

addFC – дополнительные инструменты для FreeCAD

Голодников Сергей

09.10.2024

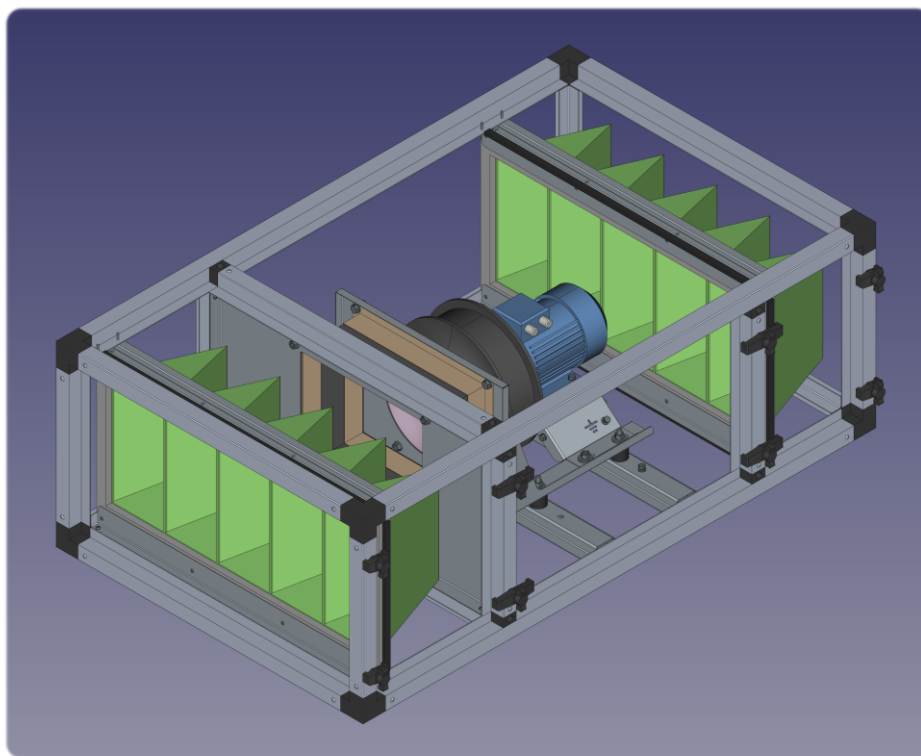
1 Цели и задачи

- Генерация спецификации материалов (BOM) на основе модели.
- Пакетная обработка деталей из листового металла.
- Создание конструкторской документации.
- Автоматизация процессов.

Главная задача верстака – упростить работу с большими и «сложными» сборками, в особенности со сборками содержащими детали из листового металла.

«Сложными» я называю параметрические модели (сборки) с большим количеством объектов и узлов в виде ссылок и связей (App::Link).

Основной смысл в повторном использовании компонентов.



Изображение 1: Пример «сложной» сборки

Логика работы базируется на добавлении пользовательских свойств к объектам, придавая им определённые смысловые значения.

2 Панель инструментов

При выборе верстака **addFC** станет доступна панель его инструментов, выглядит она так:



Изображение 2: Панель инструментов

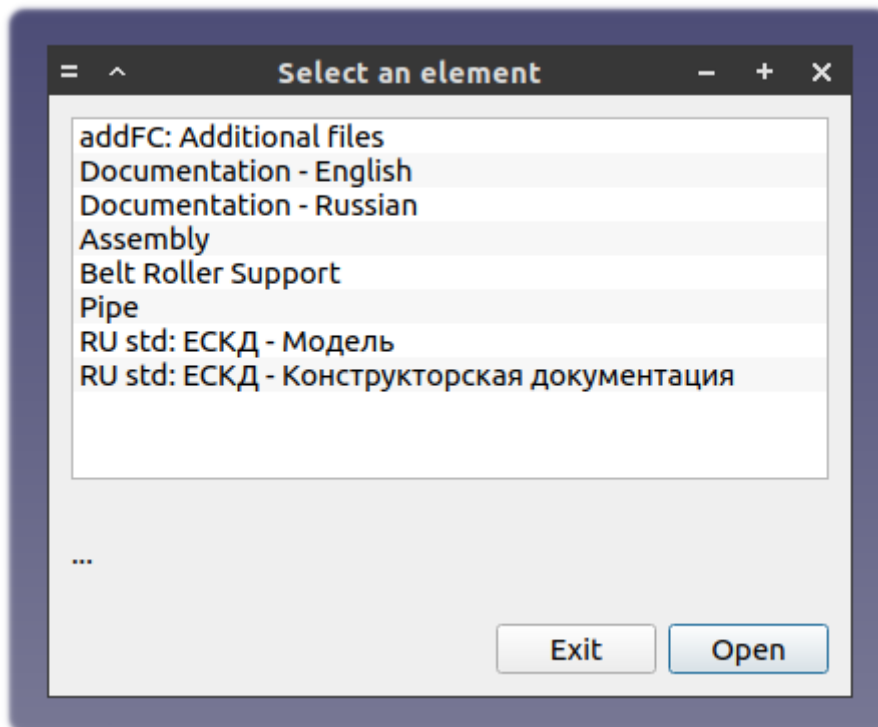
Инструменты по порядку:

1. Открыть последний рабочий файл – **Recent File** (Alt+Shift+R).
2. Изометрический вид и отображение в размер окна – **Display** (Alt+Shift+D).
3. Управление моделью – **Model Control** (Alt+Shift+C).
4. Спецификация материалов, BOM – **Specification** (Alt+Shift+S).
5. Наполнение объекта свойствами – **Add Properties** (Alt+Shift+A).
6. Создание трубопровода по координатам – **Pipe** (Alt+Shift+P).
7. Вид с разнесёнными частями – **Explode** (Alt+Shift+E).
8. Создать чертёж на основе шаблона – **Creating a Drawing** (Alt+Shift+I).
9. Помощь и примеры – **Help and Examples**.

Примечание: FreeCAD позволяет создавать дополнительные панели инструментов, рекомендую воспользоваться этим и создать из наиболее востребованных функций собственную панель для отображения её на своём основном рабочем верстаке, например в PartDesign.

3 Помощь и примеры

В составе верстака есть образцы изучив которые можно лучше понять принципы его работы, чтобы открыть один из них – воспользуйтесь командой Help and Examples на панели инструментов. Наиболее подходящий пример – **Assembly**, он и будет рассмотрен в данном руководстве.



Изображение 3: Помощь и примеры

- **Additional files** – дополнительные файлы, такие как шаблоны чертежей и шрифты.
- **Documentation** – документация по работе с верстаком.
- **Assembly** и **Belt Roller Support** – примеры моделей (сборок) и работы со свойствами. Assembly – модель параметрическая.
- **Pipe** – пример использования инструмента Pipe.
- **RU std: ЕСКД** – оформление конструкторской документации по стандартам, включая автоматическую генерацию спецификации.

