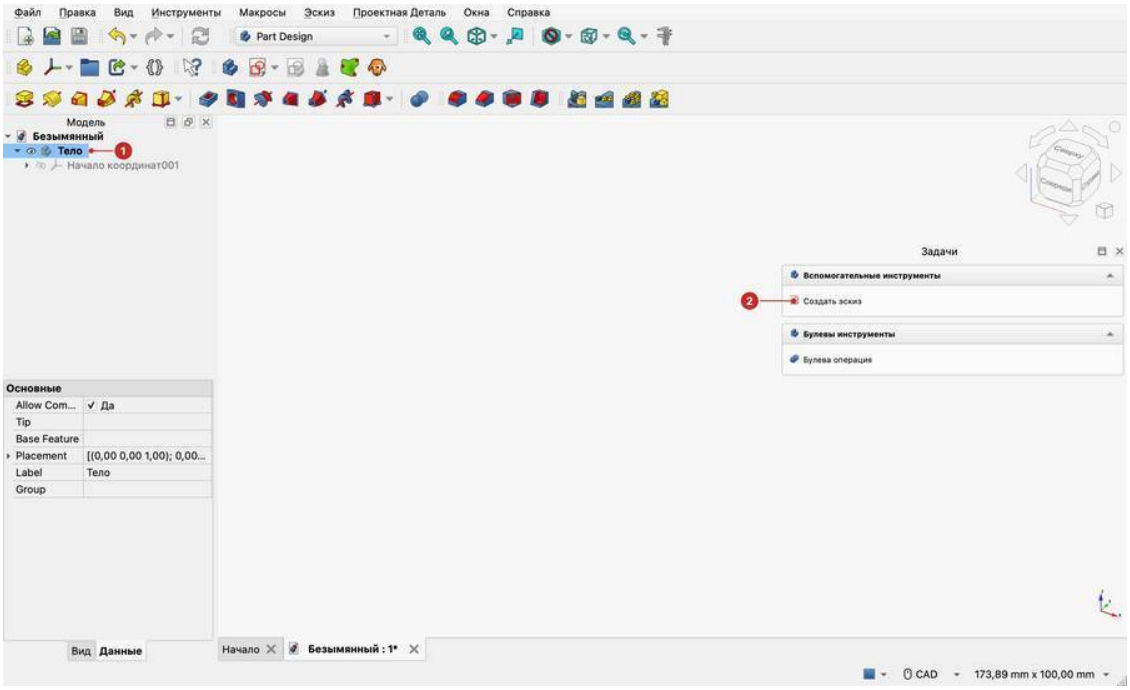


Рис. 3.2 — Новый документ: 1 — тело, 2 — команда «Создать эскиз»

Тело (Body) — контейнер одной детали. В него по порядку складываются эскизы и операции, а наружу оно выдаёт одну форму: результат последней операции. Строка «Тело» написана жирным — тело активно, новые операции попадут в него.

Внутри тела лежит «Начало координат001»: начало координат с тремя осями, тремя плоскостями и точкой. Хвост 001 к названию приписала сама программа. На одну из этих плоскостей мы положим первый эскиз.

Если начальная страница закрыта, то же делается вручную: «Файл → Создать» (Ctrl+N), затем «Проектная Деталь → Новое тело» (New Body). Только не делайте и то и другое: после карточки тело уже есть.

Шаг 2. Эскиз квадрата

Эскиз (Sketch) — плоский чертёж, из которого операция делает объём. У нашей детали в основании квадрат 20 × 20.

1. В панели «Задачи» щёлкните «Создать эскиз» (New Sketch). Та же команда есть на панели инструментов и в меню «Эскиз».

2. Панель «Задачи» просит: «Выберите место прикрепления», а в 3D-виде появились три цветные плоскости (рис. 3.3). Наведите курсор на нижнюю, горизонтальную: она станет крупнее, а в строке состояния появится …XY_Plane. Щёлкните по ней. Если попасть трудно, щёлкните строку «Плоскость XY (Базовая плоскость)» в списке и нажмите «OK».

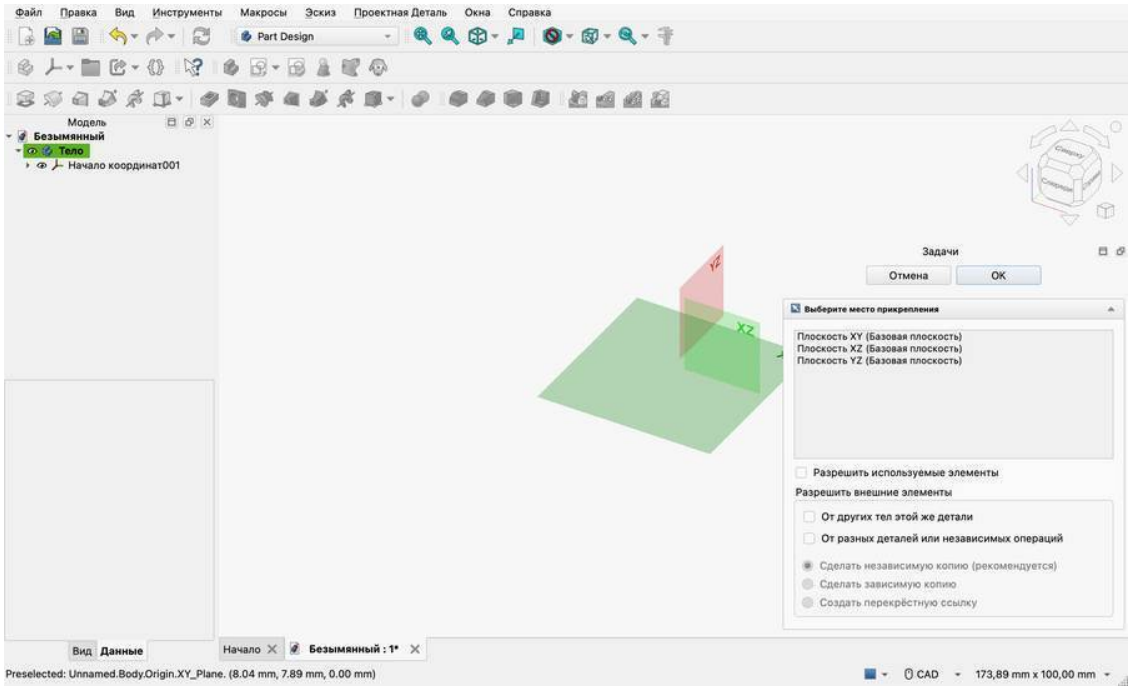


Рис. 3.3 — Выбор плоскости эскиза: курсор стоит над плоскостью XY

3. Эскиз открылся, и окно изменилось. Вид повернулся — на навигационном кубе написано «Сверху». В списке верстаков стоит Sketcher, панели инструментов сменились. В дереве появилась строка Sketch, а в панели «Задачи» под заголовком «Редактирование эскиза» написано «Пустой эскиз». Красная горизонтальная линия — ось X, зелёная вертикальная — ось Y, точка их пересечения — начало координат.

4. Нажмите G, затем V. Это команда «Центрированный прямоугольник» (Centered Rectangle). Мышью: на панели «Геометрия» раскройте стрелкой список у кнопки «Прямоугольник» и выберите вторую строку. В строке состояния появилась подсказка «укажите центр».

5. Подведите курсор к пересечению осей. Рядом с курсором идут его координаты; когда они покажут (0,00 mm, 0,00 mm), щёлкните.

6. Отведите мышь в сторону и больше не щёлкайте. За курсором тянется прямоугольник, у его сторон стоят два поля с размерами. Наберите 20 и нажмите Enter: в поле появился замок, размер закреплён, ввод перешёл во второе поле. Снова наберите 20 (рис. 3.4) и нажмите Enter.

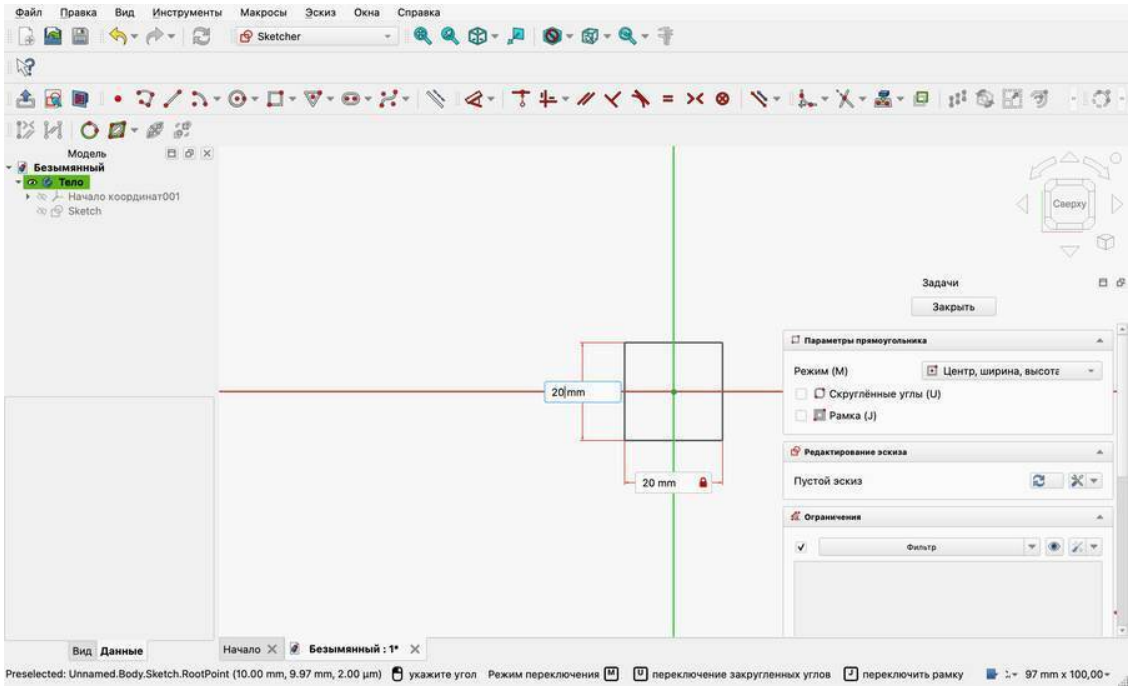


Рис. 3.4 — Размеры вводят в поля у курсора: ширина закреплена, высота набрана

7. Квадрат готов, но инструмент не выключился: программа ждёт центр следующего прямоугольника. Нажмите Esc — один раз.

8. Сверьтесь с рис. 3.5: линии зелёные, в панели «Задачи» написано «Полностью ограничен» (Fully constrained).

9. Нажмите «Закрыть» в панели «Задачи».

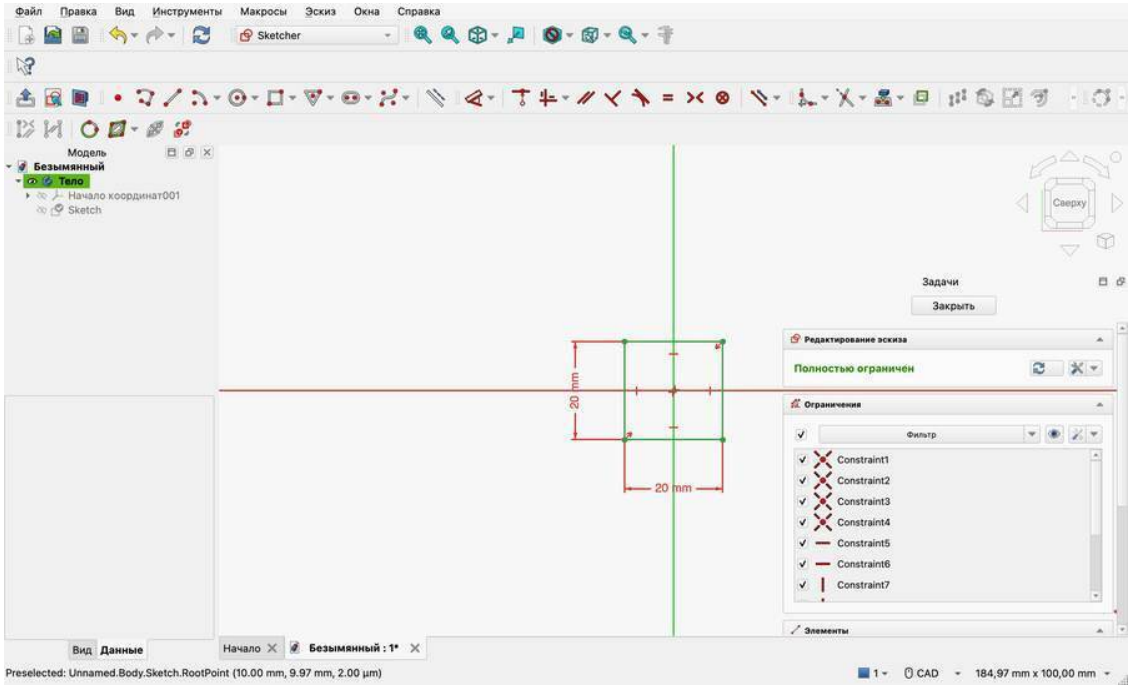


Рис. 3.5 — Готовый эскиз: «Полностью ограничен»

«Полностью ограничен» значит, что в эскизе нечему сдвинуться. Размеры заданы двумя числами 20 mm, центр привязан к началу координат. Красные значки на линиях — **ограниче-**

ния (Constraints), которые программа поставила сама: стороны горизонтальны и вертикальны, углы сомкнуты, квадрат симметричен относительно центра. Всего их двенадцать, они перечислены в панели «Задачи». Ограничениям посвящены главы 4 и 5; пока достаточно правила: эскиз закрывают, когда он зелёный.

После «Закрыть» вернулись прежний вид и верстак Part Design, а строка Sketch в дереве осталась выделенной. Это удобно: следующей команде нужен именно эскиз.

Шаг 3. Выдавливание

1. В панели «Задачи» теперь раздел «Инструменты моделирования». Щёлкните в нём «Выдавливание» (Pad).

2. Панель показывает «Параметры выдавливания», а в 3D-виде стоит полупрозрачная зелёная заготовка со стрелкой (рис. 3.6). Это предпросмотр: так будет выглядеть результат. Если заготовка мелкая, приблизьте её колесом мыши.

3. В поле «Длина» наберите 12 и нажмите Tab. Значение принимается, когда курсор покидает поле, — предпросмотр вытянется до 12 мм.

4. Остальное оставьте как есть: «Режим» — «Одно направление», «Тип» — «Размер». Нажмите «OK».

5. Нажмите V, F.

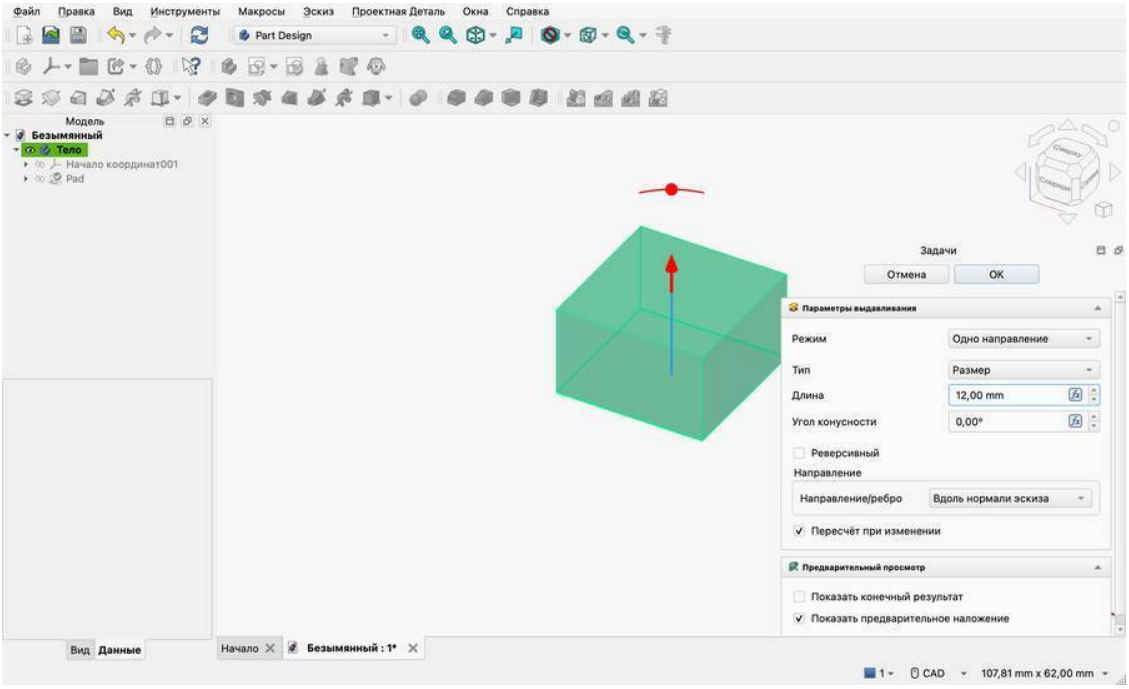


Рис. 3.6 — Выдавливание: параметры в панели «Задачи», предпросмотр в 3D-виде

Перед вами серый брусок. В дереве появилась операция Pad, а эскиз ушёл внутрь неё: разверните Pad стрелкой слева и увидите Sketch.

В панели остались два списка, которые мы не трогали. «Режим» отвечает на вопрос, в какую сторону от эскиза растёт материал: в одну, в две или симметрично в обе. «Тип» — до каких пор: на заданный размер или до грани, которая в детали уже есть. К ним мы вернёмся в главе 7.

Шаг 4. Отверстие

Отверстие — такой же цикл: эскиз, затем операция. Только эскиз ляжет не на плоскость, а на грань бруска, и операция не добавит материал, а уберёт.

1. Щёлкните по верхней грани бруска. Проверьте себя по строке состояния: Площадь: 4,00 cm^2.

2. В панели «Задачи» щёлкните «Создать эскиз». На этот раз программа ни о чём не спрашивает: грань выбрана, эскиз ложится на неё. Вид снова сверху.

3. Нажмите G, C — «Круг из центра» (Circle From Center); на панели «Геометрия» это кнопка с окружностью. Подсказка в строке состояния: «укажите центр круга».

4. Щёлкните в начале координат. Оно в центре грани, потому что квадрат мы строили от центра.

5. Отведите мышь, наберите 10,6 и нажмите Enter. Поле здесь одно — диаметр. Точку вместо запятой программа тоже поймёт.

6. Нажмите Esc. Окружность зелёная, эскиз «Полностью ограничен» (рис. 3.7).

7. Нажмите «Закрыть».

8. В панели «Задачи» щёлкните «Вырезание» (Pocket).

9. В списке «Тип» выберите «Насквозь» (Through all). Красный предпросмотр протянется сквозь всю деталь (рис. 3.8). Нажмите «OK».