4 Параметры и настройки

Specification

Sheet metal

Other

Specification group:

1

Remove

Add

	Title	Type	Addition	Alias
1	Name	String	False	
2	Code	String	False	
3	Index	String	False	
4	Material	Enumeration	False	
5	MetalThickness	Float	False	
6	Quantity	Float	True	
7	Unfold	Bool	False	
8	Unit	Enumeration	False	
9	Format	Enumeration	False	
10	Id	String	False	
11	Note	String	False	
12	Price	Float	True	
13	Type	Enumeration	False	
14	Weight	Float	True	
15	Section	Enumeration	False	

2

Values of enumerated properties:

Property	Values
1 Material	-, Steel, Galvanized, Stainless, AISI 304, AISI 316
2 Unit	-, m, kg, m ² , m ³
3 Format	A0, A1, A2, A3, A4
4 Type	-, Node, Part, Sheet metal part, Fastener, Material
5 Section	-, Документация, Комплексы, Сборочные единицы, Детали, Стандартные изделия, Про...

3

Изображение 4: Параметры спецификации

4.1 Область 1 – Наименование для группировки свойств

Свойства, которые мы добавим объектам будут объединены в специальную группу, наименование которой можно указать в соответствующем поле. Это облегчит визуальное восприятие и не позволит нашим свойствам смешиваться со стандартными.

4.2 Область 2 – Свойства пользователя

В данной таблице находятся все доступные для использования свойства.

- **Title** – наименование свойства (важно: только латинские символы).
- **Type** – тип значения свойства, для использования доступны:
 - **Bool** – логический тип данных (true или false).
 - **Enumeration** – список из заранее заданных значений.
 - **Float** – число с плавающей точкой.
 - **Integer** – целое число.
 - **String** – текстовая строка.
- **Addition** – указывает на необходимость суммировать все значения свойства (пример использования: общая масса сборки).
- **Alias** – псевдоним свойства, значение которое заменит **Title** при показе или экспорте спецификации (позволяет обойти ограничение на латинские символы).

Кнопки **Remove** и **Add** соответственно позволяют удалить выделенное в таблице свойство или добавить строку для создания нового.

4.3 Область 3 – Списки заранее заданных значений

Все свойства с типом данных **Enumeration** отображаются в этой области.

В колонке **Values** – разделённые запятой значения для формирования списка.

5 Свойства объектов

Неактивные свойства и значения в таблице, являются основными и требуются для корректной работы верстака.

Свойства должны придать смысловую нагрузку объектам FreeCAD.

- **Name** – имя, наименование объекта – самое важное свойство, программа работает с элементами только при условии наличия у них имени. Наименование должно отражать суть объекта.
- **Code** – кодовое обозначение элемента или детали.
- **Index** – идентификатор для определения позиции объекта в сборке.
- **Material** – материал объекта (список значений). Для листового металла это важное свойство, при создании плоского вида детали (развёртка) для оцинкованной и нержавеющей стали используются разные коэффициенты, также это свойство учитывается при сохранении развёртки во внешний файл.
- **MetalThickness** – толщина металла, краткое обозначение: **MT**.
- **Unfold** – определяет необходимость создания плоского вида для конкретного объекта (актуально только для деталей из листового металла).

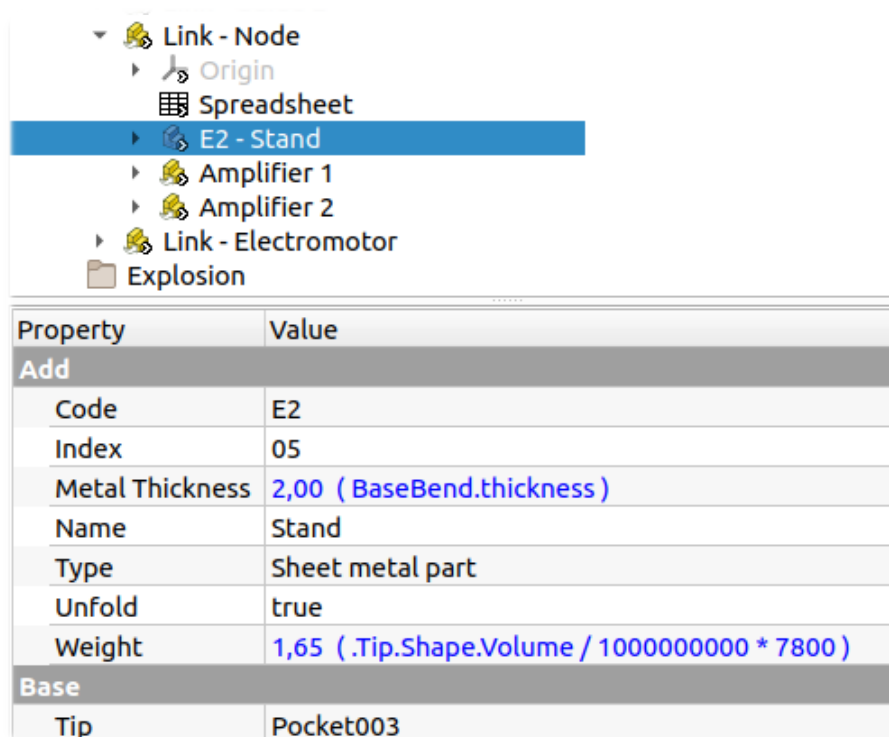
- **Quantity** и **Unit** – количество и единица измерения (-, m, kg, m², m³). Для штучных элементов значение по умолчанию в большинстве случаев – это единица (-). Для различных материалов доступны любые комбинации: например длина уплотнителя **1,2 m** или количество утеплителя **4,2 m²**. Важно: значения суммируются для одинаковых по наименованию объектов.

5.1 Дополнительные свойства

Эти свойства не являются основными (*их можно удалить*), но тем не менее они полезны в работе:

- **Format** – формат на котором выполнен документ (список значений).
- **Id** – некий идентификатор объекта для связи с другой программой, например с 1С (код номенклатуры).
- **Note** – заметка, напоминание или пояснение.
- **Price** – стоимость объекта.
- **Type** – тип объекта (список значений). Полезное свойство для группирования элементов при показе или экспорте спецификации.
- **Weight** – масса объекта.
- **Section** – разделы спецификации по стандарту ЕСКД.

*Для учёта объекта программой, только свойство **Name** является обязательным, все остальные используются по мере необходимости.*



Property	Value
Add	
Code	E2
Index	05
Metal Thickness	2,00 (BaseBend.thickness)
Name	Stand
Type	Sheet metal part
Unfold	true
Weight	1,65 (.Tip.Shape.Volume / 1000000000 * 7800)
Base	
Tip	Pocket003

Изображение 5: Пример объекта с заполненными свойствами

Specification
Sheet metal
Other

Sheet metal part, color and density:
#b4c0c8
7800 kg/m3

4

Calculate K-Factor

Steel / Galvanized

	Thickness	Radius	K-Factor	Alias
1	0.5	1.3	0.473	A
2	0.8	1.3	0.46	B
3	1.0	1.3	0.453	C
4	1.2	1.7	0.456	D
5	1.5	1.7	0.448	D
6	2.0	2.7	0.454	E
7	3.0	3.3	0.446	F

Default
Remove
Add

Stainless / AISI

	Thickness	Radius	K-Factor	Alias
1	0.5	1.3	0.473	AS
2	0.8	1.3	0.46	BS
3	1.0	1.3	0.453	CS
4	1.2	1.7	0.456	DS
5	1.5	1.7	0.448	DS
6	2.0	2.7	0.454	ES
7	3.0	3.3	0.446	FS

Default
Remove
Add

5

Изображение 6: Параметры листового металла

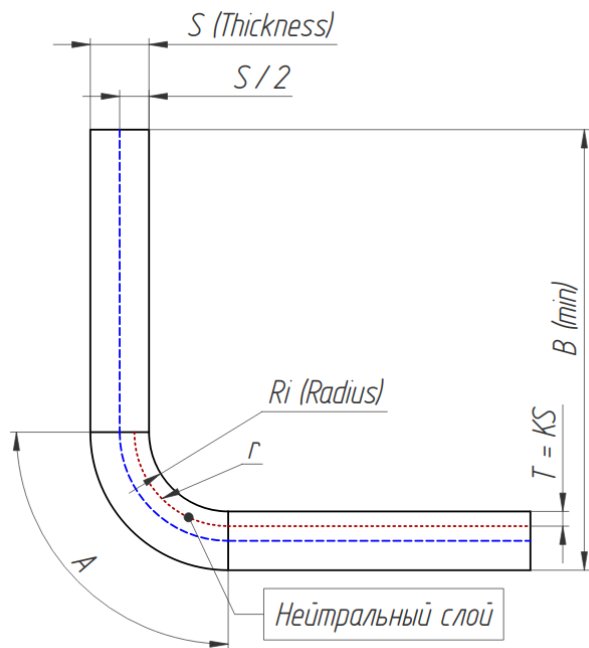
5.2 Область 4 – Параметры для детали из листового металла

Первое значение – цвет объекта в формате hex (#b4c0c8), второе – усреднённое значение плотности стали (7800 кг/м³).

5.3 Область 5 – Параметры листовой стали

В этой таблице указаны допустимые для использования толщины (**thickness**) листового металла и их параметры, такие как внутренний радиус изгиба (**radius**) и коэффициент К (**k-factor**) используемый при расчёте плоского вида (развёртки). **Alias** – это псевдоним для толщины металла он необходим для корректного экспорта развёрток во внешний формат.

Кнопка **Calculate K-Factor** автоматически вычисляет коэффициент К (**k-factor**) для каждой толщины по формулам из сопротивления материалов:



Вычисление коэффициента K

$$K = 1 / \log (1 + S / Ri) - Ri / S$$

Вычисление радиуса кривизны нейтрального слоя

$$r = Ri + K * S$$

Вычисление длины дуги нейтрального слоя

$$n = pi * r * A / 180$$

Изображение 7: Формулы вычислений параметров листового металла

Specification Sheet metal Other

Font

☐ FreeCAD interface font Sans Serif 10

For changes to take effect, you must restart FreeCAD.

Additions

☒ SheetMetal (0.4.26) ☒ ezdxf (1.3.3) ☒ NumPy (2.1.2) ☒ FFmpeg

RU std: Template

Основная надпись

Обозначение	XXXX.XXXXXX.XXX	Организация	
Разработ.	Иванов И. И.	Организация	
Проверил			
Т. контр.		Наименование	
Н. контр.		Изделие	
Утвердил			
Материал		Масса Масштаб	- 1:1
		Литера	П

Шаблоны по умолчанию

Шаблон графического документа: RU_Portrait_A4.svg

Шаблон текстового документа: RU_Portrait_A4_T_1.svg

Изображение 8: Дополнительные параметры

5.4 Область 6 – Параметры шрифта интерфейса FreeCAD и дополнения.

В области **Font** можно указать необходимость подмены стандартного шрифта программы и его параметры, в области **Additions** отображено наличие в системе дополнений необходимых для полноценной работы данного верстака.

5.5 Область 7 – Параметры для шаблонов стандарта ЕСКД и СПДС.

В этой области можно указать значения для автоматического заполнения штампов при создании чертежей на основе шаблона и автоматической генерации спецификации на основе модели. В качестве первого листа спецификации будет выбран шаблон указанный в соответствующем поле (шаблон текстового документа).

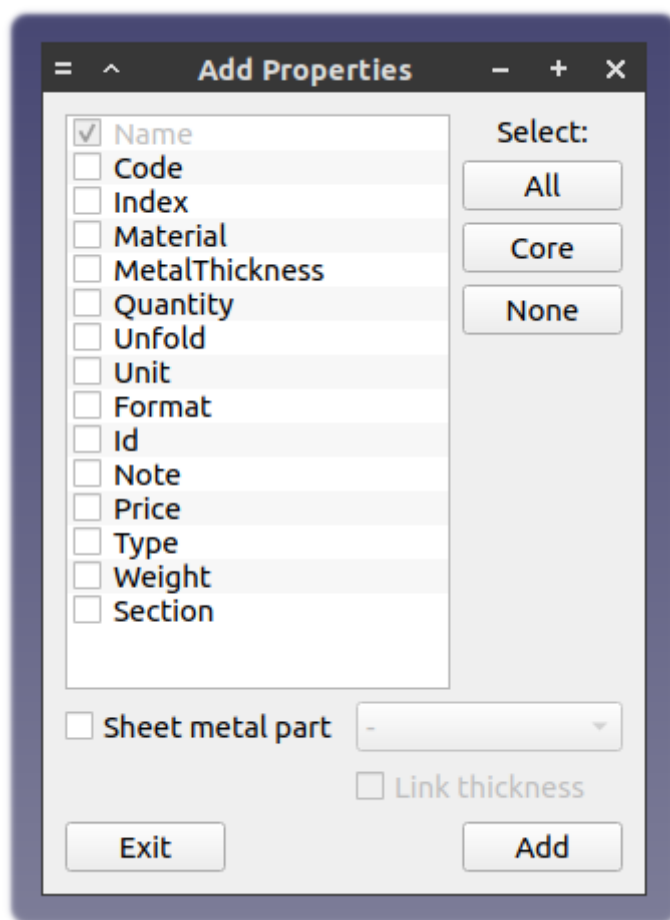
Все шаблоны находятся в директории – `addFC/repo/add/stdRU/tpl`

Для их корректного отображения вам **потребуется**

установить шрифт – `addFC/repo/add/stdRU/GOST-2.304.81-A-Slanted.ttf`

6 Наполнение объекта свойствами

Для добавления свойств необходимо выделить один или несколько объектов и воспользоваться командой Add Properties на панели инструментов.