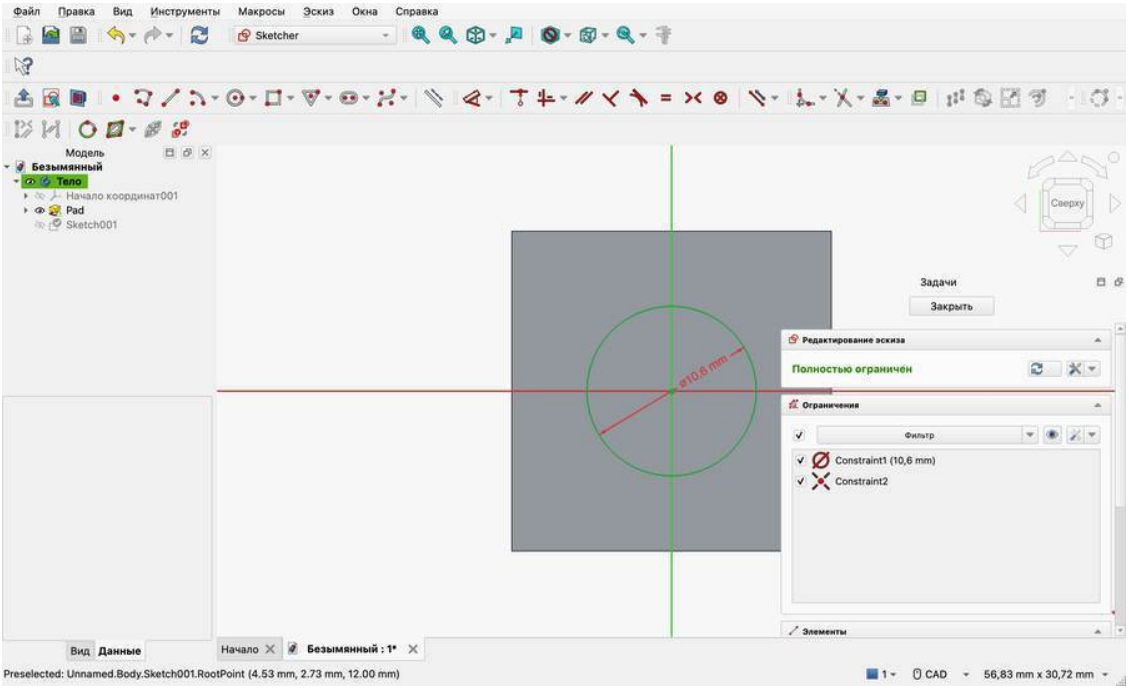


Рис. 3.7 — Эскиз отверстия на верхней грани бруска

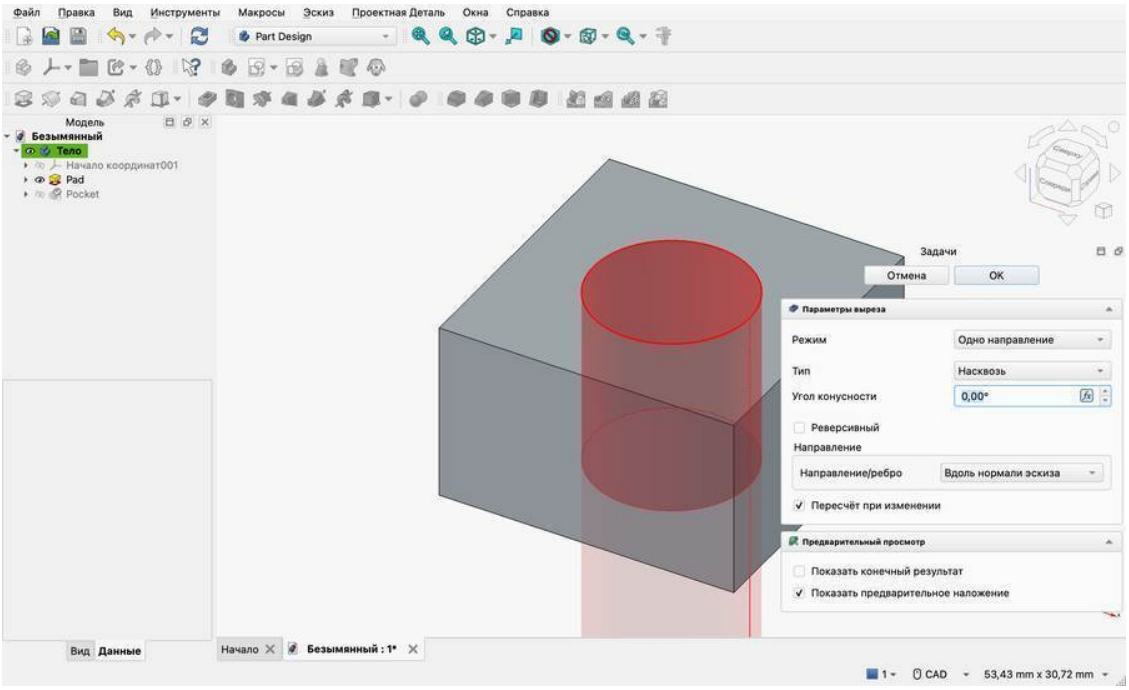


Рис. 3.8 — Вырезание с типом «Насквозь»

Деталь готова. Проверьте её тем же способом, что в главе 2, — выделяя элементы и читая строку состояния.

Что выделить	Что покажет строка состояния
Верхнюю грань	`Площадь: 3,12 cm^2`
Кромку отверстия	`Диаметр: 10,60 mm`
Вертикальное ребро	`Длина: 12,00 mm`
Ребро верхней грани	`Длина: 20,00 mm`

Шаг 5. Имя и сохранение

1. Щёлкните правой кнопкой по строке «Тело», выберите «Переименовать», наберите Гайка и нажмите Enter.

2. Нажмите Ctrl+S («Файл → Сохранить»). Откроется окно «Сохранение документа FreeCAD», тип файла — «FreeCAD Документ (*.FCStd)». Создайте для деталей тисков папку vise и сохраните в неё документ под именем nut.

Имена файлов и папок в книге латинские. FreeCAD 1.1.4 кириллицу в имени файла понимает, но детали пойдут дальше — в слайсер, в программу станка, к другому человеку, — и путь без кириллицы и пробелов нигде не подведёт. На названия в дереве это не распространяется: тело спокойно называется «Гайка».

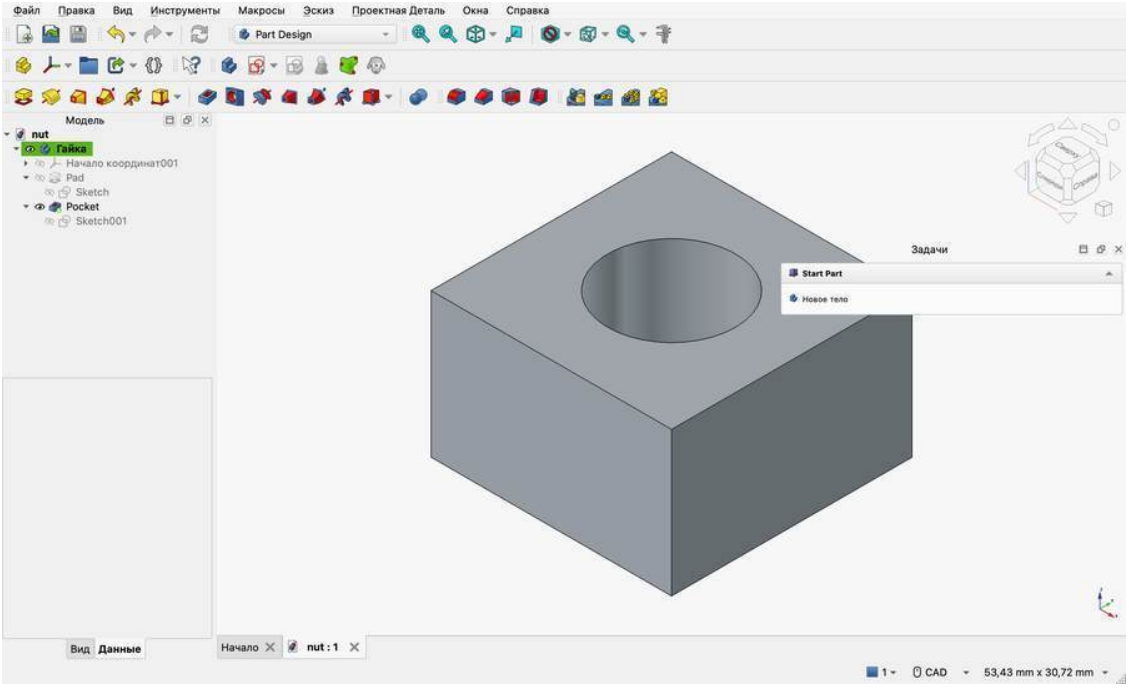


Рис. 3.9 — Готовая деталь: документ сохранён, ветки операций развёрнуты

Что получилось в дереве

Разверните Pad и Pocket и сравните с рис. 3.9.

• Документ теперь называется nut — по имени файла. Так же подписана вкладка.

• В теле «Гайка» две операции в порядке выполнения: Pad и Pocket. Под каждой лежит её эскиз: Sketch и Sketch001.

• Виден только Pocket: как вы помните из главы 2, тело показывает один этап, и последний — это готовая деталь.

• На значке Pocket стоит маленькая зелёная стрелка. Она отмечает операцию, после которой встанет следующая.

• Названия Sketch, Pad, Pocket программа даёт по-английски даже в русском интерфейсе, а «Тело» и «Начало координат» — по-русски. Любую строку можно переименовать так же, как тело. В детали из двух операций это лишнее, в детали из тридцати — необходимость.

Меняем размеры

Вы сохранили файл, так что можно экспериментировать.

1. Дважды щёлкните в дереве по Pad. Откроется знакомая панель «Параметры выдавливания». Наберите в поле «Длина» 16, нажмите Tab и «OK». Брусок стал выше, а отверстие осталось сквозным.

2. Дважды щёлкните по Sketch — открылся эскиз квадрата.

3. Дважды щёлкните по размеру 20 mm под квадратом. В окне «Введите длину» (рис. 3.10) наберите 24 и нажмите «OK». Квадрат вытянулся в обе стороны от центра, эскиз по-прежнему «Полностью ограничен».

4. Нажмите «Закрыть».

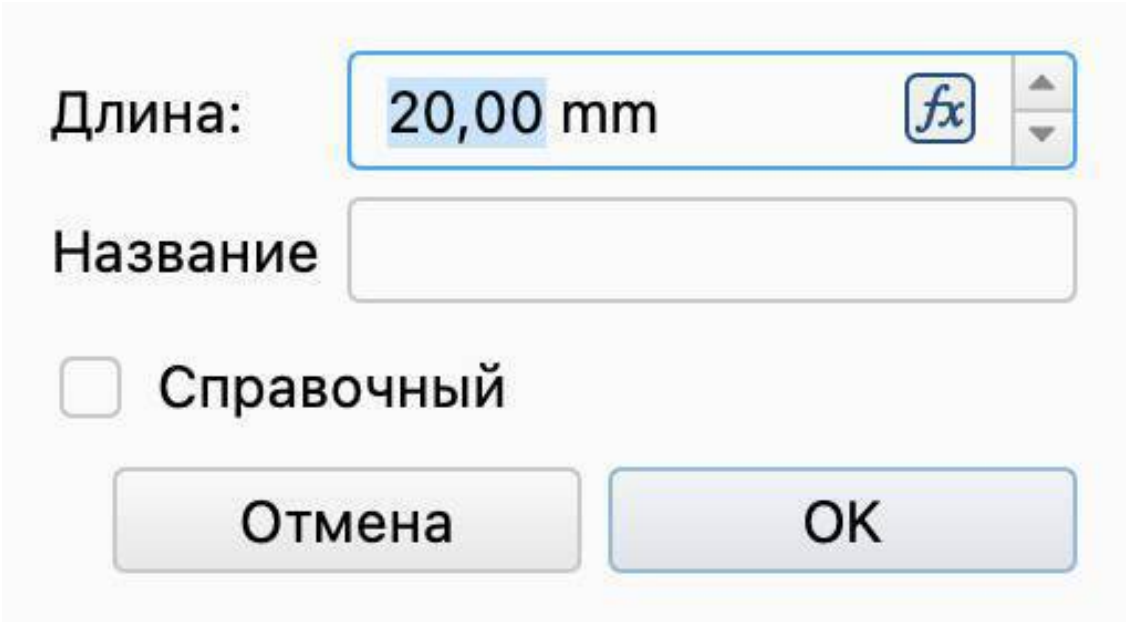


Рис. 3.10 — Окно «Введите длину»

Деталь теперь 24 × 20 × 16, отверстие по-прежнему сквозное и по-прежнему в центре (рис. 3.11). Вы поменяли два числа, остальное программа перестроила сама.

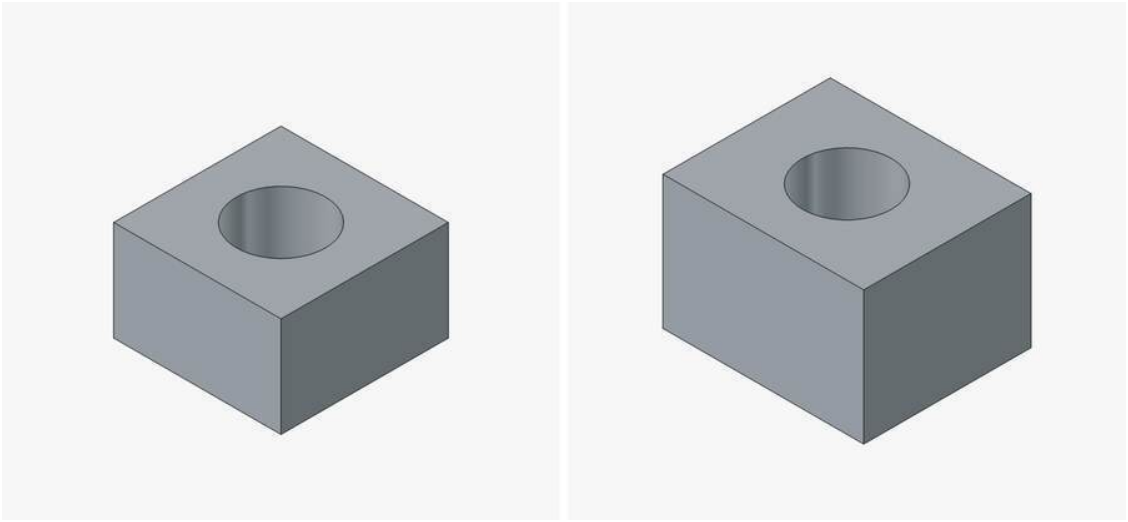


Рис. 3.11 — Деталь до и после правки двух размеров

Верните деталь к сохранённому виду: «Файл → Откатить» (Revert). Программа предупредит: «Это отменит все изменения, сделанные с момента последнего сохранения файла». Ответьте «Да». Деталь снова 20 × 20 × 12.

После отката строка «Гайка» уже не жирная: тело не активно. Так же оно выглядит в только что открытом файле. Работе это не мешает: править операции можно и так, а когда вы создаёте эскиз, программа активирует тело сама.

Как это устроено: параметры и пересчёт

FreeCAD хранит деталь не как форму, а как цепочку действий:
плоскость XY → Sketch → Pad → верхняя грань → Sketch001 → Pocket

У каждого звена свои **параметры**: у Sketch — два размера по 20 мм, у Pad — длина 12 мм, у Sketch001 — диаметр 10,6 мм, у Pocket — тип «Насквозь». Форма детали нигде не задана отдельно — она получается, когда программа проходит цепочку от начала до конца. Этот проход называется **пересчётом** (Recompute).

Когда вы поменяли длину Pad, пересчитались Pad и всё, что стоит после него: эскиз отверстия переехал вместе с верхней гранью на новую высоту, а вырез снова прошёл деталь насквозь. Когда поменяли квадрат — пересчиталась вся цепочка. Такая модель и называется **параметрической**.

Пересчёт запускается сам: когда вы нажимаете «OK» в панели «Задачи», закрываете эскиз или меняете значение на вкладке «Данные» редактора свойств. Вручную его вызывает команда «Пересчитать» (Recompute; Ctrl+R) на панели инструментов. Внутри одного файла она нужна редко: если на значке объекта в дереве появилась галочка, объект изменён, но ещё не пересчитан — нажмите Ctrl+R. О связанных файлах — в главе 13.

Параметры видны не только в панели «Задачи». Щёлкните в дереве по Pad и откройте в редакторе свойств вкладку «Данные»: в группе Side1 стоит Length со значением 12,00 mm. Это то же самое число. Его можно править и здесь: щёлкните по значению, наберите новое и нажмите Enter — деталь перестроится сразу. Панель «Задачи» удобнее тем, что показывает предпросмотр; редактор свойств быстрее, когда нужно поменять одно число.

Из этого устройства следуют три вещи, которые стоит запомнить сейчас.

Править нужно параметр, а не результат. Нельзя «потянуть за грань», чтобы брусок стал выше. Нужно найти в дереве операцию, от которой зависит высота, и поменять её длину.

Порядок в дереве — это порядок построения. Pocket стоит после Pad и вырезает из того, что Pad создал. Переставить их нельзя: вырезать было бы не из чего.

Звенья держатся друг за друга. Sketch001 прикреплён к верхней грани бруска. Пока грань на месте, всё хорошо. В сложной детали такая связь может потеряться; как строить модели, которые не разваливаются при правке, — тема главы 12.

Последнее действие отменяет Ctrl+Z («Правка → Отменить»). Программа помнит двадцать шагов; это число задаётся в настройках. Шаг здесь — не обязательно одно ваше действие: правка эскиза, например, записывается двумя шагами, изменением размера и пересчётом. Поэтому после отмены смотрите на модель, а не считайте нажатия.

Файл FCStd и резервные копии

Документ FreeCAD хранится в файле с расширением **FCStd**. Один документ — один файл; в нём может быть сколько угодно тел, но детали тисков мы держим в отдельных файлах: так их проще собирать в главе 15.

Внутри FCStd — обычный архив ZIP. В файле nut.FCStd 42 записи, главные из них:

• Document.xml — все объекты и их параметры: та самая цепочка;

• GuiDocument.xml — как объекты показаны: видимость, цвета, положение камеры;

• файлы .brp — готовые формы каждого звена, чтобы при открытии не пересчитывать всё заново;

• thumbnails/Thumbnail.png — картинка 256 × 256 для начальной страницы.

Знать это полезно по двум причинам. Файл можно открыть любым архиватором и достать из него, например, картинку-миниатюру. И становится понятно, почему файл растёт вместе с деревом: в нём лежит форма каждого звена, а не только готовая деталь.

Резервная копия. Когда вы сохраняете документ повторно, прежняя версия файла не стирается, а переименовывается: рядом с nut.FCStd появляется nut.20261116-225810.FCBak — дата и время в имени, расширение FCBak. Копия хранится одна: при следующем сохране-

нии её сменит новая. Чтобы вернуться к копии, скопируйте её, дайте расширение .FCStd и откройте.

Данные для восстановления. Каждые 15 минут программа записывает сведения, по которым восстановит несохранённую работу после сбоя. В русских настройках этот пункт назван «Автосохранение», но ваш файл при этом не сохраняется — в оригинале он называется Save auto-recovery information. Сохранять файл нужно самому. Как выглядит восстановление после сбоя, показано в главе 22.

Всё это настраивается в «Правка → Настройки → Основные → Документ» (рис. 3.12). Число резервных копий там можно увеличить, остальное трогать незачем.

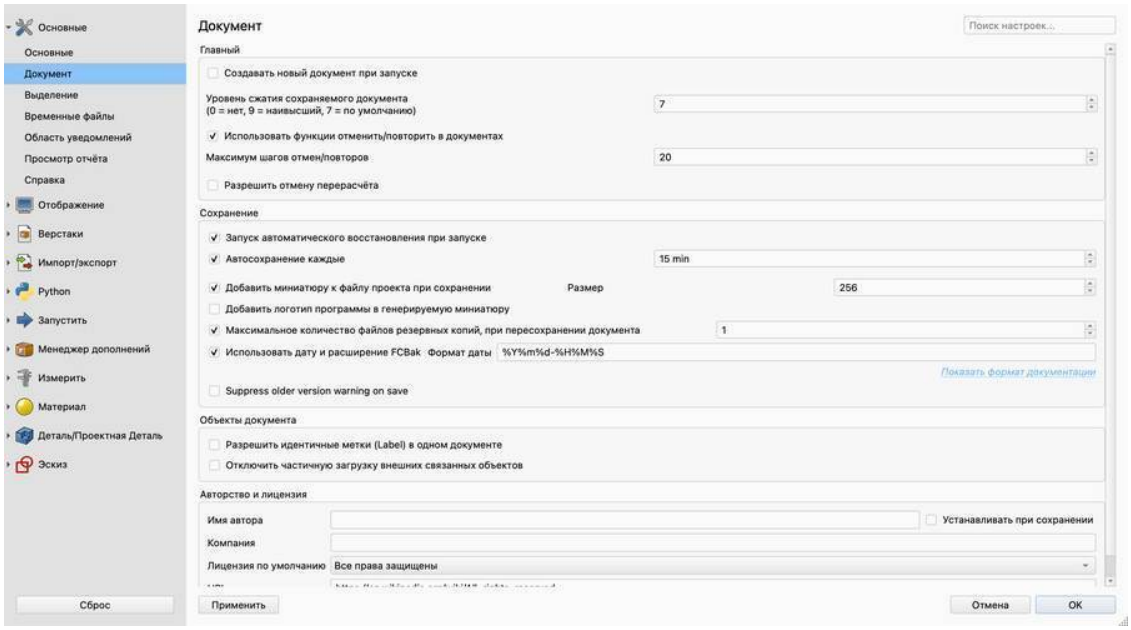


Рис. 3.12 — Настройки сохранения документа

Рядом с «Сохранить» в меню «Файл» стоят ещё четыре команды. «Сохранить как…» (Ctrl+Shift+S) сохраняет документ под новым именем и дальше работает с ним. «Сохранить копию» записывает копию, а открытым оставляет прежний файл. «Сохранить всё» записывает все открытые документы. «Откатить» вы уже пробовали.

И напоминание из главы 1: файл, сохранённый в 1.1, в версии 1.0 и старше откроется с ошибками. Назад файлы не переносятся.

Почему так

Почему квадрат построен от центра. Начало координат — единственная точка, которая есть в детали до первого эскиза и никуда не денется. Привязав к ней центр, мы получили деталь, симметричную относительно двух плоскостей, и отверстие встало в центр без единого размера. Когда вы растянули квадрат до 24 мм, отверстие осталось посередине именно поэтому.

Почему размеры набраны, а не указаны мышью. Щелчок мышью задаёт форму на глаз и не оставляет в эскизе чисел. Число, набранное в поле у курсора, становится размером: его видно, его можно открыть и изменить. Эскиз без размеров — это рисунок, а не чертёж.