Изображение 9: Интерфейс команды **Add Properties**

В интерфейсе команды виден весь список доступных пользовательских свойств. Необходимо отметить нужные и нажать **Add**.

Кнопки **All**, **Core**, **None** – выбрать все свойства, только основные и очистить выбор, соответственно.

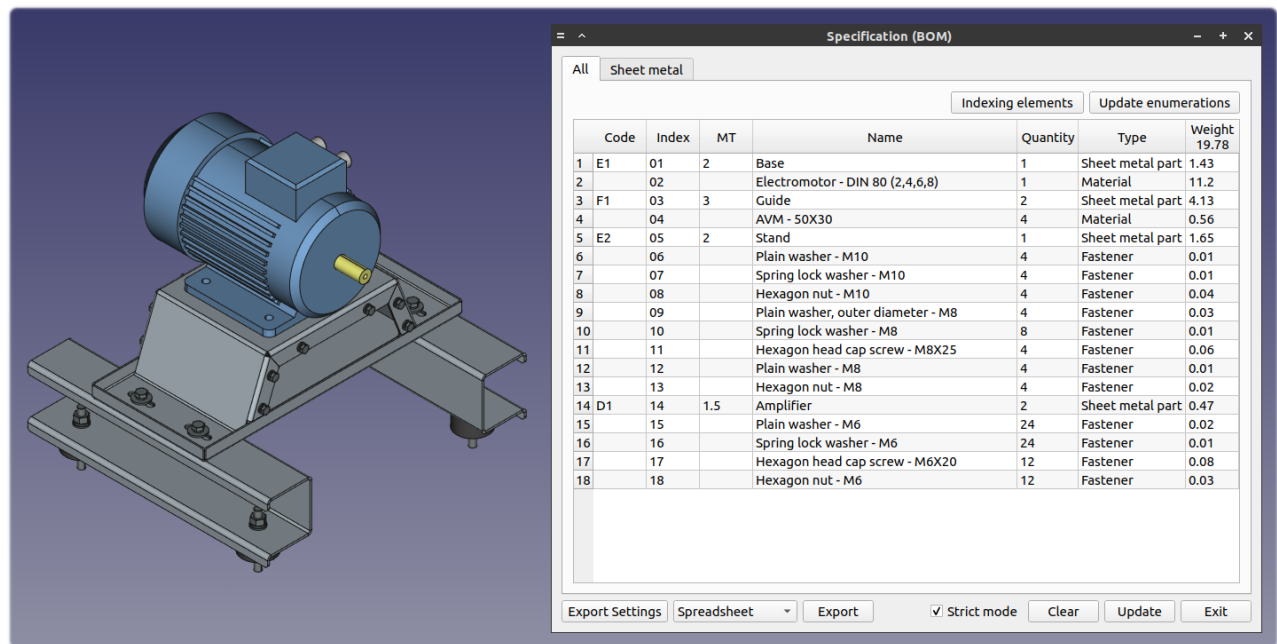
Флажок **Sheet metal part** отметит все необходимые свойства для детали из листового металла, позволит выбрать тип материала и при желании связать свойство **MetalThickness** с параметрами толщины объекта. Дополнительно элементу будет присвоена масса и цвет на основе параметров указанных в настройках – изображение 6: область 1.

Примечание: В процессе присвоения имени (Name) и индекса (Index) программа пробует угадать значения свойств на основе наименования (Label) объекта.

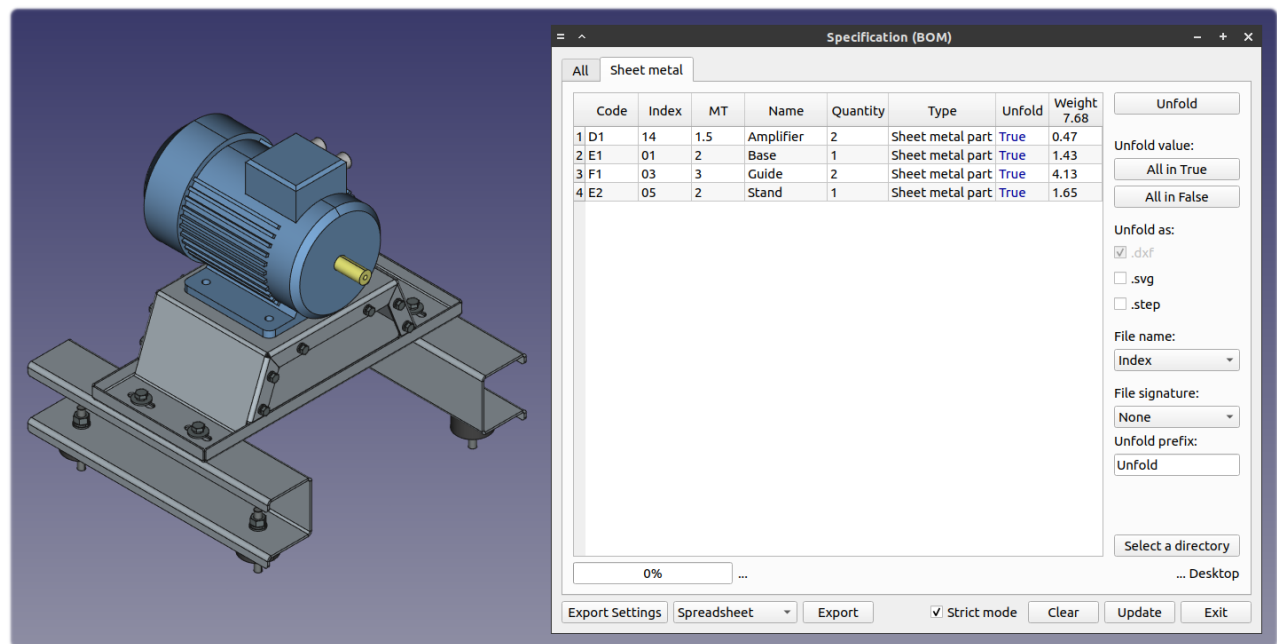
Для автоматического заполнения этих свойств шаблон наименования должен соответствовать: «**Index. Name - Copy**» или «**Index - Name - Copy**». В случае соответствия шаблону значения будут корректно заполнены, пример – изображение 5.

7 Спецификация материалов (BOM)

Для формирования и работы со спецификацией необходимо воспользоваться командой Specification на панели инструментов. На основе пользовательских свойств программа сформирует спецификацию для любой модели (сборки), рассмотрим пример из состава верстака:



Изображение 10: Спецификация, общая



Изображение 11: Спецификация, листовой металл

Интерфейс спецификации содержит две вкладки:

- **All** – все объекты.
- **Sheet metal** – объекты из листового металла.

Опция **Strict mode** – если флажок снят программа будет обрабатывать все пользовательские свойства находящиеся в вашей группе – изображение 4: область 1, а не только указанные в таблице (область 2).

На вкладке общей спецификации расположены две кнопки:

- **Indexing elements** – автоматическое проставление позиций (Index) для всех учтённых в спецификации элементов.
- **Update enumerations** – обновление в объектах модели свойств содержащих списки заранее заданных значений. Полезно после добавлении новых значений в настройках.

Далее мы рассмотрим объекты из листового металла – на данной вкладке расположены функции для их пакетной обработки. Производственный процесс таких деталей в большинстве случаев потребует два элемента:

- Заготовка (развёртка) – плоский вид объекта для нестинга и обработки на станках.
- Деталь в 3D формате (step) – для гибки листового металла.

Все детали из сформированного на основе модели (сборки) списка, в зависимости от значения свойства **Unfold**, могут быть обработаны и экспортированы во внешние файлы, такие как dxf, svg (развёртки) и step (3D).

Select a directory – позволяет выбрать директорию для сохранения результатов работы (значение по умолчанию – рабочий стол пользователя).

Unfold prefix – имя директории в которую будут сохранены файлы, а также вариант для подписи детали.

File signature – список вариантов подписи детали. Подпись – это текст в файле, внутри контура детали, который может быть полезен при нестинге. На данный момент функция доступна только для формата dxf. При значении **None** подпись отключена. Важно: для работы этой функции необходим Python модуль: **ezdxf**.

File Name – шаблон по которому будут названы файлы, например для детали «E2 - Stand» (изображение 5) варианты имени будут следующими:

- **Name** = Stand (1).dxf
- **Code** = E2 (1).dxf
- **Index** = 05 (1).dxf
- **Code + Name** = (E2) Stand (1).dxf
- **Index + Name** = (05) Stand (1).dxf

Цифра в скобках, в конце имени – это номер экземпляра (копии), если в сборке две или более одинаковых детали они будут сохранены в отдельные файлы.

После выбора нужных опций и параметров можно нажать кнопку **Unfold** и программа сохранит все полученные данные по указанному пути. Процесс работы можно наблюдать в индикаторе прогресса и во FreeCAD, на панели отчёта (report view).

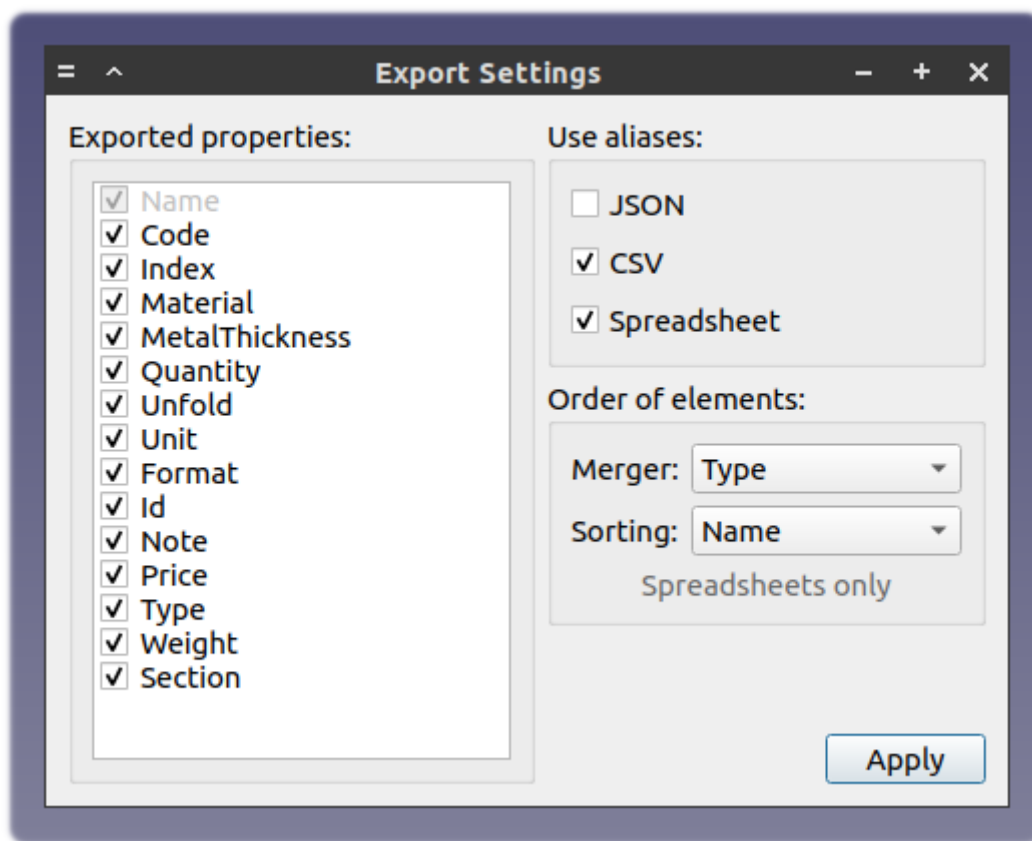
Важно: файлы деталей будут размещены в дополнительных директориях, имена которых соответствуют псевдониму (Alias) толщины стали – изображение 6: область 2.

8 Экспорт спецификации

Программа может экспортировать спецификацию модели (сборки) для последующего просмотра, редактирования или иного использования, доступные форматы:

- **Spreadsheet** – электронная таблица FreeCAD.
- **json** – текстовый формат обмена данными, самый подходящий вариант для последующей автоматизации.
- **csv** – представление базы данных.
- **RU std: Spreadsheet** – создание электронной таблицы со спецификацией в формате ЕСКД.
- **RU std: TechDraw** – выгрузка спецификации в оформлении текстового документа ЕСКД.

Для начала рассмотрим параметры экспорта, кнопка **Export Settings**.



Изображение 12: Параметры экспорта спецификации

В левой части интерфейса можно выбрать свойства которые будут экспортированы.

В области **Use aliases** нужно отметить форматы в которых будут использоваться псевдонимы, как замена имени (Title) свойства.