Почему «Насквозь», а не глубина 12. Оба варианта дали бы сегодня одну и ту же деталь. Разница проявилась, когда брусок стал 16 мм: вырез с типом «Насквозь» остался сквозным, а вырез глубиной 12 превратился бы в глухое отверстие с дном в 4 мм. Выбирая тип, вы

записываете в модель не число, а намерение. Это главный навык параметрического моделирования, и к нему мы будем возвращаться всю книгу.

Почему два эскиза, а не один. Квадрат и окружность можно начертить в одном эскизе, и одно выдавливание сразу даст брусок с отверстием. Операций вдвое меньше, деталь та же. Но отверстие тогда нельзя ни убрать, ни изменить отдельно от бруска, а в главе 9 нам понадобится работать именно с ним. Правило простое: что меняется вместе — в один эскиз, что живёт своей жизнью — в отдельную операцию.

Почему сначала «Сохранить», потом эксперименты. Команда «Откатить» возвращает к последнему сохранению одним щелчком. Отмена через Ctrl+Z помнит двадцать шагов и забывает их при закрытии документа.

Типичные ошибки

В дереве два тела. Признак: кроме «Тело» есть «Тело001», и жирным написано оно. Вы нажали «Новое тело» после карточки «Параметрическая деталь». Сразу нажмите Ctrl+Z: лишнее тело исчезнет. Оставшееся «Тело» при этом уже не жирное — это не страшно, программа активирует его сама, когда вы создадите эскиз.

Прямоугольник не заканчивается. Признак: после второго Enter поля с размерами остались на месте. Так бывает, если вы перешли во второе поле клавишей Tab, выждав пару секунд после набора: Tab тогда переключает поле, но не закрепляет размер. Нажмите Enter ещё раз.

Эскиз не зелёный. Признак: линии тёмные, в панели «Задачи» вместо «Полностью ограничен» написано «Недостаточно ограничен: 2 Степени свободы». Вы указали размер щелчком мыши вместо ввода числа. Нажмите Ctrl+Z и повторите шаг, набирая размеры с клавиатуры. Как доопределить эскиз, не перерисовывая, — в главе 5.

Эскиз закрылся сам. Признак: вы нажали Esc дважды и оказались в 3D-виде. Первый Esc выключает инструмент, второй закрывает эскиз. Дважды щёлкните по эскизу в дереве — он откроется снова.

Предпросмотр не меняется. Признак: вы набрали в поле «Длина» новое число, а заготовка в 3D-виде прежняя. Курсор ещё в поле. Нажмите Tab.

Отверстие стало глухим. Признак: у отверстия есть дно — сразу или после увеличения толщины. В вырезе остался тип «Размер» с глубиной по умолчанию 5 мм или с вашим старым числом. Дважды щёлкните по Pocket и выберите «Насквозь».

«Требуется плоская грань в качестве опорной для эскиза!» Вы выделили стенку отверстия или другую кривую грань и вызвали «Создать эскиз». Эскиз кладут только на плоскость. Закройте сообщение и выделите плоскую грань.

Заготовка крошечная или её не видно. Нажмите V, F.

При закрытии программа спрашивает о сохранении. «Сохранить все изменения в документе 'nut' перед закрытием?» — «Сохранить» записывает файл, «Не сохранять» закрывает документ и теряет изменения, «Отмена» оставляет всё как было.

Упражнения

1. **Другой диаметр.** Откройте Sketch001 двойным щелчком, дважды щёлкните по размеру диаметра и задайте 8 мм. Закройте эскиз и проверьте по строке состояния верхнюю грань: Площадь: 3,50 cm^2. Верните сохранённый вид командой «Откатить».

2. **Одним эскизом.** Создайте новую деталь и постройте такую же заготовку короче: в одном эскизе начертите и квадрат, и окружность, затем один раз выдавите на 12 мм. Проверьте

верхнюю грань — те же 3,12 cm^2. Сравните деревья двух документов. Этот документ сохранять не нужно.

3. **Резервная копия.** В nut.FCStd измените длину выдавливания на 14 и сохраните. Найдите в папке vise файл с расширением FCBak, скопируйте его, дайте копии имя nut-old.FCStd и откройте. Какой длины вертикальное ребро в ней? Затем закройте её, верните в nut.FCStd длину 12 и сохраните: в следующих главах гайка нужна именно такой.

Часть II. Эскизы

Глава 4. Геометрия и ограничения

Версия программы: FreeCAD 1.1.4.

В этой главе вы начертите боковой профиль основания тисков — самой большой детали проекта (рис. 4.1). Пока без размеров: только форму. По дороге вы познакомитесь с инструментами рисования, научитесь ставить ограничения и считать степени свободы — число, по которому в любую секунду видно, сколько в эскизе ещё не решено. Размеры профиль получит в главе 5, а объём — в главе 7.

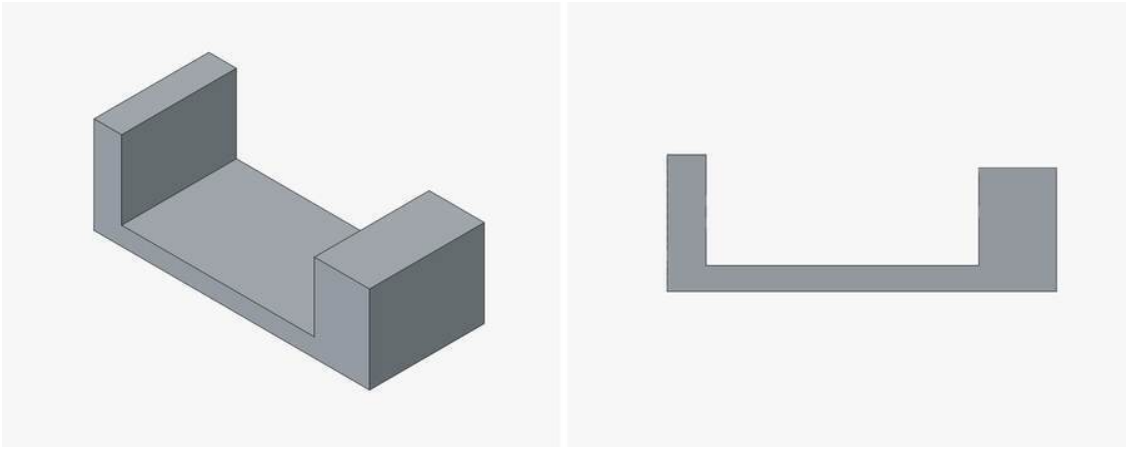


Рис. 4.1 — Заготовка основания и её боковой профиль: контур из восьми отрезков

Подготовка

1. На начальной странице щёлкните карточку «Параметрическая деталь».
2. Переименуйте «Тело» в «Основание»: правая кнопка, «Переименовать».
3. В панели «Задачи» щёлкните «Создать эскиз». В списке выберите строку «Плоскость XZ (Базовая плоскость)» и нажмите «OK».

Плоскость XZ вертикальная: вы смотрите на будущую деталь сбоку, на кубе написано «Спереди». Плита основания ляжет вдоль оси X, губка и стойка поднимутся вдоль оси Z.

Окно эскиза

Пока эскиз открыт, работает верстак Sketcher. Где что лежит, показывает рис. 4.2 — он снят в момент, когда инструмент «Линия» ждёт вторую точку.

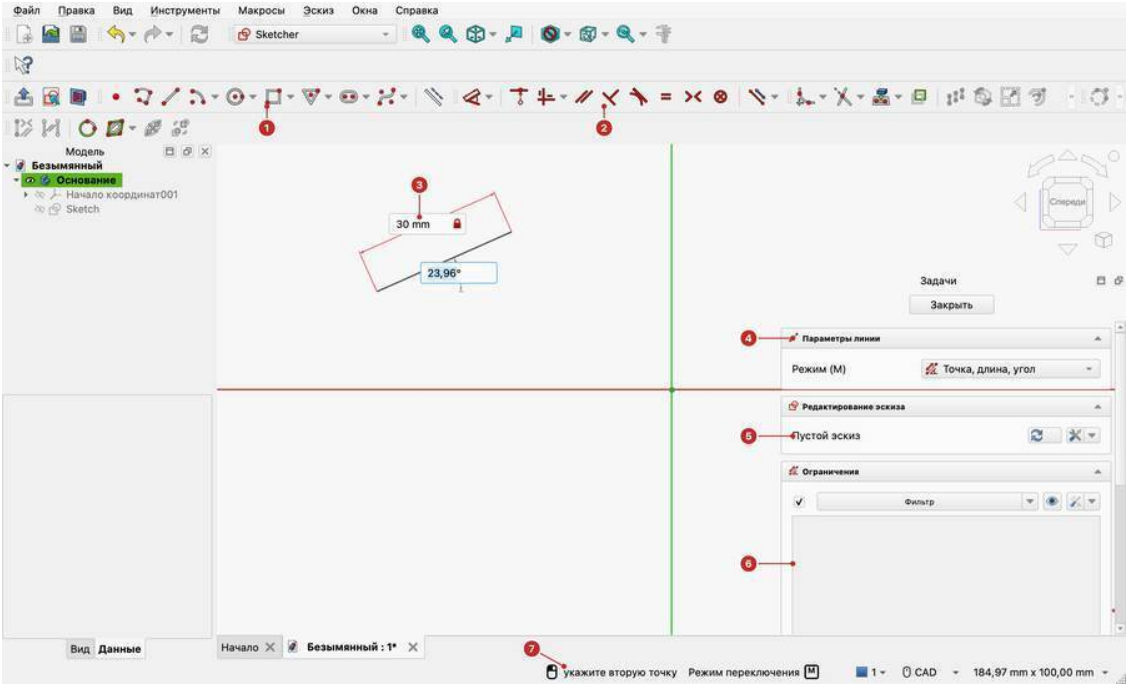


Рис. 4.2 — Окно во время рисования линии

1. Панель «Геометрия» (Geometries) — инструменты рисования (рис. 4.3).
2. Панель «Ограничения» (Constraints); её кнопки — на рис. 4.9.
3. Поля у курсора: длина уже закреплена, угол ждёт ввода.
4. Параметры текущего инструмента в панели «Задачи».
5. Сообщение решателя — главная строка в этом окне.
6. Список ограничений эскиза.
7. Подсказка в строке состояния: чего инструмент ждёт сейчас.

Инструменты рисования

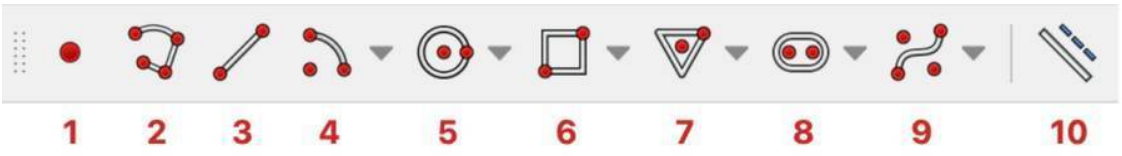


Рис. 4.3 — Панель «Геометрия»

№	Кнопка	Клавиши	Что рисует
1	Точка (Point)	G, Y	Отдельную точку
2	Полилиния (Polyline)	G, M	Цепочку отрезков, конец к началу
3	Линия (Line)	G, L	Один отрезок
4	Дуга (Arc)	G, A	Дугу из центра; в списке — по трём точкам
5	Круг из центра (Circle From Center)	G, C	Окружность; в списке — по трём точкам и эллипсы
6	Прямоугольник (Rectangle)	G, R	Прямоугольник по двум углам; в списке — центрированный (G, V) и скруглённый
7	Многоугольник (Polygon)	G, P, число сторон	Правильные многоугольники от треугольника до восьмиугольника; с любым числом сторон — G, P, R
8	Паз (Slot)	G, S	Паз с полукруглыми концами
9	B-сплайн (B-Spline)	G, B, B	Плавные кривые; в книге не понадобятся
10	Переключить ограничительную геометрию (Toggle Construction Geometry)	G, N	Не рисует, а превращает линии во вспомогательные; глава 6

Кнопки со стрелкой — это списки: щелчок по значку включает инструмент, который в списке выбран, щелчок по стрелке показывает остальные.

Работают все инструменты одинаково, и это вы уже видели в главе 3.

• **Подсказка.** После включения инструмента строка состояния говорит, чего он ждёт: «укажите первую точку», «укажите вторую точку».

• **Поля у курсора.** После первого щелчка у курсора появляются поля с размерами будущей фигуры. Набрали число, нажали Enter — в поле встал замок, а в эскизе после завершения фигуры останется размер. Щёлкнули мышью, ничего не вводя, — фигура получится «на глаз», без размеров.

• **Режим.** У многих инструментов несколько способов построения. Они собраны в списке «Режим (M)» в панели «Задачи» и переключаются клавишей M. У линии это «Точка, длина, угол», «Точка, ширина, высота» и «2 точки».

• **Инструмент не выключается сам.** Нарисовав одну фигуру, он ждёт следующую. Выключает его Esc или правая кнопка мыши.

И ещё раз о ловушке из главы 3: Esc при выключенном инструменте закрывает эскиз. Если это мешает, найдите в «Правка → Настройки → Эскиз → Основные» флажок «Клавиша Esc для выхода из режима редактирования эскиза».

Поля у курсора: четыре способа задать размер

Поля у курсора есть с версии 1.0. В настройках программы они названы «Параметры вводимые На-Экране (ПНаЭ)», в английской документации — On-View Parameters, OVP. Пользоваться ими можно по-разному.

• **Ввести всё.** Число, Enter, число, Enter — фигура построена, в эскизе остались оба размера. Так вы чертили квадрат в главе 3.

• **Ввести часть.** Наберите длину линии и нажмите Enter, а направление укажите щелчком. В эскизе останется один размер — длина, угол свободен.

• **Закрепить как есть.** Ctrl+Enter превращает в размеры те числа, которые поля показывают в эту секунду. Удобно, когда размер подобран мышью и таким должен остаться.

• **Не вводить ничего.** Щелчок мышью — и фигура построена без размеров.

По умолчанию поля показывают только размеры фигуры, а координаты точки идут рядом с курсором текстом. Настройка «Правка → Настройки → Эскиз → Основные → Параметры вводимые На-Экране (ПНаЭ)» предлагает три варианта: «Ничего», «Только размеры» и «Положение и размеры». В книге оставлен вариант по умолчанию, «Только размеры».

Разминка: три фигуры и восемь степеней свободы

Прежде чем чертить профиль, разберёмся с главным понятием главы на черновике. Всё, что вы сейчас нарисуете, через десять минут сотрёте.

1. Нажмите G, L — «Линия». Щёлкните в левой верхней части вида.

2. Отведите мышь. У курсора два поля: длина и угол. Наберите 30, Enter, затем 45, Enter. Получился отрезок длиной 30 мм под углом 45°.

3. Инструмент ждёт следующую линию — она и нужна. Начертите второй отрезок ниже первого двумя щелчками, ничего не вводя. Нажмите Esc.

4. Нажмите G, C — «Круг из центра». Щёлкните правее отрезков, не на оси, наберите 20 и нажмите Enter. Затем Esc.

Посмотрите на панель «Задачи»: «Недостаточно ограничен: 8 Степеней свободы» (рис. 4.4, слева). Линии тёмные: так нарисована геометрия, у которой степени свободы остались. Зелёными они станут, когда счётчик дойдёт до нуля.

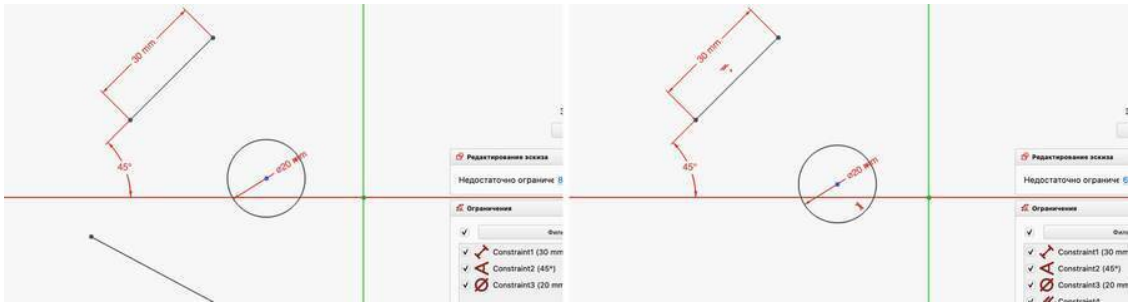


Рис. 4.4 — Черновик: слева три свободные фигуры, справа линия параллельна первой и касается окружности

Степень свободы (Degree of Freedom) — одно независимое движение, которое геометрия ещё может совершить. Считать их просто.

- У отрезка четыре степени свободы: по две координаты у каждого конца.
- У окружности три: две координаты центра и радиус.
- Каждое ограничение отнимает одну или две.

У первого отрезка длина и угол заданы, осталось 4 − 2 = 2: его можно только двигать. У второго все 4. У окружности задан диаметр, осталось 3 − 1 = 2. Итого 2 + 4 + 2 = 8.

Убедитесь, что это не абстракция: возьмите окружность мышью за линию и потяните. Она едет за курсором, а диаметр не меняется. Двигаться может только то, что не ограничено.

Теперь отнимем две степени свободы — двумя разными способами.

5. **Сначала выделить, потом команда.** Щёлкните по первому отрезку, затем по второму. Клавиша Ctrl не нужна: в эскизе каждый щелчок добавляет к выделению, а щелчок по пустому месту его снимает. Нажмите P — «Параллельно» (Parallel). Второй отрезок повернулся, счётчик показывает 7.

6. **Сначала команда, потом выделить.** Ничего не выделяя, нажмите T — «Касательно/Коллинеарно» (Tangent/Collinear). В строке состояния появилась подсказка — она не переведена: pick edge or first point. Щёлкните по второму отрезку, затем по окружности. Отре-

зок коснулся окружности, счётчик показывает 6 (рис. 4.4, справа). Инструмент ограничения тоже не выключается сам: нажмите Esc.

Ограничение можно снять. В панели «Задачи» в списке «Ограничения» щёлкните последнюю строку, Constraint5, и нажмите Delete. Касание исчезло, счётчик снова 7.

Черновик больше не нужен. Щёлкните по пустому месту вида, нажмите Ctrl+A и Delete. В панели «Задачи» — «Пустой эскиз».

Автоограничения

Часть ограничений программа ставит сама, пока вы рисуете. Она следит за курсором и угадывает намерение (рис. 4.5).

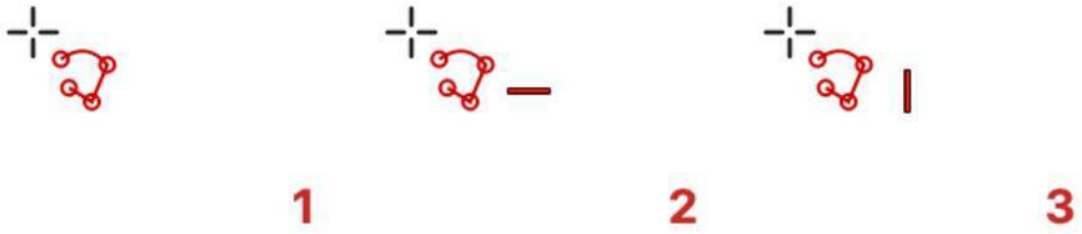


Рис. 4.5 — Курсор «Полилинии»: 1 — без подсказки, 2 — отрезок получится горизонтальным, 3 — вертикальным

• Отрезок почти горизонтален или почти вертикален — у курсора появляется красная чёрточка. Щёлкнете сейчас, и отрезок получит ограничение «Горизонтально» или «Вертикально».

• Курсор стоит на уже существующей точке — точка подсвечивается. Щёлкнете сейчас, и новый конец совпадёт с ней.

Это **автоограничения** (Auto constraints). Благодаря им в главе 3 центр квадрата сам привязался к началу координат. Выключаются они в панели «Задачи»: в разделе «Ограничения» справа от кнопки «Фильтр» стоит кнопка с гаечным ключом, в её меню — флажок «Автоматические ограничения» (рис. 4.6). Выключать их незачем; полезно знать, где флажок, если эскиз ведёт себя не так, как в книге.