В области **Order of elements** нужно указать свойства для группировки и сортировки объектов:

- **Merger** – свойство по значению которого элементы будут сгруппированы, самое подходящее – тип объекта (Type), например вывести сначала все метизы, потом материалы, следом – детали.
- **Sorting** – свойство по значению которого объекты будут сортированы внутри группы (Merger), самое логичное – сортировать по индексу (Index) или имени (Name).

Примечание: в вариантах выгрузки спецификации по правилам ЕСКД элементы будут сгруппированы по значениям свойства **Section**, в соответствии со стандартами оформления.

Выберете необходимые опции, подходящий формат и нажмите кнопку **Export**.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Code	Index	MT	Name	Quantity	Type	Unfold	Weight
2		6		Plain washer - M10	4	Fastener		0,01
3		7		Spring lock washer - M10	4	Fastener		0,01
4		8		Hexagon nut - M10	4	Fastener		0,04
5		9		Plain washer, outer diameter - M8	4	Fastener		0,03
6		10		Spring lock washer - M8	8	Fastener		0,01
7		11		Hexagon head cap screw - M8X25	4	Fastener		0,06
8		12		Plain washer - M8	4	Fastener		0,01
9		13		Hexagon nut - M8	4	Fastener		0,02
10		15		Plain washer - M6	24	Fastener		0,02
11		16		Spring lock washer - M6	24	Fastener		0,01
12		17		Hexagon head cap screw - M6X20	12	Fastener		0,08
13		18		Hexagon nut - M6	12	Fastener		0,03
14		2		Electromotor - DIN 80 (2,4,6,8)	1	Material		11,20
15		4		AVM - 50X30	4	Material		0,56
16	E1	1	2	Base	1	Sheet metal part	True	1,43
17	F1	3	3	Guide	2	Sheet metal part	True	4,13
18	E2	5	2	Stand	1	Sheet metal part	True	1,65
19	D1	14	1,50	Amplifier	2	Sheet metal part	True	0,47

Изображение 13: Результат экспорта спецификации

Перв. примен.	Формат	Зона	Позиция	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание		
	A4			АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ СБ	Сборочный чертёж	1			
					Детали				
		1		АБВГ.ХХХХХХ.001	Основание	1			
		2		АБВГ.ХХХХХХ.002	Ролик	1			
					Стандартные изделия				
		4			Болт М8Х35 ГОСТ 7798-70	1			
		5			Гайка М8 ГОСТ 5915-70	1			
		6			Шайба пружинная М8 ГОСТ 6402-70	1			
		3			Прочие изделия				
Справ. №					Кольцо резиновое ГОСТ 9833-73	1	061-071-58		
Подпись и дата									
Инф. № дубл.									
Взам. инв. №									
Подпись и дата									
Инв. № подл.									
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ СБ			
	Разработ.	Иванов И. И.		28.07.24		Вер			
	Проверил	Петров П. П.		29.07.24		1			
	Н. контр.								
	Утвердил	Сидоров С. С.		30.07.24					
	Опора					Лит.	Лист	Листов	
						П		2	2
						Организация			

Копировал

Формат А4

Изображение 14: Результат экспорта спецификации по правилам ЕСКД

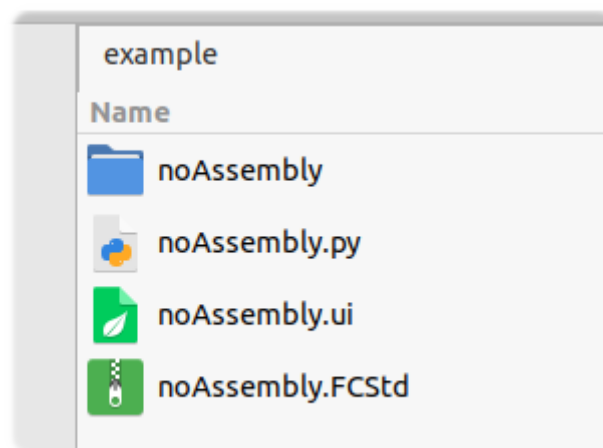
9 Управление моделью

На панели задач доступна команда Model Control назначение которой – запустить управляющую программу для **параметрической** модели.

В своей работе я убедился, что не одна из существующих (для FreeCAD) систем сборки в комплексе с таблицами и уравнениями не способна дать таких возможностей, которые доступны из программного кода.

Своим параметрическим моделям я пишу управляющие файлы и интерфейсы, вызывать которые удобно одной командой, для этого рядом с основным файлом модели (сборки) должны находиться два файла названные аналогично основному.

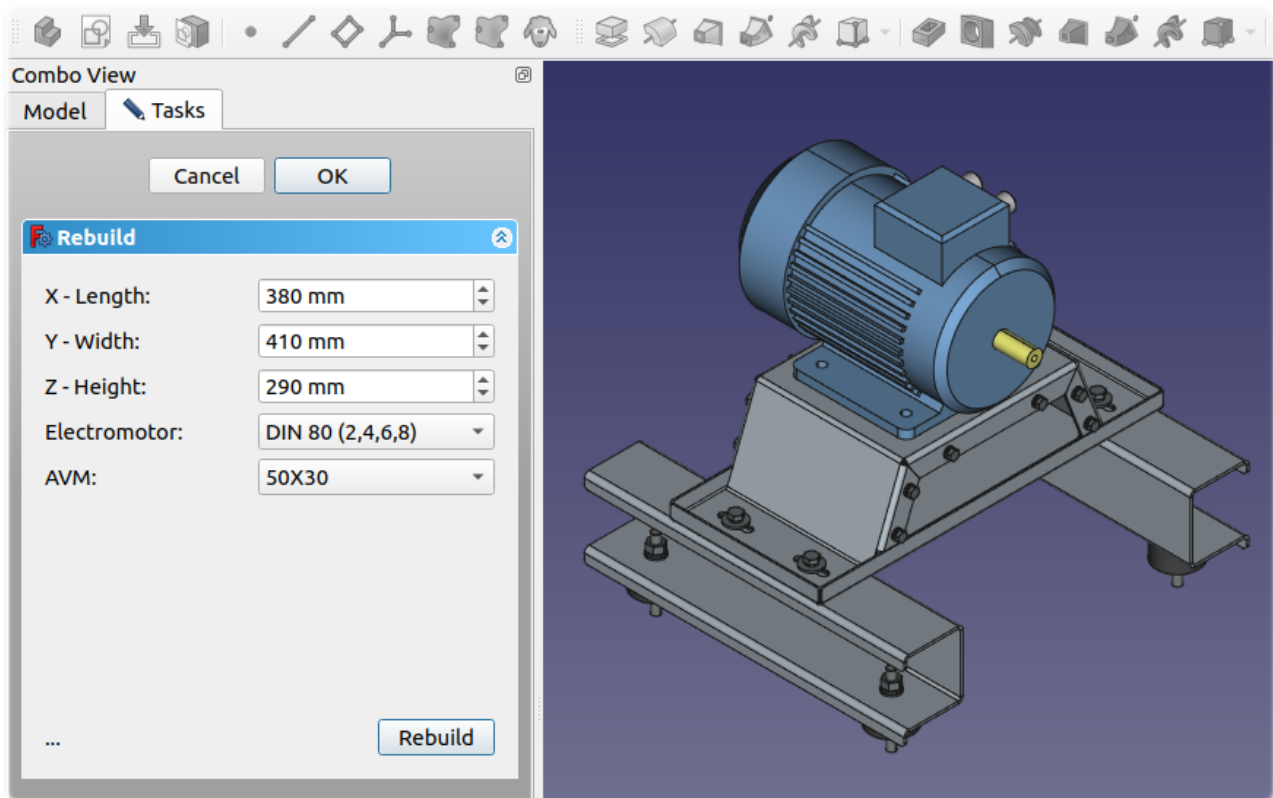
В образцах поставляемых вместе с верстаком доступен простой пример параметрической модели для изучения – `addFC/repo/example`