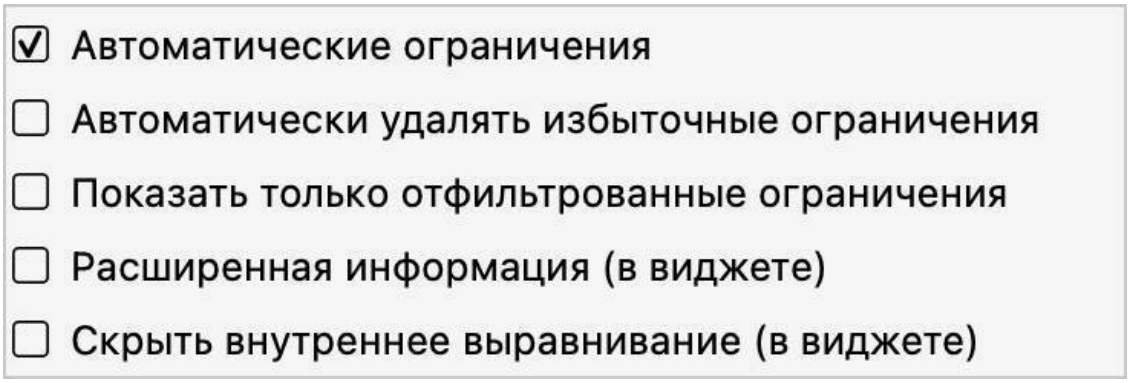


Рис. 4.6 — Настройки списка ограничений

Профиль основания

Профиль — замкнутый контур из восьми отрезков: плита, слева неподвижная губка, справа стойка под винт. Чертим на глаз, следя только за формой.

1. Профиль длинный, а правую часть вида закрывает панель «Задачи». Сдвиньте вид: зажмите среднюю кнопку мыши и перетащите начало координат в левый нижний угол.

2. Нажмите G, M — «Полилиния».

3. Щёлкните чуть выше и правее начала координат, не на осях. Это левый нижний угол профиля.

4. Ведите курсор вправо. Рядом с ним бегут длина и угол отрезка. Когда угол близок к нулю, у курсора появляется чёрточка. Щёлкните на длине около 80.

5. Дальше по контуру, каждый раз дожидаясь чёрточки: вверх на 25, влево на 15, вниз на 20, влево на 55, вверх на 23, влево до вертикали над первой точкой (рис. 4.7).

6. Последний щелчок — по первой точке. Она подсветится под курсором. Контур замкнулся, цепочка закончилась. Нажмите Esc.

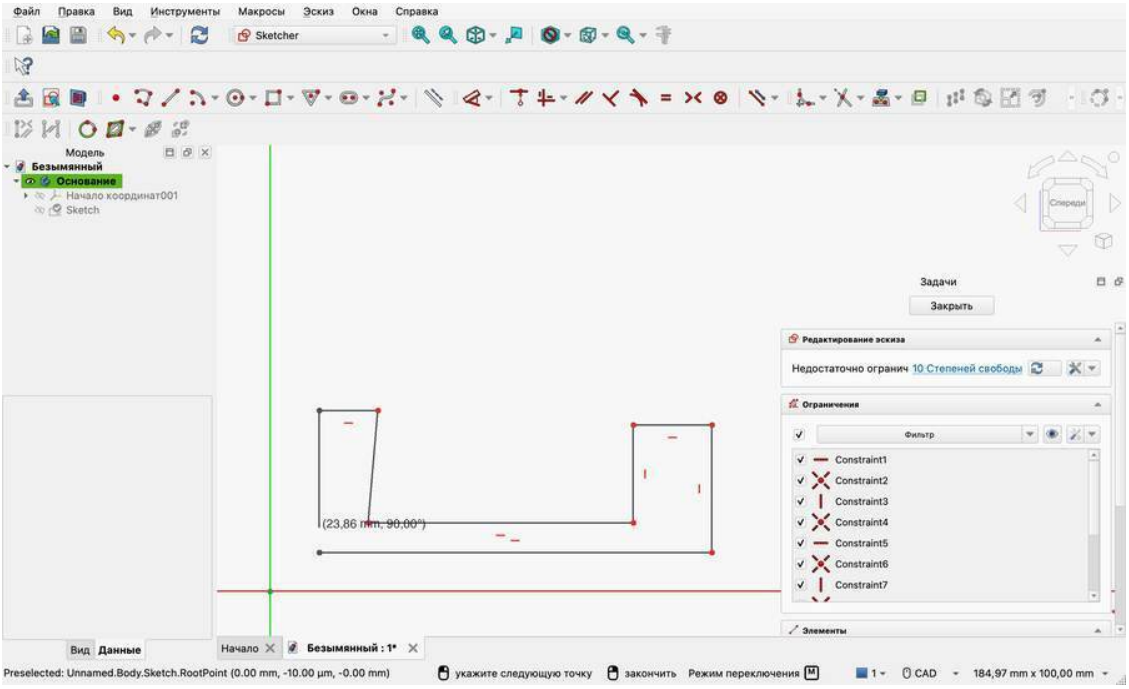


Рис. 4.7 — Полилиния перед замыканием; шестой отрезок вышел наклонным, значка у него нет

Числа в шагах 4 и 5 — ориентир для пропорций, попадать в них не нужно. Настоящие размеры появятся в главе 5. Полезнее запомнить, чем каждый отрезок станет в детали.

№	Куда вели	Что это в основании
1	Вправо	Низ плиты: им тиски стоят на столе
2	Вверх	Наружный торец стойки
3	Влево	Верх стойки
4	Вниз	Внутренняя стенка стойки
5	Влево	Верх плиты: по нему ходит подвижная губка
6	Вверх	Рабочая стенка неподвижной губки
7	Влево	Верх губки
8	Вниз	Наружный торец губки

Теперь считаем. Восемь точек — шестнадцать степеней свободы. У каждого отрезка должен стоять значок горизонтали или вертикали: минус восемь. Счётчик должен показывать 8.

7. Если счётчик показывает больше, какой-то отрезок остался без значка — на рис. 4.7 это шестой, и счётчик после замыкания показал 9. Щёлкните по такому отрезку и нажмите A — «Горизонтально/Вертикально» (Horizontal/Vertical). Программа сама решит, к чему он ближе.

8. Возьмите мышью любой угол контура и потяните. Стороны растягиваются, углы остаются прямыми. Щёлкните по пустому месту.

Восемь оставшихся степеней свободы — это шесть размеров основания и положение контура на плоскости: его всё ещё можно двигать целиком, по горизонтали и по вертикали. Положение закрепим сейчас.

9. Щёлкните по левому нижнему углу профиля, затем по началу координат. Нажмите C — «Совпадает» (Coincident). Профиль перескочил: его угол встал в начало координат (рис. 4.8). Счётчик показывает 6.

10. Щёлкните по самой надписи «6 Степеней свободы». Программа выделит всё, что ещё может двигаться. Щёлкните по пустому месту.

11. Нажмите «Закрыть», затем Ctrl+S. Сохраните документ под именем base в папку vise.

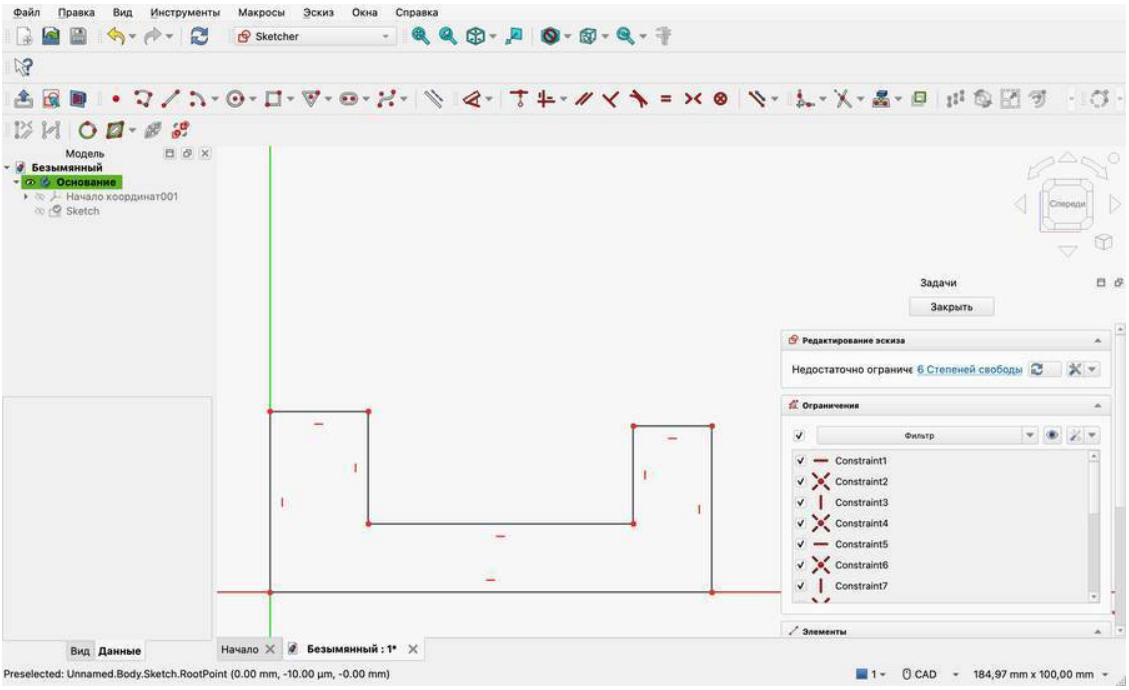


Рис. 4.8 — Профиль привязан к началу координат: осталось шесть степеней свободы

Эскиз закрыт недоопределённым, и программа не возражает. Так можно оставлять работу на середине, но не строить на таком эскизе объём: шесть степеней свободы — это шесть вопросов, на которые вы ещё не ответили. В главе 5 ответим: длина 120, толщина плиты 8, толщина и высота губки 12 и 42, толщина и высота стойки 24 и 38.

Ограничения на панели



Рис. 4.9 — Панель «Ограничения»

№	Кнопка	Клавиша	Что выделять	Что получится
1	Размер (Dimension)	D	—	Размерные ограничения; глава 5
2	Совпадает (Coincident)	C	Две точки; точку и линию	Точки сливаются; точка ложится на линию
3	Горизонтально/Вертикально (Horizontal/Vertical)	A	Отрезок	Встаёт горизонтально или вертикально, что ближе; в списке отдельно H и V
4	Параллельно (Parallel)	P	Два отрезка	Одинаковый наклон
5	Перпендикулярно (Perpendicular)	N	Два отрезка	Прямой угол между ними
6	Касательно/Коллинеарно (Tangent/Collinear)	T	Отрезок и окружность; два отрезка	Касание; отрезки ложатся на одну прямую
7	Эквивалентно (Equal)	E	Два отрезка; две окружности	Равные длины; равные радиусы
8	Симметрично (Symmetric)	S	Две точки и ось	Точки зеркальны относительно оси
9	Заблокировать изменения (Block)	K, B	Любой элемент	Элемент застывает целиком
10	Активировать/деактивировать ограничения (Toggle Constraints)	K, Z	Ограничение	Временно выключает его; глава 5

Сколько степеней свободы отнимает ограничение, зависит от того, что оно связывает. Параллельность и перпендикулярность, равенство, точка на линии — по одной. Совпадение двух точек, симметрия двух точек, два отрезка на одной прямой — по две.

Значки поставленных ограничений нарисованы красным рядом с геометрией, а полный перечень лежит в списке в панели «Задачи». Ограничения в списке названы Constraint1, Constraint2 и так далее; у размерных в скобках стоит значение.

Ограничения делятся на два рода, и это стоит держать в голове. «Горизонтально» и «Вертикально» привязывают отрезок к осям эскиза: он стоит ровно сам по себе, что бы ни происходило с соседями. «Параллельно» и «Перпендикулярно» привязывают отрезок к другому

отрезку: повернётся один — повернётся и второй. В контуре из прямых углов, как у нашего основания, берите первые: каждое такое ограничение независимо, и ошибку легче найти. Вторые нужны там, где контур наклонён.

Как искать, что не так

Когда счётчик показывает не то число, которого вы ждёте, помогают три приёма.

Щелчок по счётчику. Надпись с числом степеней свободы — ссылка. Щелчок по ней выделяет в эскизе всё, что ещё может двигаться. Когда свободных элементов остаётся два-три, этого достаточно, чтобы увидеть пропущенное ограничение.

Потянуть мышью. Возьмите подозрительную точку или линию и подвигайте. То, как меняется контур, показывает, чего не хватает: уезжает целиком — нет привязки, перекашивается — нет горизонтали или вертикали, растягивается — нет размера.

Список ограничений. Щелчок по строке списка выделяет ограничение. Так можно пройти список сверху вниз и найти лишнее: то, что привязало точку к оси или к чужой линии. Выделенное ограничение удаляет Delete.

Почему так

Почему сначала форма, потом размеры. Геометрические ограничения записывают замысел: стенки вертикальны, плита горизонтальна, контур замкнут. Размеры — только числа. Когда замысел записан, каждый размер меняет ровно одну вещь, и эскиз ведёт себя предсказуемо. Если начать с размеров, не закрепив форму, первый же размер может перекосить контур.

Почему считать степени свободы. Глазом недоопределённый эскиз не отличить от готового — пока не потянешь за угол. Счётчик говорит правду сразу, и разница между ожидаемым числом и настоящим указывает на ошибку: больше — чего-то не хватает, меньше — что-то привязалось лишнее.

Почему полилиния, а не восемь линий. Полилиния сама ставит совпадение на каждом стыке. Восемь отдельных линий дали бы восемь разрывов, которые пришлось бы закрывать вручную, — по две степени свободы на каждый.

Почему угол привязан к началу координат. Без привязки контур плавает: его положение — две степени свободы, которые не уберёт ни один размер самого контура. Начало координат — единственная опора, которая есть до первой операции. К тому же основание — деталь, от которой в сборке будут отсчитываться остальные, и удобно, когда её угол лежит в нуле.

Почему не «Заблокировать изменения». Блокировка обнуляет счётчик одним щелчком, но ничего не объясняет: замороженный контур нельзя изменить размером. Она годится для чужой геометрии, которую вы не собираетесь править, и не годится для собственного эскиза.

Типичные ошибки

Счётчик больше, чем должен быть. У какого-то отрезка нет значка горизонтали или вертикали. Щёлкните по надписи со счётчиком, посмотрите, что выделилось, найдите отрезок без значка, выделите его и нажмите A.

Контур не замкнулся. Признак: последний щелчок пришёлся рядом с первой точкой, а не по ней, и счётчик больше ожидаемого на 2 или 3. Щёлкните по одному свободному концу, затем по другому и нажмите C. Если лишняя единица осталась, смотрите предыдущий пункт.

Счётчик меньше, чем должен быть. Признак: в разминке получилось 7 вместо 8. Вы щёлкнули на оси или на чужой линии, и автоограничение привязало точку к ней. Найдите лишнюю строку в списке ограничений и удалите её.

Эскиз закрылся. Вы нажали Esc, когда инструмент уже был выключен. Дважды щёлкните по Sketch в дереве.

Ctrl+A выделил не то. Признак: после Delete исчезли ограничения, а линии остались. Перед Ctrl+A вы щёлкали в списке ограничений, и команда сработала в нём. Щёлкните по пустому месту вида и повторите.

Щелчки ничего не выделяют, а строят ограничения. Включён инструмент ограничения: после T, P или C при пустом выделении он ждёт щелчков. Нажмите Esc — один раз.

«Избыточные ограничения». Признак: вместо счётчика в панели «Задачи» написано «Избыточные ограничения: (1)». Последнее ограничение повторяет то, что уже задано другими. Нажмите Ctrl+Z; подробно такие сообщения разобраны в главе 5.

Упражнения

Все три делаются в новом документе, сохранять его не нужно.

1. **Прямоугольник.** Начертите прямоугольник двумя щелчками (G, R), не вводя размеров. Сколько степеней свободы покажет счётчик? Привяжите угол к началу координат. Сколько теперь? Ответы: 4 и 2. Объясните оба числа.

2. **Трапеция с равными боками.** Полилинией начертите трапецию: основания горизонтальны, боковые стороны наклонны. Счётчик покажет 6. Сделайте боковые стороны равными (E) — станет 5. Равнобокой трапеция от этого ещё не становится — почему, объяснено в главе 5.

3. **Два отверстия накладки.** Начертите щелчками две окружности разного размера по разные стороны от вертикальной оси — счётчик покажет 6. Выделите оба центра и вертикальную ось, нажмите S: станет 4. Выделите обе окружности, нажмите E: станет 3. Какие три движения остались?

Глава 5. Размеры и полностью определённый эскиз

Версия программы: FreeCAD 1.1.4.

В главе 4 профиль основания получил форму и шесть степеней свободы. В этой главе вы закроете все шесть размерами (рис. 5.1) и доведёте эскиз до состояния «Полностью ограничен». Заодно узнаете, почему первым ставят самый большой размер, чем справочный размер отличается от основного и что делать, когда решатель пишет «Избыточные ограничения» или «Конфликтующие ограничения».

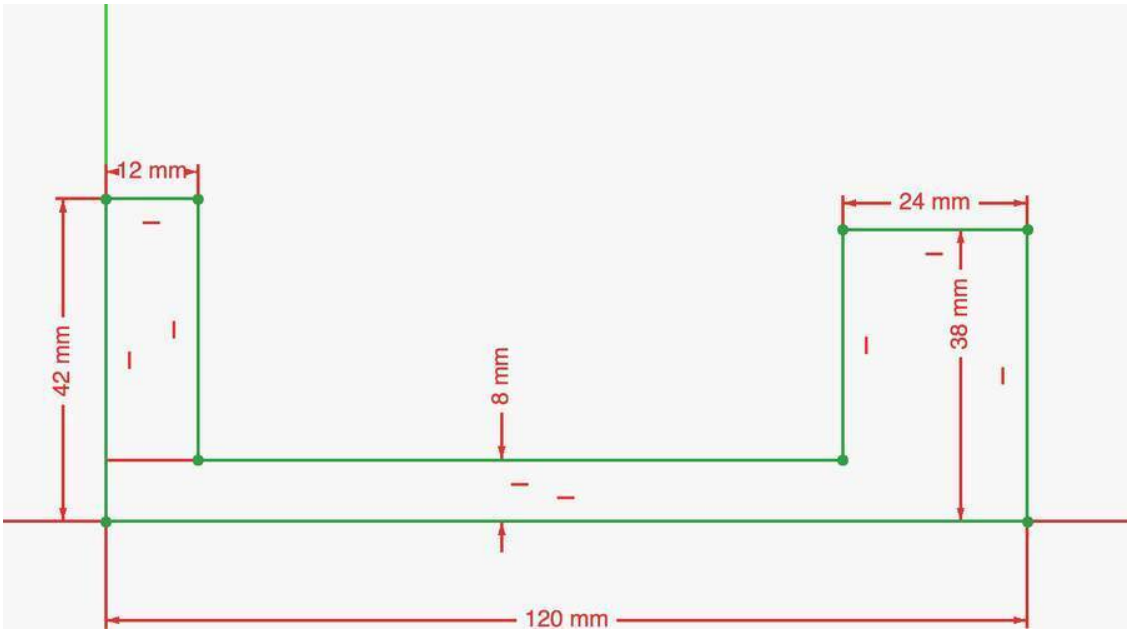


Рис. 5.1 — Профиль основания с размерами

Подготовка

1. Откройте base.FCStd: на начальной странице он лежит в разделе недавних файлов, в меню — «Файл → Открыть недавнее».

2. Дважды щёлкните в дереве по Sketch. В панели «Задачи» — «Недостаточно ограничен: 6 Степеней свободы».

3. Средней кнопкой мыши сдвиньте вид так, чтобы начало координат оказалось в левом нижнем углу, а под профилем и слева от него осталось место для размеров.

Инструмент «Размер»

Размеры в эскизе — тоже ограничения, только с числом: **размерные ограничения**. Ставит их первая кнопка панели «Ограничения». Это список (рис. 5.2).