Изображение 15: Файлы параметрической модели

- **.FCStd** – основной файл модели – сборка.
- **.ui** – интерфейс пользователя – Qt.
- **.py** – управляющий код – Python.
- **noAssembly** – директория с дополнительными файлами.

Открыв основной файл, командой Model Control можно вызвать его управляющую программу:



Изображение 16: Интерфейс управления параметрической моделью

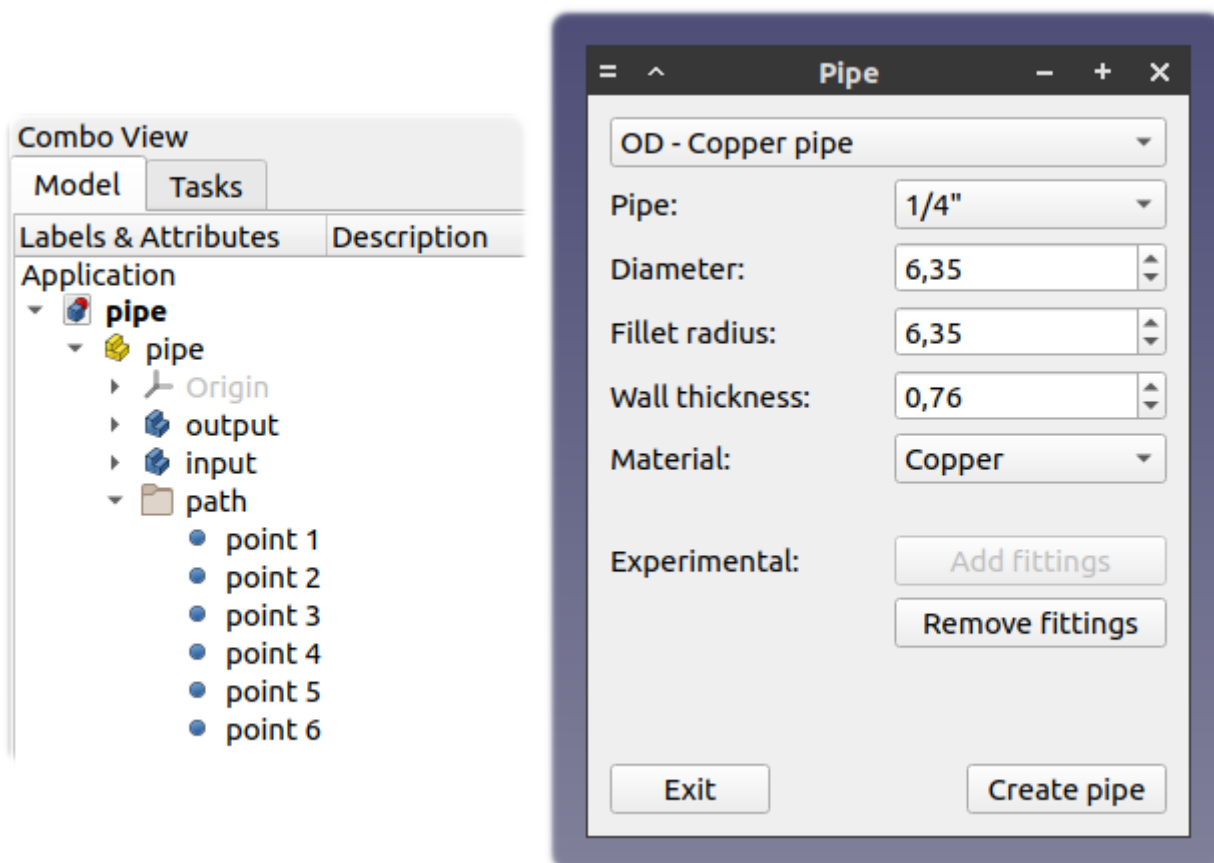
Для удобства графический интерфейс пользователя встроен в боковую панель FreeCAD, задав в нём необходимые параметры и выбрав из списков комплектующие нажмите кнопку **Rebuild** – модель перестроится.

10 Создание трубопровода по координатам

Команда Pipe позволяет создать трубопровод по заданным координатам, *источником координат должны выступать точки* – это либо **Point** (инструмент верстака Draft), либо **Datum Point** (верстак PartDesign). Первый вариант предпочтителен.

Создайте и расположите в 3D пространстве точки, для удобства их можно объединить в группу, как показано на примере (изображение 17).

Выделите в дереве проекта группу с точками или любой другой родительский элемент (в примере это pipe и path) и нажмите Pipe на панели инструментов.