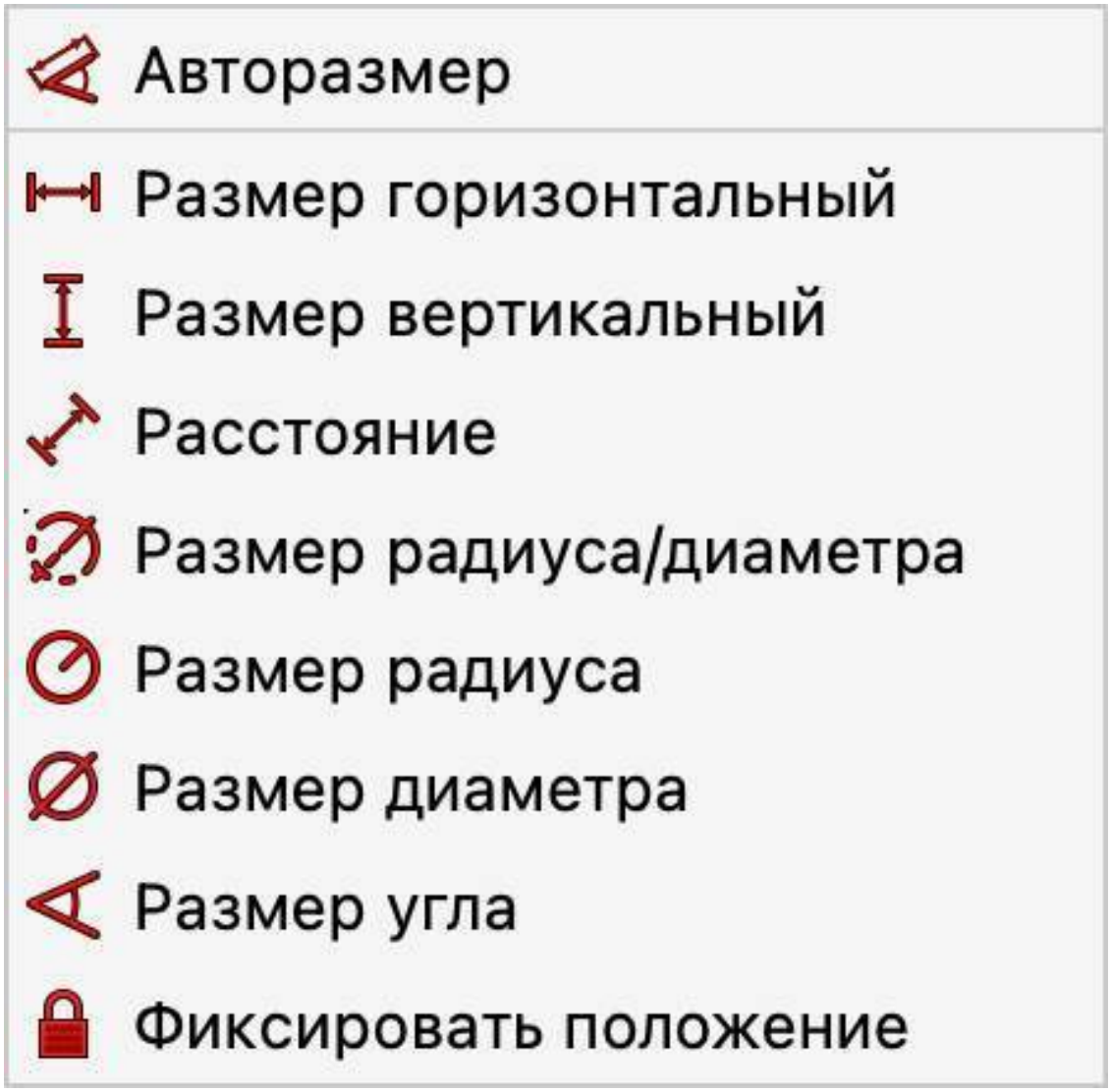


Рис. 5.2 — Список кнопки «Размер»

Команда	Клавиши	Что ставит
Авторазмер (Dimension)	D	Любой размер: тип определяет по тому, что вы выбрали
Размер горизонтальный (Horizontal Dimension)	L	Расстояние по горизонтали
Размер вертикальный (Vertical Dimension)	I	Расстояние по вертикали
Расстояние (Distance Dimension)	K, D	Расстояние по прямой: длину отрезка, промежуток между точками или линиями
Размер радиуса/диаметра (Radius/Diameter Dimension)	K, S	Радиус дуги или диаметр окружности
Размер радиуса (Radius Dimension), Размер диаметра (Diameter Dimension)	K, R; K, O	То же, но тип выбираете вы
Размер угла (Angle Dimension)	K, A	Угол между двумя отрезками
Фиксировать положение (Lock Position)	K, L	Закрепляет точку на месте

Нам хватит первой строки. «Авторазмер» работает так.

1. Нажмите D. Подсказка в строке состояния не переведена: pick point or edge — «укажите точку или линию».

2. Щёлкните по элементу. За курсором потянется размер, подсказка сменится на pick second point or edge, or click to finish.

3. Теперь либо щёлкните по второму элементу — получится размер между двумя, — либо щёлкните по свободному месту: там встанет надпись.

4. Откроется окно «Введите длину» с текущим значением. Наберите нужное и нажмите «OK».

5. Инструмент остаётся включённым и ждёт следующий размер. Выключает его Esc.

Первый размер и автомасштаб

1. Нажмите D и щёлкните по нижней стороне профиля.

2. Отведите курсор вниз и щёлкните под профилем.

3. В окне стоит длина, которая получилась у вас на глаз, — у нас это 96,44 mm, она видна на размерной линии рис. 5.3. Наберите 120 и нажмите «OK».

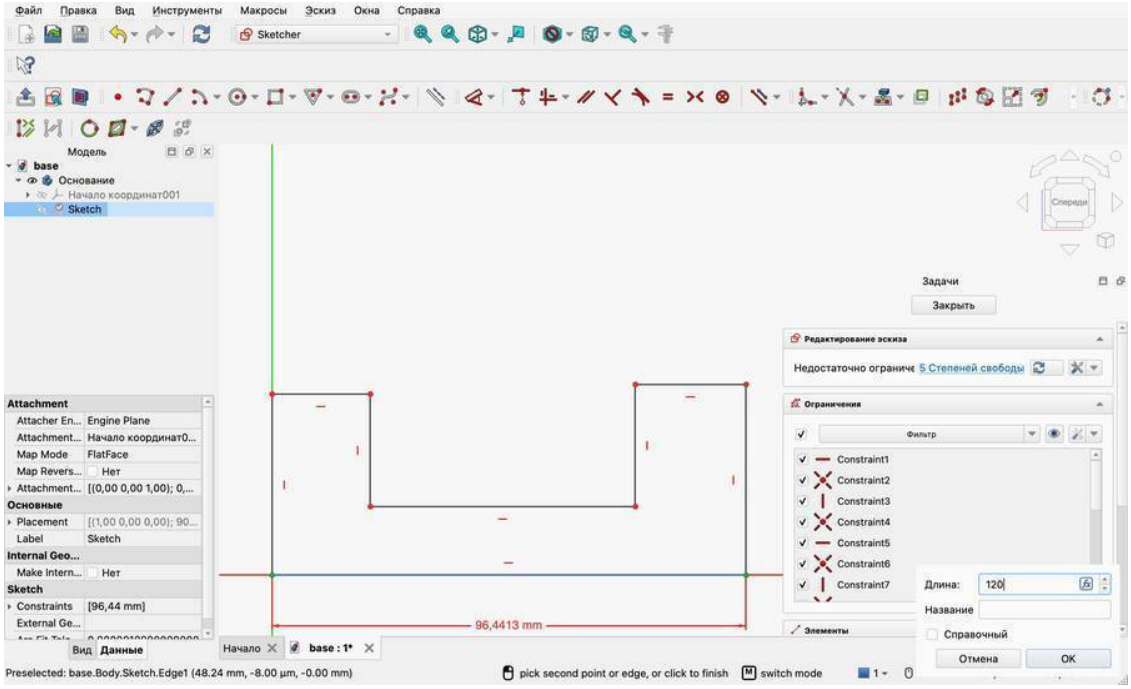


Рис. 5.3 — Первый размер: в окне «Введите длину» набрано 120

Посмотрите, что произошло (рис. 5.4). Изменилась не только нижняя сторона: весь профиль вырос в той же пропорции. У нас длина увеличилась с 96,44 до 120 мм, в 1,24 раза, и высота левой губки — тоже в 1,24 раза, с 36,8 до 45,8 мм. А на экране ничего не сдвинулось: вместе с эскизом программа изменила масштаб вида. Заметить это можно только по размеру вида в правом углу строки состояния.

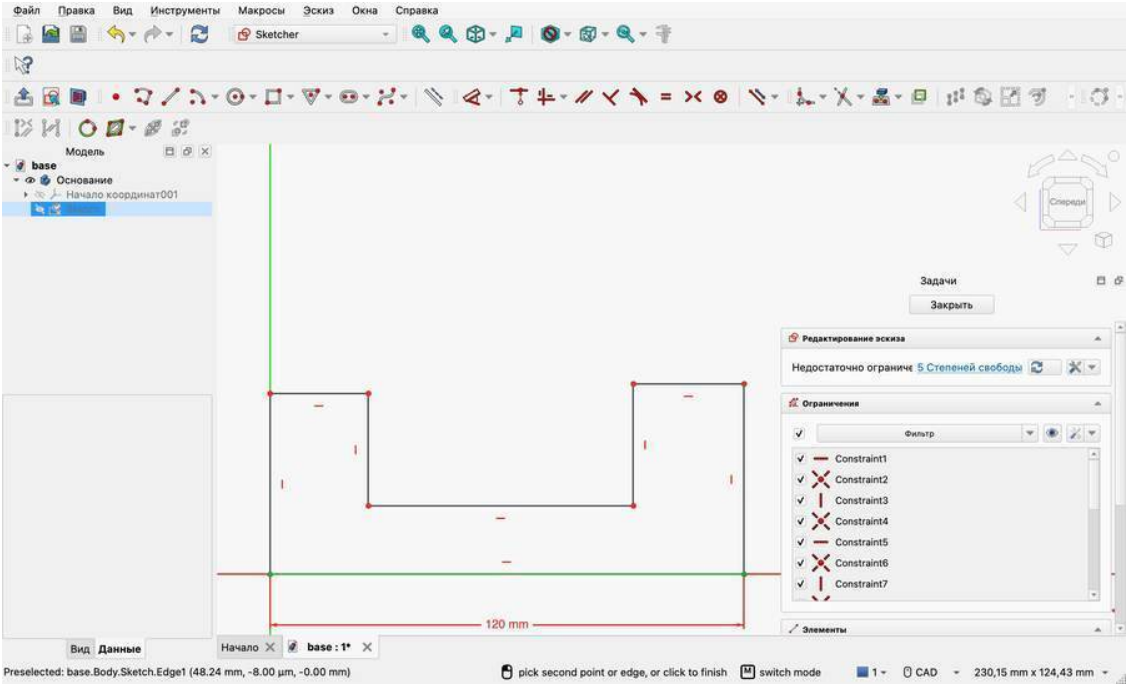


Рис. 5.4 — После первого размера: пять степеней свободы, нижняя сторона позеленела

Это **масштабирование по первому ограничению** — новшество версии 1.1. Первый размер в эскизе подгоняет под себя весь рисунок, поэтому чертить можно в любом масштабе, лишь бы пропорции были похожи. Управляет этим настройка «Правка → Настройки → Эскиз → Основные → Масштабировать по первому ограничению»; по умолчанию там стоит «Всегда».

Отсюда правило: первым ставят самый большой размер контура. Тогда остальные размеры придётся поправить чуть-чуть, а не в разы.

Счётчик показывает 5, а нижняя сторона стала зелёной. Программа красит зелёным каждый отрезок, у которого степеней свободы не осталось, — так видно, что уже определено, а что ещё нет.

Остальные пять размеров

Инструмент включён. Для каждого размера — щелчок по отрезку, щелчок по свободному месту рядом, число, «OK».

№	По чему щёлкнуть	Куда поставить надпись	Значение	Счётчик
2	Наружный торец губки, слева	Левее профиля	42	4
3	Наружный торец стойки, справа	Левее торца, внутри контура	38	3
4	Верх стойки	Над стойкой	24	2
5	Верх губки	Над губкой	12	1

Справа от стойки надпись лучше не ставить: там панель «Задачи», и размер окажется под ней.

Шестой размер — толщина плиты, 8 мм. Отрезка такой длины в контуре нет: толщина — это расстояние между низом плиты и её верхом. Здесь пригодится второй щелчок.

6. Щёлкните по верху плиты, затем по её низу. Щёлкните по свободному месту над плитой, наберите 8, нажмите «OK».

7. Нажмите Esc.

В панели «Задачи» — «Полностью ограничен», весь контур зелёный (рис. 5.5).

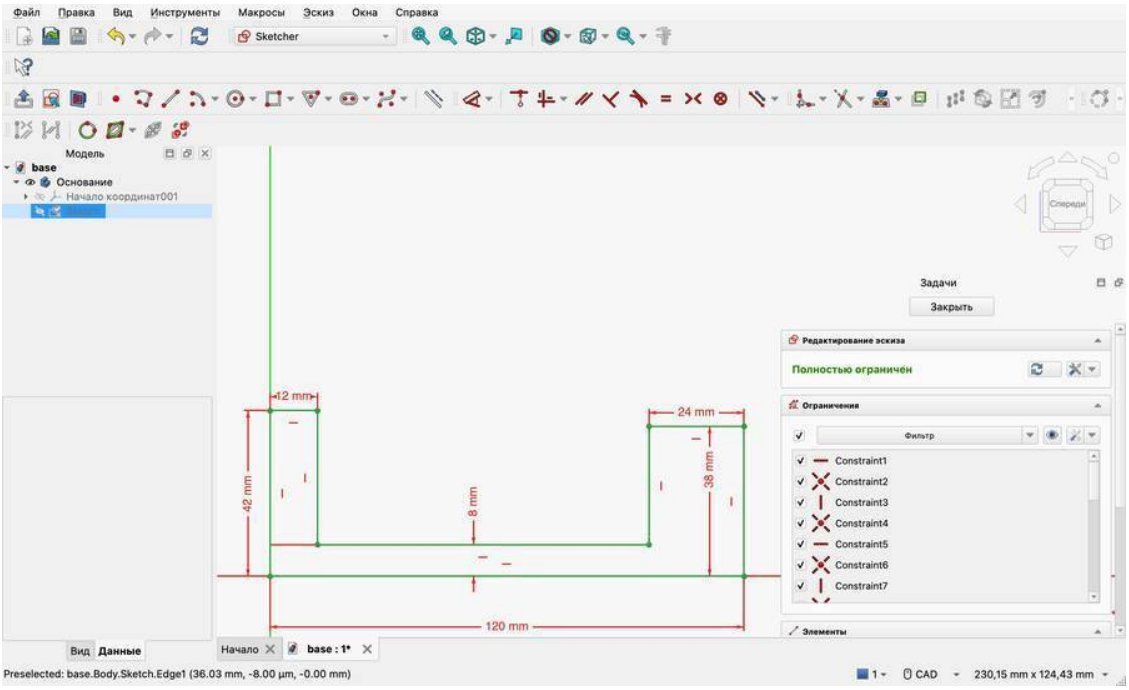


Рис. 5.5 — Шесть размеров: эскиз полностью ограничен

Шесть степеней свободы — шесть размеров. Ни один из них нельзя убрать, не вернув эскизу свободу, и ни одного нельзя добавить.

Размер	Что он задаёт в тисках
120	Длину основания
8	Толщину плиты, на которой всё стоит
12 и 42	Толщину и высоту неподвижной губки
24 и 38	Толщину и высоту стойки, в которую войдут гайка и винт

Порядок, который стоит запомнить

Так определяют любой эскиз, не только этот.

1. Форма: геометрические ограничения, пока счётчик не сравняется с числом будущих размеров плюс два.
2. Привязка: одна точка контура в начале координат — минус два.
3. Габарит: самый большой размер первым.
4. Остальные размеры, от крупных к мелким.
5. Ноль на счётчике. Если не ноль — ищем, что свободно, а не добавляем размеры наугад.

Править, называть, отключать

Изменить значение. Дважды щёлкните по надписи размера — откроется то же окно. Попробуйте: поставьте высоте губки 50 вместо 42. Губка вытянулась, остальное не шелохнулось. Верните 42.

Если двойной щелчок не открывает окно, включён какой-то инструмент и щелчки достаются ему. Нажмите Esc и повторите.

Дать имя. В окне размера есть поле «Название». Откройте размер 120 и впишите туда length. Надпись на эскизе станет length = 120 mm, а в списке ограничений вместо Constraint18 появится length (120 mm). Имя пригодится в главе 13: на размер с именем можно сослаться в формуле. Называйте латиницей и без пробелов.

Справочный размер (Reference). Иногда размер хочется видеть, но не задавать. Например, раствор тисков — расстояние между губкой и стойкой: оно получается само, 120 – 12 – 24.

1. Нажмите D, щёлкните по верху плиты, затем по свободному месту над ней.
2. В окне стоит 84,00 mm. Отметьте флажок «Справочный» и нажмите «OK». Затем Esc.

Размер встал серым и в скобках: (84 mm) (рис. 5.6). Он ничего не ограничивает — эскиз по-прежнему «Полностью ограничен» — и сам пересчитывается: поставьте длину 140, и в скобках будет 104.

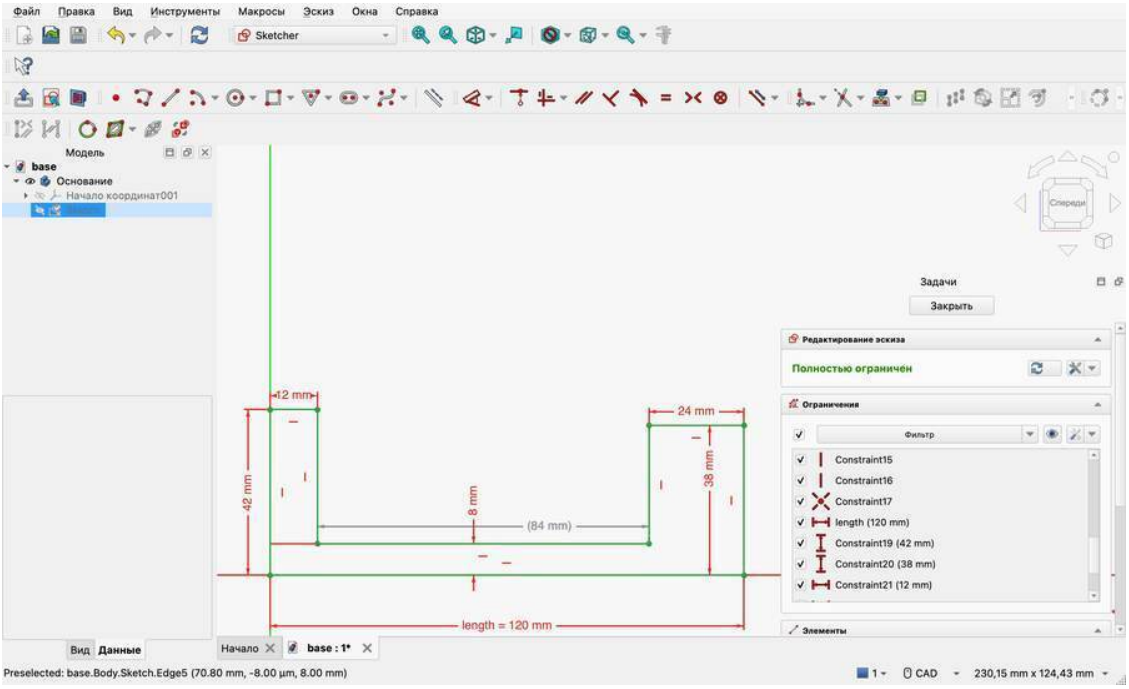


Рис. 5.6 — Справочный размер в скобках и размер с именем

Превратить справочный размер в основной и обратно можно командой «Переключить ограничения в основные/вспомогательные» (Toggle Driving/Reference Constraints, K, X): выделите размер и нажмите клавиши.

Отключить на время. Выделите ограничение и нажмите K, Z — «Активировать/деактивировать ограничения» (Toggle Constraints). Оно остаётся в списке, но перестаёт действовать: отключите размер 42, и счётчик покажет «1 Степень свободы». Те же клавиши включают его обратно. Приём полезен, когда нужно понять, какое именно ограничение мешает.

Закройте эскиз и сохраните документ. Профиль основания готов, в главе 7 мы его выдавим.

Когда решатель возражает

Строка решателя в панели «Задачи» бывает в пяти состояниях. Три из них вы уже видели.

Надпись	Цвет	Что это значит
Пустой эскиз (Empty sketch)	Чёрный	В эскизе нет геометрии
Недостаточно ограничен: N Степеней свободы (Under-constrained)	Чёрный, число — ссылка	Осталось N нерешённых вопросов
Полностью ограничен (Fully constrained)	Зелёный	Эскиз готов
Избыточные ограничения: (...) (Redundant constraints)	Оранжевый	Какое-то ограничение повторяет другие
Конфликтующие ограничения: (...) (Over-constrained)	Красный	Ограничения противоречат друг другу

Пока вы ставили по одному размеру на каждую степень свободы, решатель до двух последних строк не доходил. Возражает он четырьмя способами, и только два из них видны в этой строке.

Лишний размер исчезает

Откройте эскиз снова, нажмите D, щёлкните по внутренней стенке губки и поставьте размер. В окне будет 34,00 mm — высота стенки уже следует из размеров 42 и 8. Нажмите «OK».

Размер пропал. В панели «Задачи» ничего не изменилось. Единственный след — число на кнопке уведомлений в строке состояния выросло на единицу. Щёлкните по ней (рис. 5.7): Datum 34,00 mm for the constraint with index 24 is invalid. Сообщение не переведено и сформулировано странно, но означает одно: этот размер уже задан другими, и программа его не приняла.

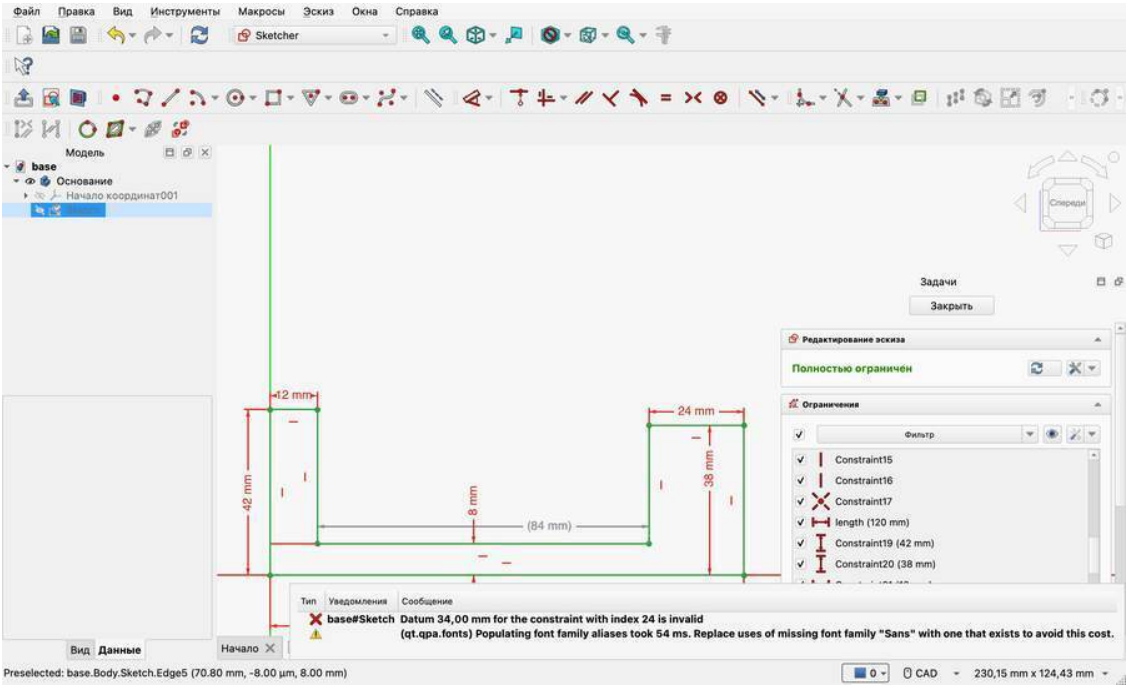


Рис. 5.7 — Отказ в лишнем размере виден только в уведомлениях

Если такой размер нужен для справки, ставьте его справочным.

Противоречие отклоняется сразу

Выделите верх стойки — он горизонтален — и нажмите V, «Вертикально». Ничего не произойдёт, а в уведомлениях появятся две записи. Первая: «Двойное ограничение. Выбранная линия уже имеет ограничение горизонтальности!» Вторая: «Ограничение невозможно. Выбранные элементы не могут быть ограничены горизонтально или вертикально!»

Закройте эскиз: в нём ничего не изменилось. Дальше нужен черновик.

Избыточные ограничения

Создайте новую деталь, эскиз на плоскости XY, и начертите полилинией трапецию, широкую сверху: основания горизонтальны, бока наклонены. Это заготовка профиля направляющей «ласточкин хвост», по которой ходит подвижная губка. Счётчик показывает 6.

Трапеция должна быть симметричной. Выделите два конца верхнего основания и вертикальную ось, нажмите S — «Симметрично».

Контур стал оранжевым, а вместо счётчика написано «Избыточные ограничения: (4)» (рис. 5.8). Номер в скобках у вас может быть другим: он зависит от того, в каком порядке вы чертили отрезки.

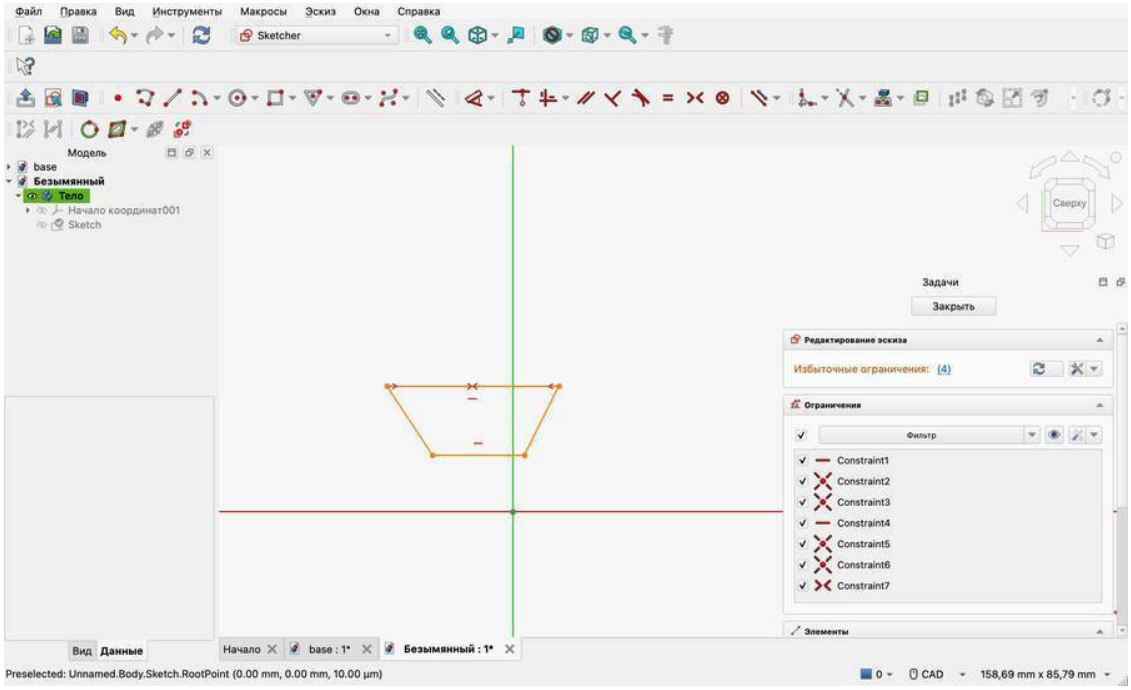


Рис. 5.8 — Избыточное ограничение: симметрия концов уже означает горизонтальность

Избыточное ограничение (Redundant constraint) повторяет то, что уже следует из других. Две точки, симметричные относительно вертикальной оси, обязательно лежат на одной высоте — значит, «Горизонтально» у этого отрезка стало лишним. Число в скобках — номер лишнего ограничения, и это ссылка.

1. Щёлкните по ссылке (4). В списке выделится Constraint4 — то самое «Горизонтально».
2. Нажмите Delete. Счётчик вернулся и показывает 5.
3. Повторите для нижнего основания: два конца, ось, S, щелчок по ссылке, Delete. Счётчик — 4.

Осталось четыре степени свободы. Три закроют настоящие размеры направляющей из проекта тисков, четвёртую — привязка к оси.

4. Нажмите D. Верхнее основание, свободное место над ним: 16.

5. Верхнее основание, затем нижнее, свободное место слева: 5.

6. Верхнее основание, затем боковая сторона, свободное место внутри угла. Откроется окно «Введите угол»: 60. Нажмите Esc. Если трапеция стала широкой снизу, дважды щёлкните размер угла и введите 120.

7. Выделите левый конец нижнего основания и горизонтальную ось, нажмите C.

«Полностью ограничен» (рис. 5.9). Этот эскиз не сохраняйте: настоящую направляющую мы начертим в главе 7 прямо на основании.

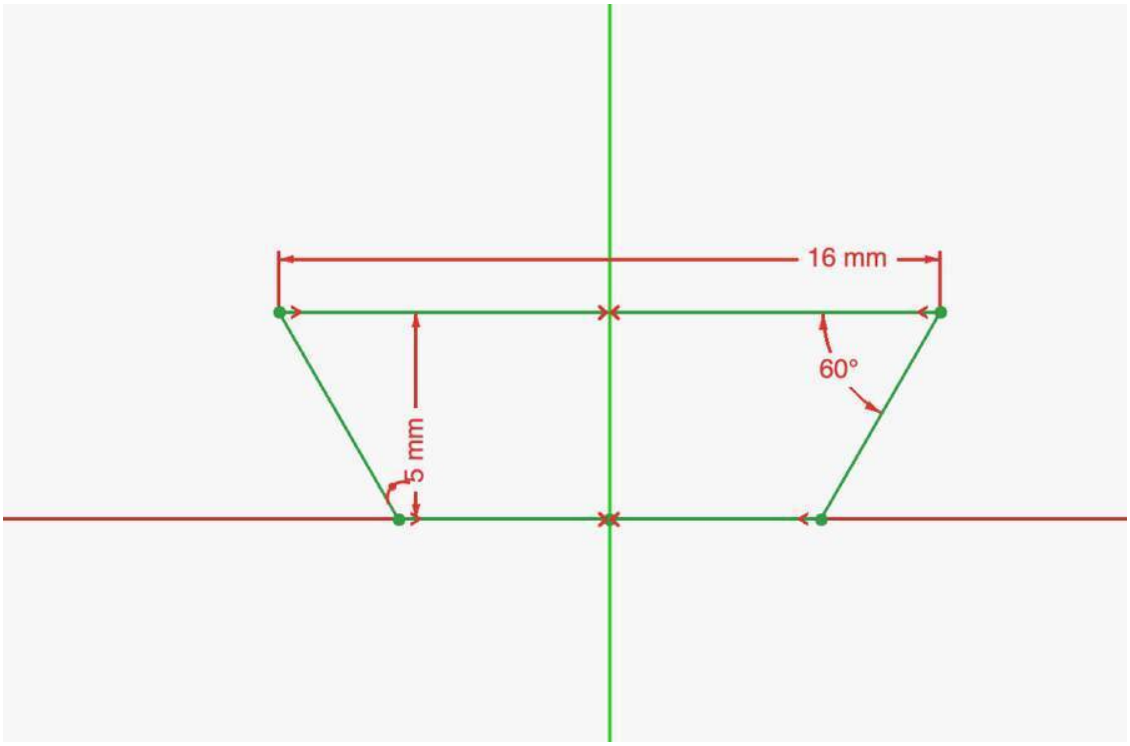


Рис. 5.9 — Профиль направляющей: 16 × 5, угол 60°

Заметьте, что бока трапеции мы не уравнивали. Кажется, что «Эквивалентно» для боковых сторон даёт то же, что симметрия, но это не так: при равных боках и заданном угле решатель вправе превратить трапецию в параллелограмм, и при подготовке книги он так и сделал. Симметрию задают симметрией.

Конфликтующие ограничения

Удалите трапецию (Ctrl+A, Delete) и начертите двумя щелчками прямоугольник. Поставьте ему размеры: ширину 30 и высоту 20. Теперь выделите нижнюю и левую стороны и нажмите E — «Эквивалентно».

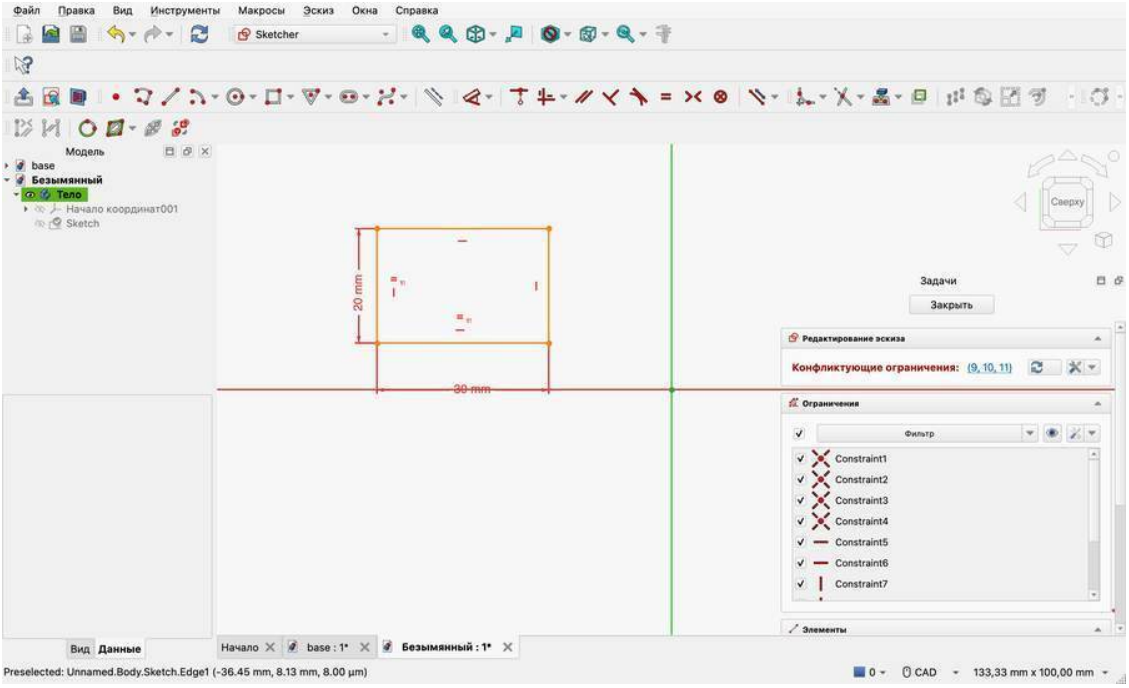


Рис. 5.10 — Конфликт: стороны 30 и 20 не могут быть равны

Красная надпись «Конфликтующие ограничения: (9, 10, 11)» (рис. 5.10) означает, что ограничения требуют несовместимого. В английском интерфейсе это сообщение называется Over-constrained. В скобках — все участники спора: размер 30, размер 20 и равенство. Щелчок по ссылке выделит их, но выбирать, кто из троих лишний, придётся вам: программа этого знать не может. Здесь лишнее — равенство. Проще всего нажать Ctrl+Z.

Разница между двумя сообщениями стоит того, чтобы её запомнить. Избыточное ограничение ничему не противоречит, оно просто повторяется. Конфликтующие противоречат друг другу, и эскиз с ними не решается вовсе. В обоих случаях строить на таком эскизе нельзя.

Почему так

Почему первым идёт габарит. Первый размер масштабирует весь эскиз. Если начать с толщины плиты, программа подгонит под 8 мм всё остальное, и нарисованный на глаз профиль может оказаться вдвое меньше или больше нужного. Габарит задаёт масштаб точнее всего.

Почему высоты отсчитаны от низа. Высоту губки можно было задать иначе — 34 мм от верха плиты. Деталь вышла бы та же. Но тогда при изменении толщины плиты губка поехала бы вверх вместе с ней. Мы отсчитали обе высоты от низа, от одной базы: от неё же в следующих главах будет отсчитана высота оси винта. Выбирая, от чего ставить размер, вы решаете, что останется на месте при правке.

Почему справочный, а не основной. Раствор 84 мм — следствие трёх других размеров. Сделать его основным значит убрать один из них, и тогда следствием станет, например, длина основания. Основными делают те размеры, которые вы хотите задавать; остальные пусть считаются.

Почему нельзя оставить «Избыточные ограничения» как есть. Эскиз с лишним ограничением выглядит нормально, но решатель в этом состоянии не гарантирует результата: при следующей правке геометрия может лечь не так, как вы ждёте. Счётчик должен показывать число или «Полностью ограничен» — и ничего другого.

Почему эскиз доводят до нуля. Недоопределённый эскиз держится на случайности: его геометрия стоит там, где вы её оставили мышью. Любая правка выше по дереву может её сдвинуть. Полностью ограниченный эскиз ведёт себя одинаково всегда.

Типичные ошибки

Размер исчез после «OK». Он повторял то, что уже задано. Посмотрите уведомления. Если размер нужен для справки, поставьте его заново и отметьте «Справочный».

«Избыточные ограничения». Щёлкните по числу в скобках и нажмите Delete. Если после этого эскиз стал не таким, как нужно, верните удалённое (Ctrl+Z) и удалите вместо него то ограничение, которое вы только что добавили.

«Конфликтующие ограничения». Нажмите Ctrl+Z. Если конфликт появился не сразу и отменять поздно, щёлкните по ссылке, посмотрите на всех участников и удалите тот, который противоречит замыслу.

Счётчик не дошёл до нуля. Вы поставили шесть размеров, а эскиз не позеленел целиком: какой-то размер лёг не на тот элемент. Щёлкните по счётчику — программа покажет, что ещё свободно.

Двойной щелчок по размеру ничего не открывает. Включён инструмент. Нажмите Esc — один раз — и повторите.

Надпись размера оказалась под панелью «Задачи». Сдвиньте вид средней кнопкой или отдалите колесом и поставьте размер заново; надпись можно и перетащить мышью.

Профиль после первого размера не того масштаба. Вы начали не с габарита. Ничего страшного: поставьте остальные размеры, эскиз всё равно придёт к нужному виду. В следующий раз начните с самого большого.

Упражнения

1. **Длина 140.** Откройте base.FCStd, эскиз, и поменяйте размер length на 140. Каким стал справочный размер? Какие отрезки удлинились, какие нет? Верните 120 и сохраните.

2. **Конфликт своими руками.** В новом документе начертите прямоугольник с размерами 30 и 20, привяжите угол к началу координат и убедитесь, что эскиз полностью ограничен. Попробуйте добавить размер на вторую горизонтальную сторону. Что произошло и где об этом написано?

3. **Эскиз накладки губки.** В новом документе начертите центрированный прямоугольник 50 × 20. Добавьте две окружности щелчками, слева и справа от центра: счётчик покажет 6. Сделайте центры симметричными относительно вертикальной оси — станет 4. Сделайте окружности равными — станет 3. Оставшиеся три степени свободы уберите сами: отверстия должны лежать на горизонтальной оси, в 30 мм друг от друга, и иметь диаметр 3,4 мм. Какое одно ограничение и какие два размера для этого нужны? Сохранять эскиз не нужно: накладку мы построим в главе 6.

Глава 6. Правка эскиза и внешняя геометрия

Версия программы: FreeCAD 1.1.4.

До сих пор эскиз жил сам по себе: на базовой плоскости, с размерами от начала координат. В настоящей детали второй эскиз почти всегда лежит на грани готового тела и опирается на её кромки. В этой главе вы построите накладку губки — пластину 50 × 20 × 3 с двумя отверстиями под винты М3 (рис. 6.1) — и привяжете отверстия к кромкам **внешней геометрией**. По дороге встретится главное новшество версии 1.1 в эскизах и ошибка, которую оно вызывает. Вторая половина главы — инструменты правки: обрезка, скругление, смещение, зеркало, массивы.

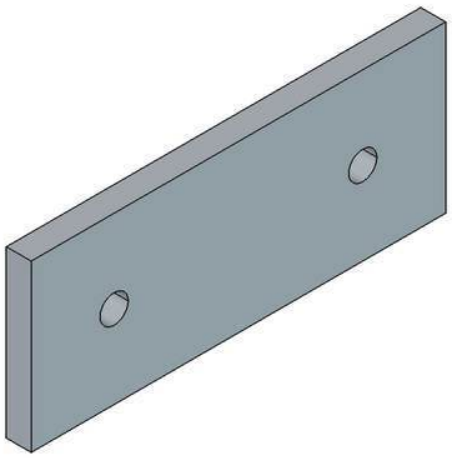


Рис. 6.1 — Накладка губки

Пластина

Повторим пройденное, с одним новым приёмом.

1. На начальной странице щёлкните «Параметрическая деталь». Тело назовите «Накладка».

2. «Создать эскиз», в списке — «Плоскость YZ (Базовая плоскость)», «OK». Навигационный куб показывает «Справа».

3. G, R — «Прямоугольник». Два щелчка: слева над началом координат и справа выше. Осей не касайтесь. Esc. Счётчик: 4 степени свободы.

4. Щёлкните левый нижний угол, правый нижний угол, затем начало координат. Нажмите S — «Симметрично». Счётчик: 2.

5. D — «Авторазмер»: верхняя сторона — 50, левая — 20. Esc. «Полностью ограничен» (рис. 6.2).

6. «Закрыть». «Выдавливание», «Длина» — 3, «OK».

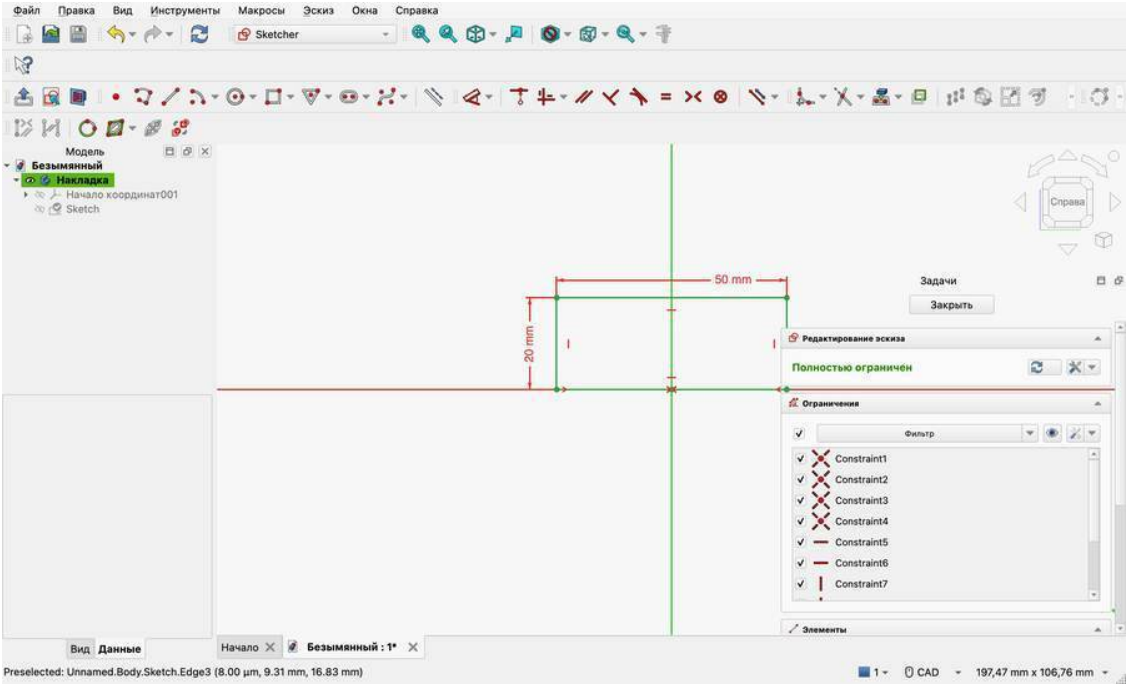


Рис. 6.2 — Контур накладки: нижняя сторона симметрична относительно начала координат

Новое здесь — шаг 4. Симметрия двух точек относительно третьей ставит третью посередине: нижняя сторона легла на горизонтальную ось серединой в начало координат. В главе 5 симметрия относительно оси дала «Избыточные ограничения»: ось заодно требовала от стороны горизонтальности, а та уже была горизонтальной. Точка лишнего не требует.

Файл детали назовём pad.FCStd. «Pad» здесь — накладка; с именем операции Pad в дереве это совпало случайно.

Эскиз на грани

1. Поверните модель так, чтобы видеть большую грань: подойдёт изометрия.

2. Щёлкните эту грань и нажмите «Создать эскиз». Плоскость программа не спрашивает: эскиз лёг на грань. Куб снова показывает «Справа», счётчик — «Пустой эскиз».

Начало координат эскиза — посередине нижней кромки, как в первом эскизе: грань отстоит от плоскости YZ на 3 мм, а оси остались на месте.

Отверстия должны быть в 10 мм от боковой кромки и в 10 мм от верхней. От начала координат это 15 и 10 — можно поставить и такие размеры. Но тогда при другой ширине пластины отверстия останутся в 15 мм от середины, а нужно, чтобы они шли за кромкой. Замысел — «10 мм от края», значит, и размер ставится от края.

Край — не часть эскиза. Это ребро тела, и эскиз о нём ничего не знает, пока вы его не спроецируете.

Внешняя проекция

1. Нажмите G, X — «Внешняя проекция» (External Projection). Подсказка в строке состояния: «укажите внешнюю геометрию».

2. Щёлкните левую кромку пластины, затем верхнюю. Вдоль каждой легла пурпурная линия с точками на концах (рис. 6.3).

3. Esc: сам этот инструмент не выключается.

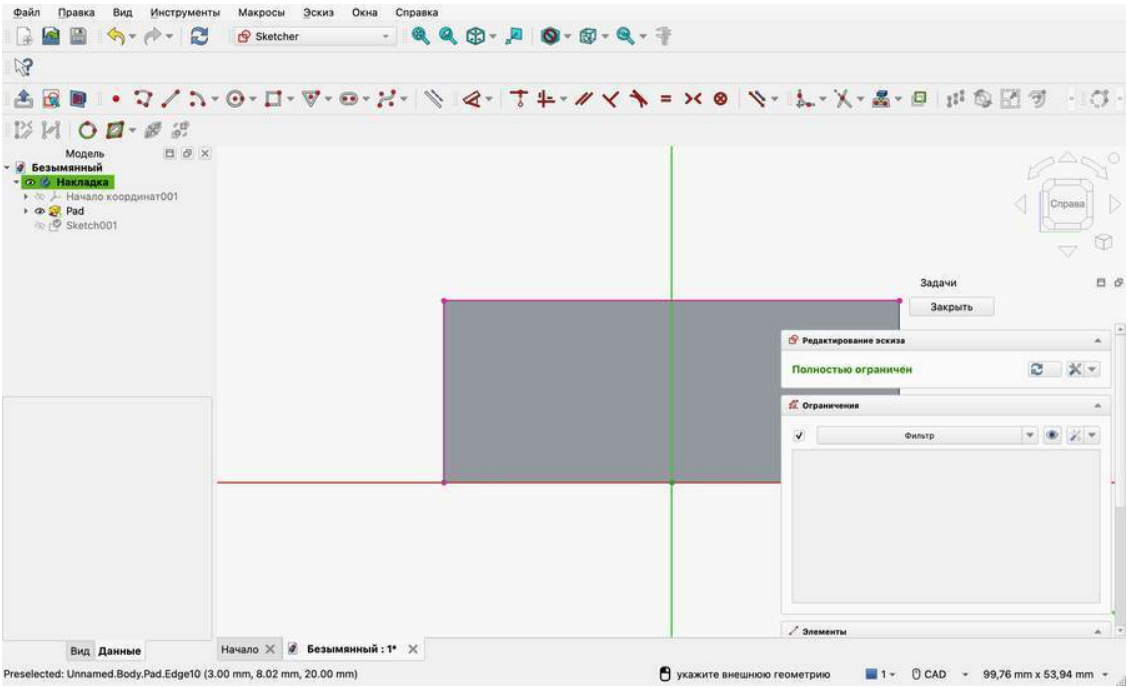


Рис. 6.3 — Две кромки спроецированы в эскиз

Это **внешняя геометрия**: линии, которые целиком определяются телом. Сдвинуть их нельзя, степеней свободы у них нет — счётчик вместо «Пустой эскиз» пишет «Полностью ограничен». Изменится пластина — линии переедут за ней.

Теперь отверстие.

4. G, C — «Круг из центра». Щёлкните в левой половине грани, отведите мышь, наберите 3,4, Enter, Esc. Счётчик: 2.

5. D. Щёлкните центр окружности, затем левую пурпурную линию. Отведите указатель вниз, щёлкните, в окне наберите 10, «OK».

6. Инструмент ещё включён: центр окружности, верхняя пурпурная линия, щелчок в стороне, 10, «OK». Esc. «Полностью ограничен».

7. «Закрыть».

Определяющая и вспомогательная

8. Щёлкните «Вырезание» (Pocket).

Красного предпросмотра нет, а строка Pocket в дереве помечена значком ошибки (рис. 6.4). Нажмите «OK» — программа ответит окном с одной строкой: Wire is not closed. — «контур не замкнут».

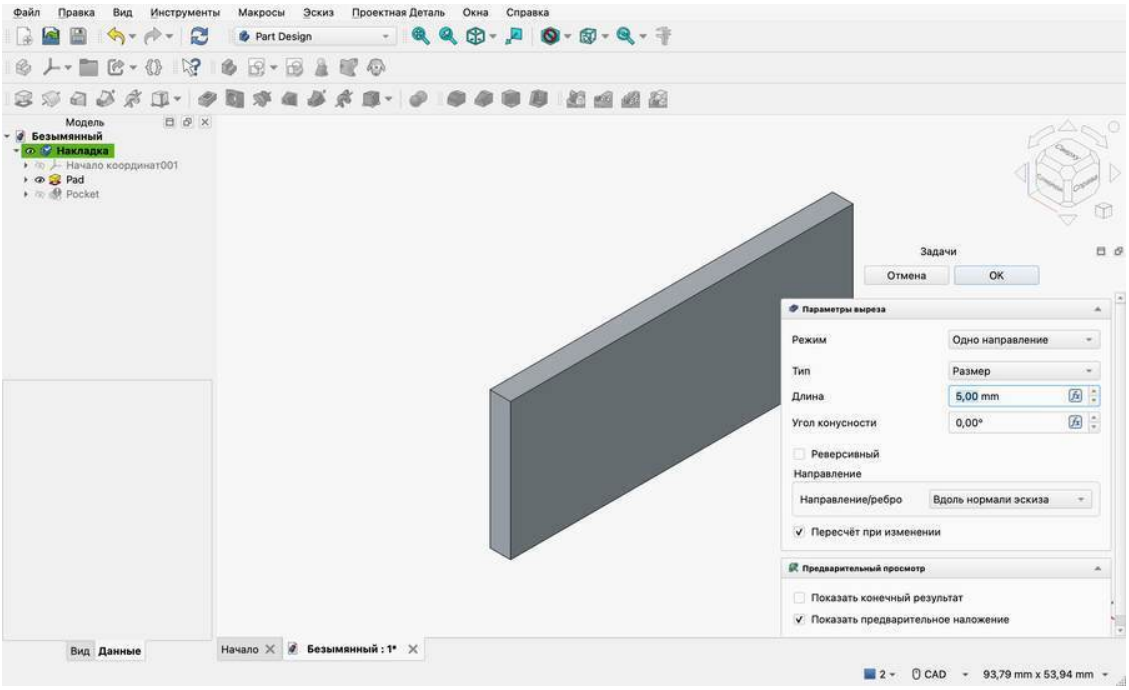


Рис. 6.4 — Вырезание не строится: в контур попали спроецированные кромки

9. Закройте окно и нажмите в панели «Отмена». Pocket из дерева исчезнет.

Виноваты пурпурные линии. С версии 1.1 внешняя геометрия бывает двух видов:

• **определяющая** — сплошная линия. Она входит в контур эскиза наравне с тем, что вы начертили сами;

• **вспомогательная** — штриховая. Она служит только опорой для размеров и ограничений, операции её не видят.

До 1.1 была только вторая, и чтобы использовать кромку в контуре, её приходилось обводить. Теперь обводить не нужно, зато по умолчанию проекция создаётся определяющей. «Вырезание» получило окружность и два отдельных отрезка; отрезки контура не замыкают — отсюда сообщение.

Кромки нужны вам только для размеров. Сделайте их вспомогательными.

10. Дважды щёлкните в дереве по Sketch001.

11. Щёлкните обе пурпурные линии.

12. Нажмите G, N — «Переключить ограничительную геометрию» (Toggle Construction Geometry). Линии стали штриховыми (рис. 6.5). Эскиз по-прежнему «Полностью ограничен»: размеры держатся за те же линии.

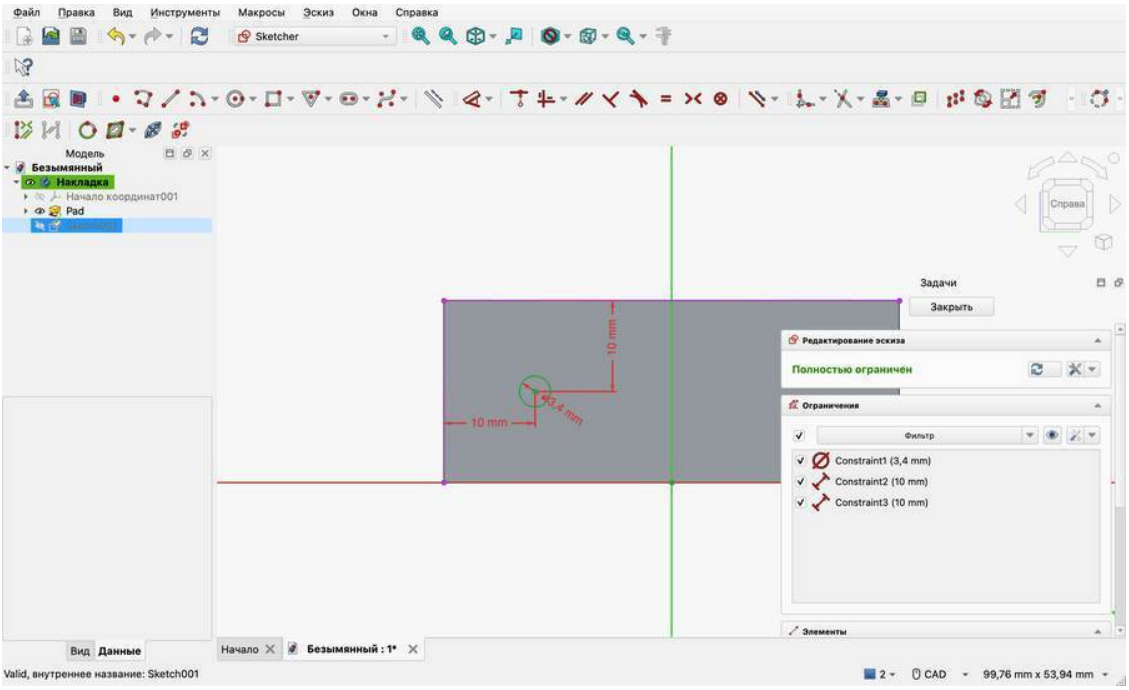


Рис. 6.5 — Проекции стали вспомогательными, размеры отверстия опираются на них

Чтобы не переключать проекции каждый раз, есть два способа.

• Нажать G, N, когда ничего не выделено. Включится режим, в котором всё новое, и проекции тоже, создаётся вспомогательным. Повторное нажатие режим выключает.

• Отметить в настройках, на странице «Эскиз → Основные», флажок «Всегда добавлять внешнюю геометрию в качестве вспомогательной».

Зеркало

Второе отверстие — отражение первого.

13. Щёлкните окружность. Нажмите Z, S — «Зеркально» (Mirror). В панели «Задачи» — раздел «Параметры симметрии» с двумя флажками.

14. Нажмите J: отметится «Создать ограничения симметрии (J)» (рис. 6.6).

15. Щёлкните вертикальную ось. Справа появилась вторая окружность, инструмент выключился сам. Эскиз остался «Полностью ограничен».

16. «Закрыть». «Вырезание», «Тип» — «Насквозь», «OK». В пластине два отверстия.

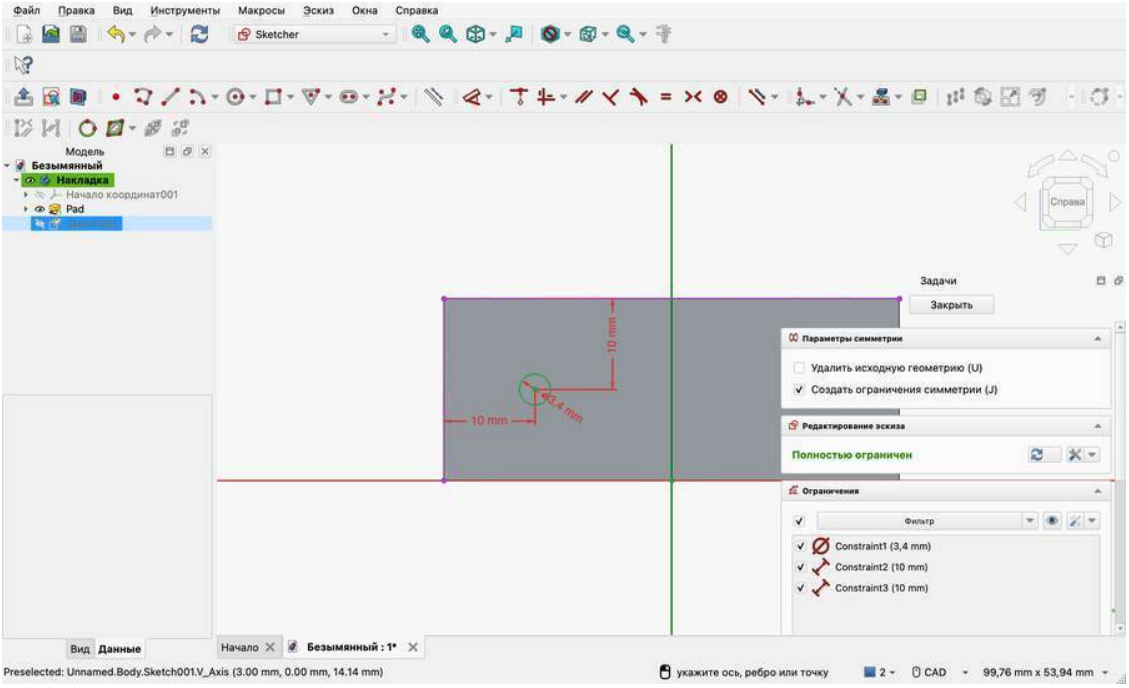


Рис. 6.6 — Зеркало с флажком «Создать ограничения симметрии»

Флажок на шаге 14 — главное в этом инструменте. С ним копия получает два ограничения: «Симметрично» — её центр отражает центр оригинала относительно оси, и «Эквивалентно» — диаметры равны. Без него выйдет просто вторая окружность, которая об оригинале ничего не знает.

Проверка замысла

1. Разверните в дереве Pad и дважды щёлкните по Sketch.

2. В списке «Ограничения» дважды щёлкните по строке с 50 mm, введите 60, «OK», «Закрыть».

Пластина стала шире, отверстия разъехались: каждое по-прежнему в 10 мм от своей кромки. Вы поменяли одно число в первом эскизе — второй эскиз, вырез и оба отверстия перестроились сами. Верните 50 тем же способом и сохраните документ в папку vise под именем pad.FCStd.

Внешнее пересечение

У проекции есть сосед по кнопке — «Внешнее пересечение» (External Intersection), G, I. Проекция опускает геометрию на плоскость эскиза; пересечение берёт только то, что эта плоскость рассекает. Разницу видно на эскизе, который проходит сквозь деталь. Создайте в теле ещё один эскиз, на плоскости XZ — она режет пластину посередине, — и поверните вид, чтобы видеть грани.

• G, I и щелчок по большой грани дают один отрезок: след грани на плоскости эскиза (рис. 6.7).

• G, I и щелчок по торцу, параллельному эскизу, не дают ничего: плоскость его не пересекает.

• G, X и щелчок по тому же торцу дают четыре отрезка — прямоугольник 3 × 20. Щелчок по грани проецирует все её рёбра сразу.

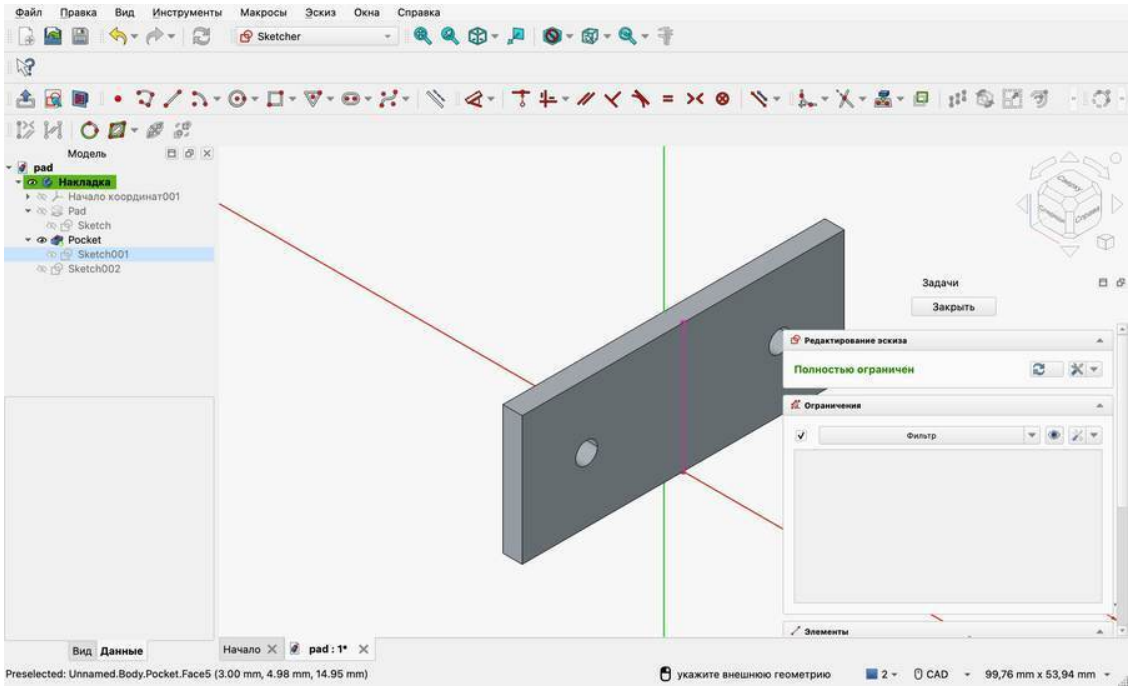


Рис. 6.7 — Пересечение: след большой грани на плоскости эскиза
Этот эскиз не нужен: закройте документ без сохранения.

Инструменты правки

Инструменты, которые меняют уже начерченное, собраны на панели с непереведённым названием Sketcher Tools (рис. 6.8). В узком окне её последние кнопки прячутся за значком из двух стрелок вправо.



Рис. 6.8 — Панель Sketcher Tools

№	Кнопка	Клавиши	Что делает
1	Скругление/Фаска	G, F, F / G, F, C	Скругляет или срезает угол
2	Редактировать рёбра: «Обрезать ребро», «Разделить ребро», «Продлить ребро»	G, T / G, Z / G, Q	Убирает кусок линии, режет её надвое, дотягивает до другой
3	Внешняя геометрия: «Внешняя проекция», «Внешнее пересечение»	G, X / G, I	Вносит в эскиз кромки тела
4	Структурная копия	G, W	В книге не используется
5	Переместить / Линейный массив	W	Переносит выделенное или размножает по прямой
6	Повернуть/Круговой массив	Z, P	Поворачивает или размножает по окружности
7	Масштабировать	Z, P, S	Увеличивает или уменьшает выделенное
8	Смещение	Z, T	Строит контур на заданном расстоянии от выделенного
9	Зеркально	Z, S	Отражает относительно оси, линии или точки
10	Удалить выравнивание по осям	Z, R	В книге не используется

Инструменты 5–9 работают с выделением: сначала выделите геометрию, потом вызывайте команду. Закончив, они выключаются сами. Инструменты 1–3 остаются включёнными до Esc. Прежде чем нажать Esc, взгляните на строку состояния: если подсказки нет, инструмент уже выключен, и Esc закроет эскиз.

Пройдите инструменты на тренировочном эскизе: новый документ, «Новое тело», «Создать эскиз», плоскость XY. Между примерами выделяйте всё (Ctrl+A) и удаляйте. Сохранять документ не нужно.

Обрезать, продлить, разделить

1. Начертите выше горизонтальной оси крест: горизонтальную линию и вертикальную поперёк неё. Счётчик: 6.

2. G, T — «Обрезать ребро» (Trim Edge). Щёлкните правый конец горизонтальной линии, за перекрестьем. Кусок исчез, новый конец держится за вертикальную линию ограничением «Совпадает» (точка на линии). Счётчик: 5. Esc.

3. G, Q — «Продлить ребро» (Extend Edge). Щёлкните вертикальную линию у нижнего конца, затем горизонтальную ось под ней. Линия дотянулась до оси и привязана к ней. Счётчик: 4 (рис. 6.9). Esc.

4. G, Z — «Разделить ребро» (Split Edge). Щёлкните посередине горизонтальной линии. Линий стало три, счётчик: 5. Esc.

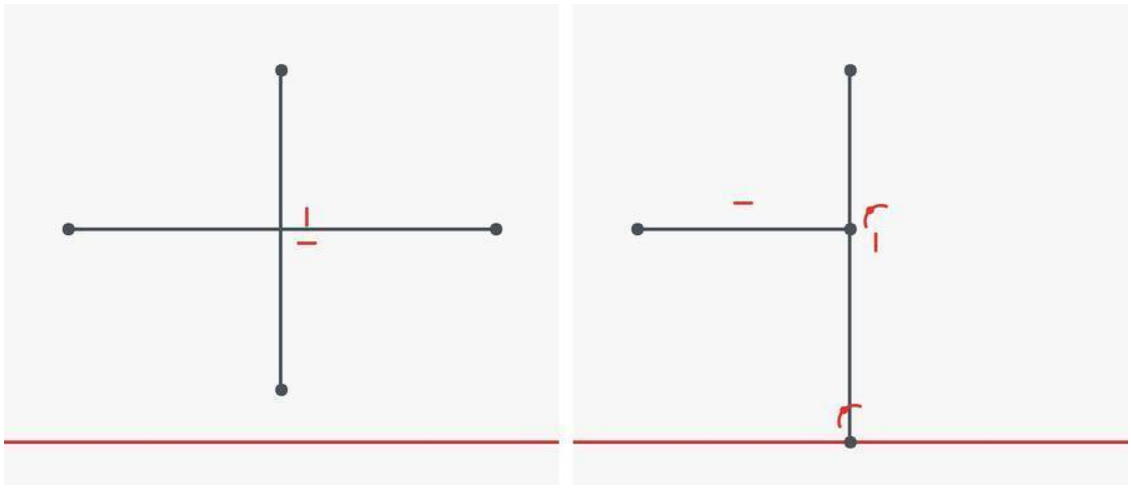


Рис. 6.9 — До и после: горизонтальная линия обрезана, вертикальная продлена до оси

Обрезка и продление не просто меняют длину: они оставляют ограничение, которое держит конец в месте встречи. Разделение соединяет половины совпадением. Горизонтальной линии этого хватает: обе половины остались горизонтальными. С наклонной иначе: у одной линии 4 степени свободы, после разделения — 6. Половины держатся за общую точку, но каждая поворачивается сама; чтобы они остались на одной прямой, добавьте «Касательно/Коллинеарно».

Скругление и фаска

1. G, R. Щёлкните первый угол, отведите мышь вправо вверх, наберите 40, Enter, 25, Enter, Esc. Счётчик: 2 — размеры есть, положение свободно.

2. G, F, F — «Скругление» (Fillet). Щёлкните правую верхнюю вершину. Угол заменила дуга, на его месте осталась синяя точка. Счётчик: 3. Esc.

3. D, щёлкните дугу, щёлкните рядом. Окно называется «Введите радиус»: 5, «OK». Счётчик: 2. Esc.

4. G, F, C — «Фаска» (Chamfer). Щёлкните левую верхнюю вершину. Угол срезан отрезком. Счётчик: 3. Esc.

Радиус в момент щелчка программа выбирает сама, поля у курсора здесь нет. Поэтому счётчик вырос на единицу: появилась новая свободная величина. Её закрывают размером, как на шаге 3. С фаской то же самое.

Синяя точка — работа флажка «Сохранять угол (U)» в панели «Параметры скругления/фаски». Это вспомогательная точка в бывшей вершине: размеры 40 и 25 по-прежнему измеряют прямоугольник от угла до угла. Под фаской, кроме точки, осталась вспомогательная дуга; отрезок соединяет её концы.

Скруглить угол можно и двумя щелчками по сторонам вместо одного по вершине (рис. 6.10). Тогда радиус зависит от того, как далеко от угла вы щёлкнули.

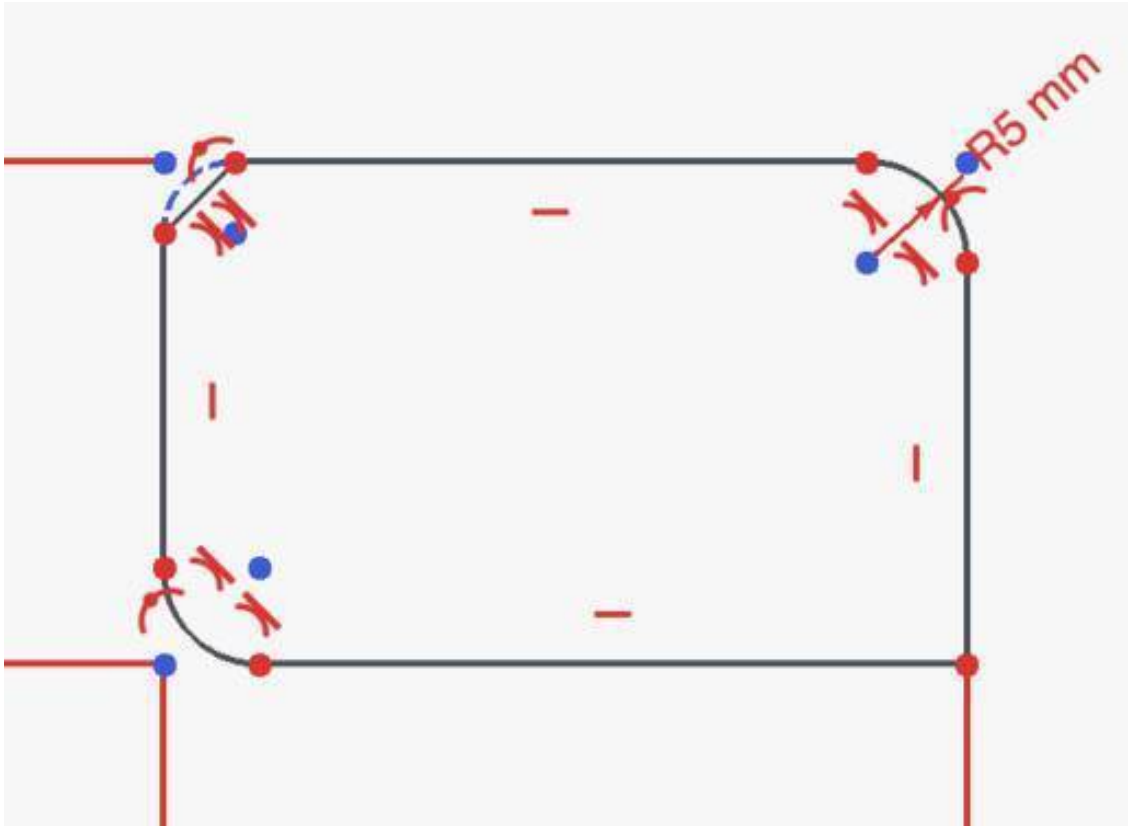


Рис. 6.10 — Скругление с размером, фаска и скругление по двум сторонам

Смещение

1. Начертите прямоугольник 30 на 20, как в прошлом примере. Счётчик: 2.
2. Щёлкните все четыре стороны.
3. Z, T — «Смещение» (Offset). Отведите указатель наружу: у курсора одно поле, расстояние.
4. Нажмите J — отметится «Добавить ограничение смещения (J)».
5. Наберите 3, Enter.

Вокруг прямоугольника лёг второй контур: четыре отрезка и четыре дуги радиусом 3 (рис. 6.11). Счётчик остался на двух: новый контур привязан к старому, а среди ограничений появился размер 3 мм.

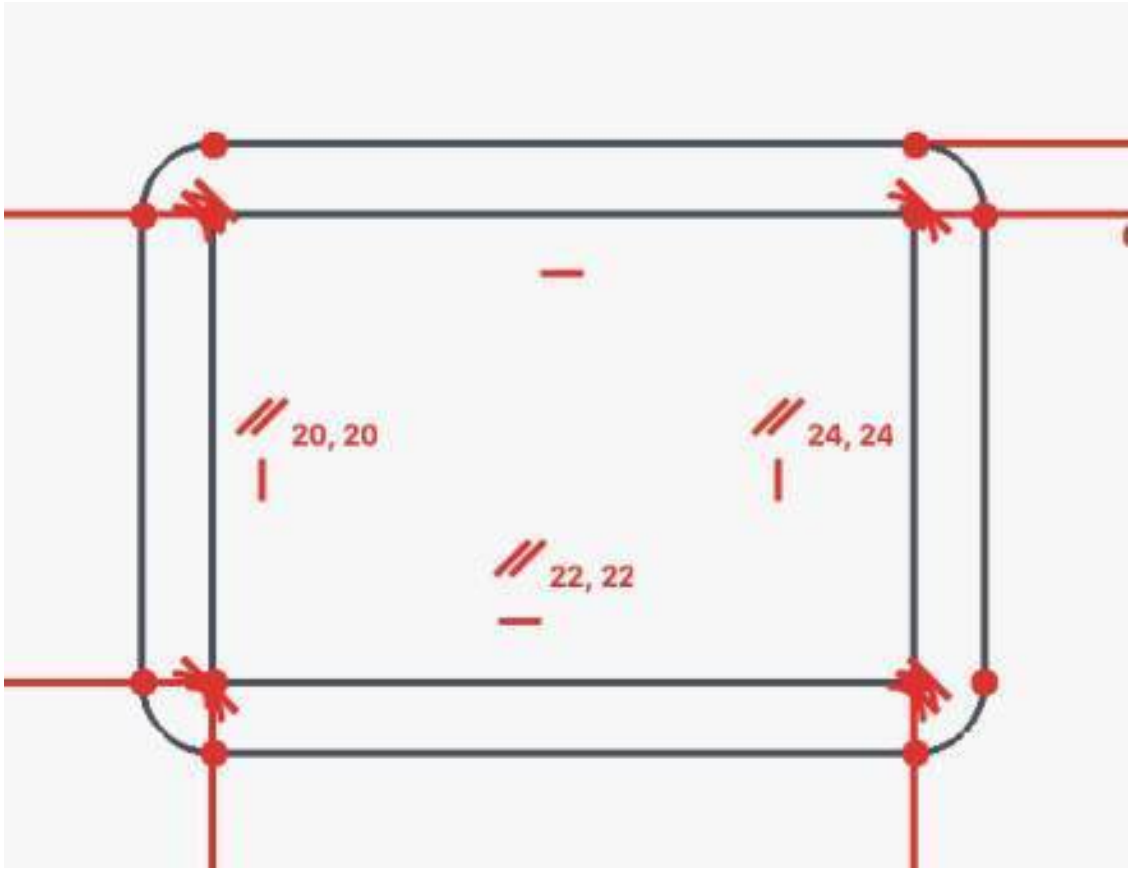


Рис. 6.11 — Смещение наружу на 3 мм с ограничением

Без флажка контур выйдет таким же, но счётчик покажет 14: дуги касаются отрезков, и больше новый контур ничем не связан. Его можно утащить мышью, о расстоянии 3 мм он не помнит.

Массивы

Линейный:

1. Начертите окружность диаметром 6 и щёлкните её.

2. W — «Переместить / Линейный массив» (Move / Array Transform). В панели «Параметры перемещения/массива» поле «Копии» равно нулю: с нулём инструмент просто переносит выделенное. Нажмите U дважды — станет 2. Отметьте «Применить ограничения равности».

3. Щёлкните центр окружности: это точка отсчёта.

4. У курсора два поля, длина и угол. Наберите 12, Enter, 0, Enter.

Окружностей три, с шагом 12 мм (рис. 6.12, слева). Диаметр задан у первой, остальные связаны с ней ограничением «Эквивалентно».

Круговой:

1. Начертите окружность диаметром 6 с центром на горизонтальной оси, правее начала координат, и щёлкните её.

2. Z, P — «Повернуть/Круговой массив» (Rotate / Polar Transform). Нажмите U три раза: «Копии» — 3.

3. Щёлкните начало координат — центр поворота. Затем щёлкните на оси правее окружности — начало отсчёта угла.

4. Наберите 270, Enter.

Четыре окружности встали по кругу через 90° (рис. 6.12, справа). Введённый угол — не шаг, а весь размах: он делится на число копий. У линейного массива наоборот: 12 мм — это шаг.

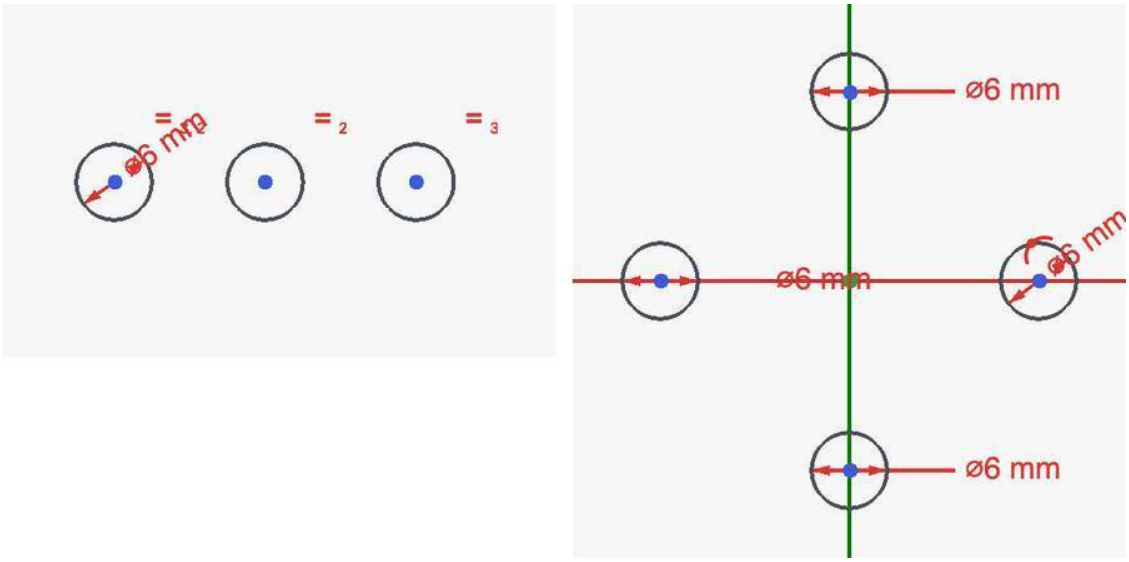


Рис. 6.12 — Линейный массив с шагом 12 мм и круговой: три копии на 270°

Главное про оба массива: положение копий программа не запоминает. Счётчик после линейного массива — 6: каждая из трёх окружностей свободна по двум направлениям. Массив в эскизе — разовое копирование; шаг и угол после него закрепляют размерами. Когда нужен ряд одинаковых элементов, обычно удобнее начертить один, а размножить уже операцию — об этом глава 10.

Вспомогательная геометрия

Клавиши G, N работают и с собственной геометрией эскиза. Начертите прямоугольник и линию по диагонали, от угла до угла; щёлкните диагональ и нажмите G, N. Она стала синей штриховой (рис. 6.13), счётчик не изменился.

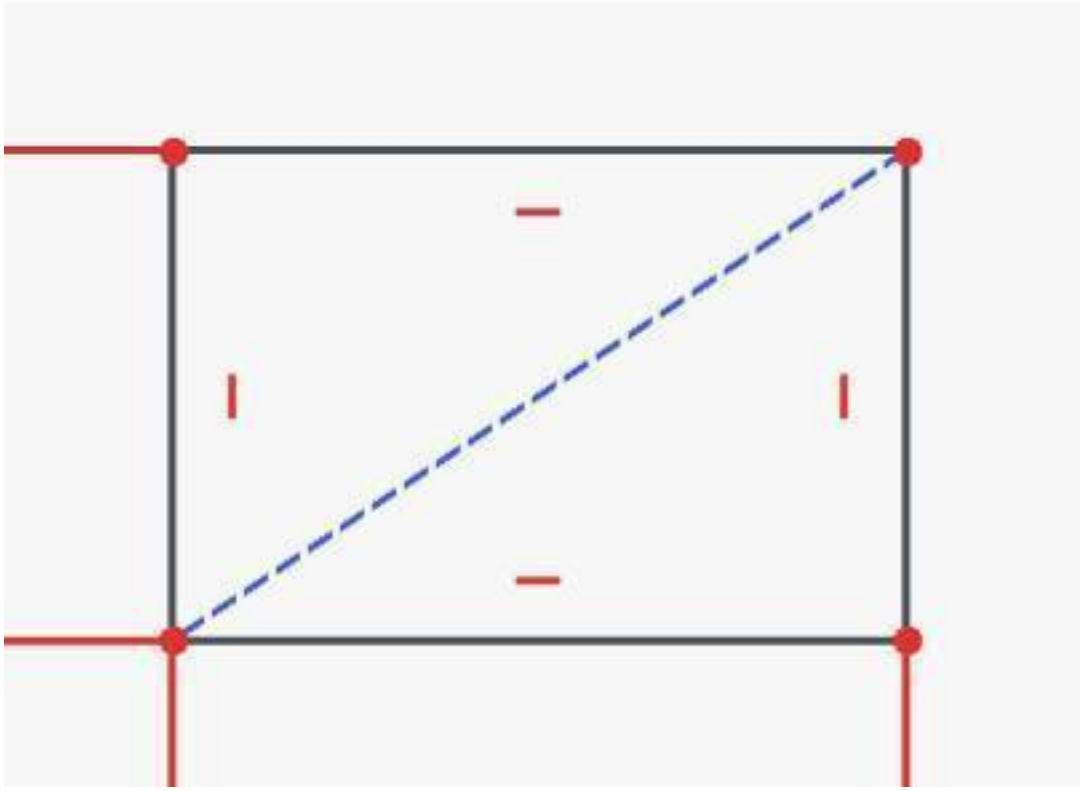


Рис. 6.13 — Диагональ — вспомогательная линия

Вспомогательная линия участвует в ограничениях, как любая другая, но в контур не входит: операция увидит здесь прямоугольник, а не два треугольника. Так чертят оси симметрии и линии, по которым выравнивают остальное.

Масштаб

Выделите геометрию и нажмите Z, P, S — «Масштабировать» (Scale). Первый щелчок — точка, которая останется на месте. Второй задаёт отрезок-эталон; после него у курсора появляется поле с коэффициентом. Наберите 2, Enter — выделенное вырастет вдвое от первой точки.

Почему так

Размер от кромки, а не от нуля. Число 15 в размере «от середины» верно, пока пластина шириной 50. Число 10 в размере «от кромки» верно всегда. Внешняя геометрия позволяет записать в эскизе второе: она превращает кромки тела в опору, которая следует за телом.

Зачем проекцию сделали определяющей. Новый эскиз часто повторяет контур готовой грани: паз под ответную деталь, прокладка. Раньше контур обводили линиями поверх проекций, в 1.1 проекция годится в контур сама. Плата — её приходится переключать, когда она нужна только для размеров. Правило простое: проекция, от которой вы ставите размер, должна быть штриховой.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.