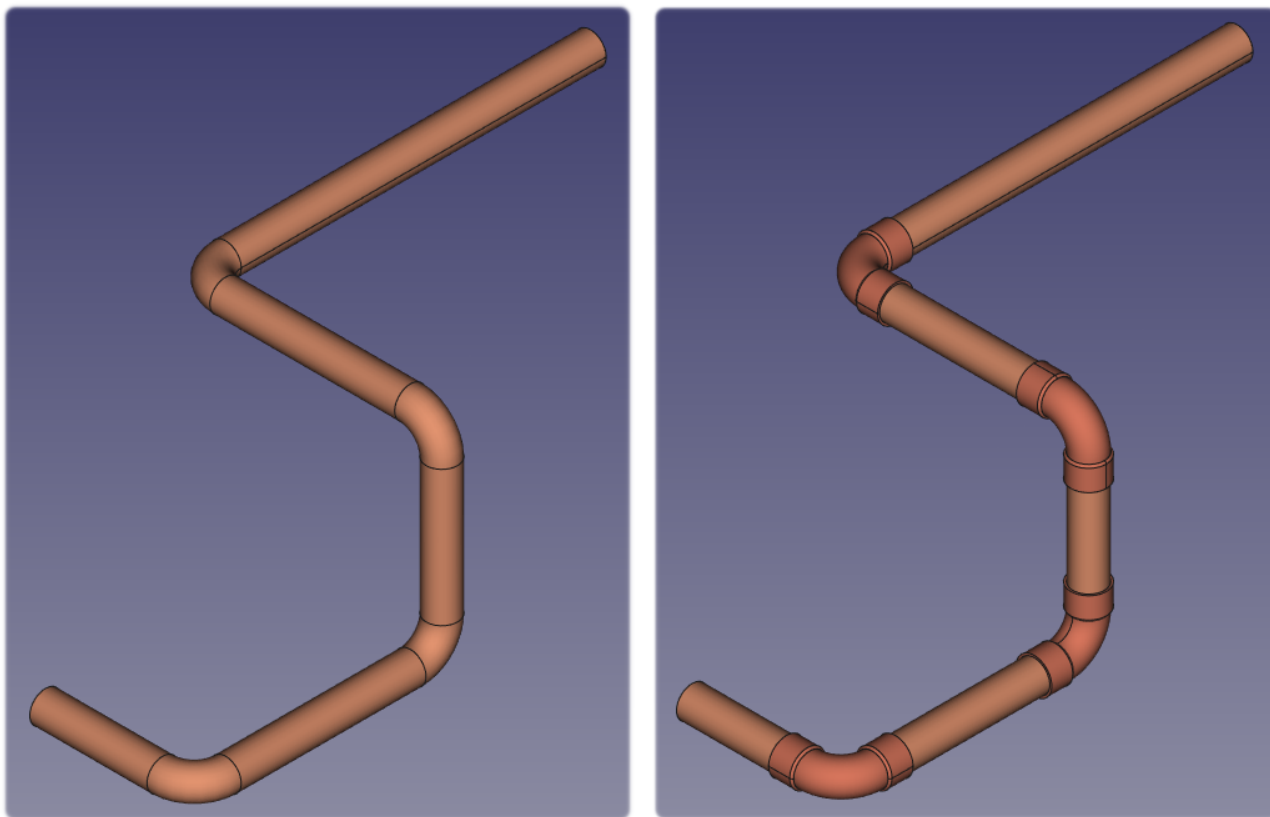
Изображение 17: Точки координат и интерфейс команды **Pipe**

В интерфейсе доступно:

- **Верхний раскрывающийся список** – это шаблоны труб, доступные варианты:
 - **OD - Copper pipe** – дюймовые медные трубы в диапазоне от 1/4” до 4+1/8”.
 - **DN - Nominal pipe size** – трубы по условному проходу.
 - **DN - ВГП (водогазопроводная)** – трубы по ГОСТ 3262-75.
- **Pipe** – вариант размера трубы из выбранного шаблона.
- **Diameter** – диаметр, OD – внешний, DN – условный проход.
- **Fillet radius** – радиус изгиба трубы.
- **Wall thickness** – толщина стенки трубы.
- **Material** – материал трубы, значения цвета и плотности.

При необходимости значения диаметра, изгиба и толщины стенки можно указать вручную, изменяя значения соответствующих полей.

После выбора необходимых параметров нажмите **Create pipe**.



Изображение 18: Результат работы команды **Pipe**

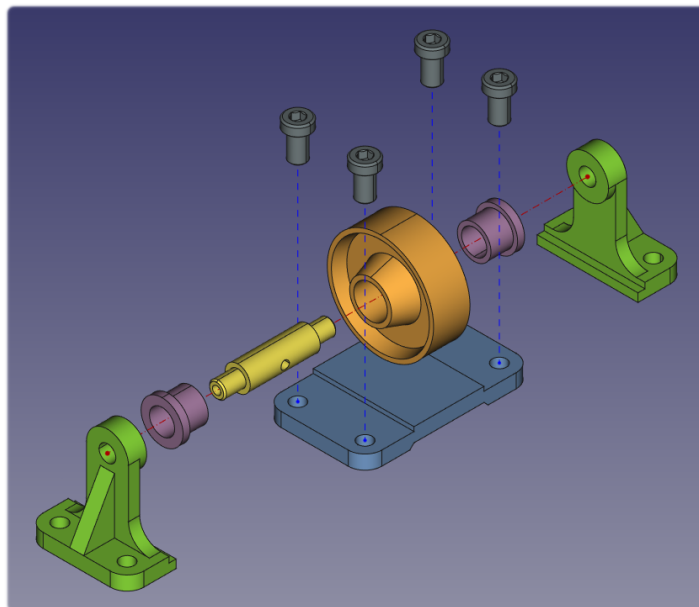
Программа получит координаты всех точек (сами точки будут сортированы по названию – **Label**, в порядке возрастания) и построит трубопровод с заданными ранее параметрами.

На изображении показан результат работы команды, справа вариант с добавленными фитингами (команда **Add fittings**), в данном случае это углы двухраструбные под пайку.

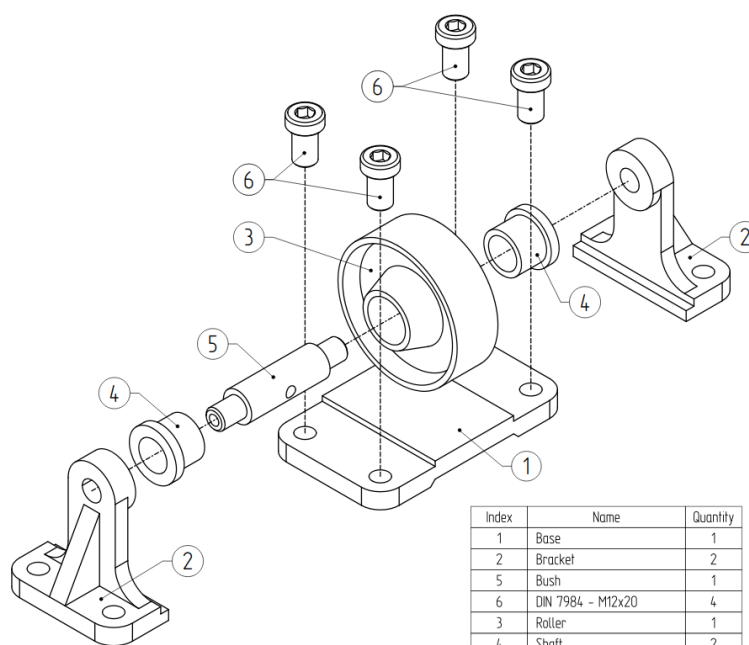
Подробности можно посмотреть открыв соответствующий пример, воспользовавшись командой **Help and Examples** на панели инструментов.

11 Вид с разнесёнными частями

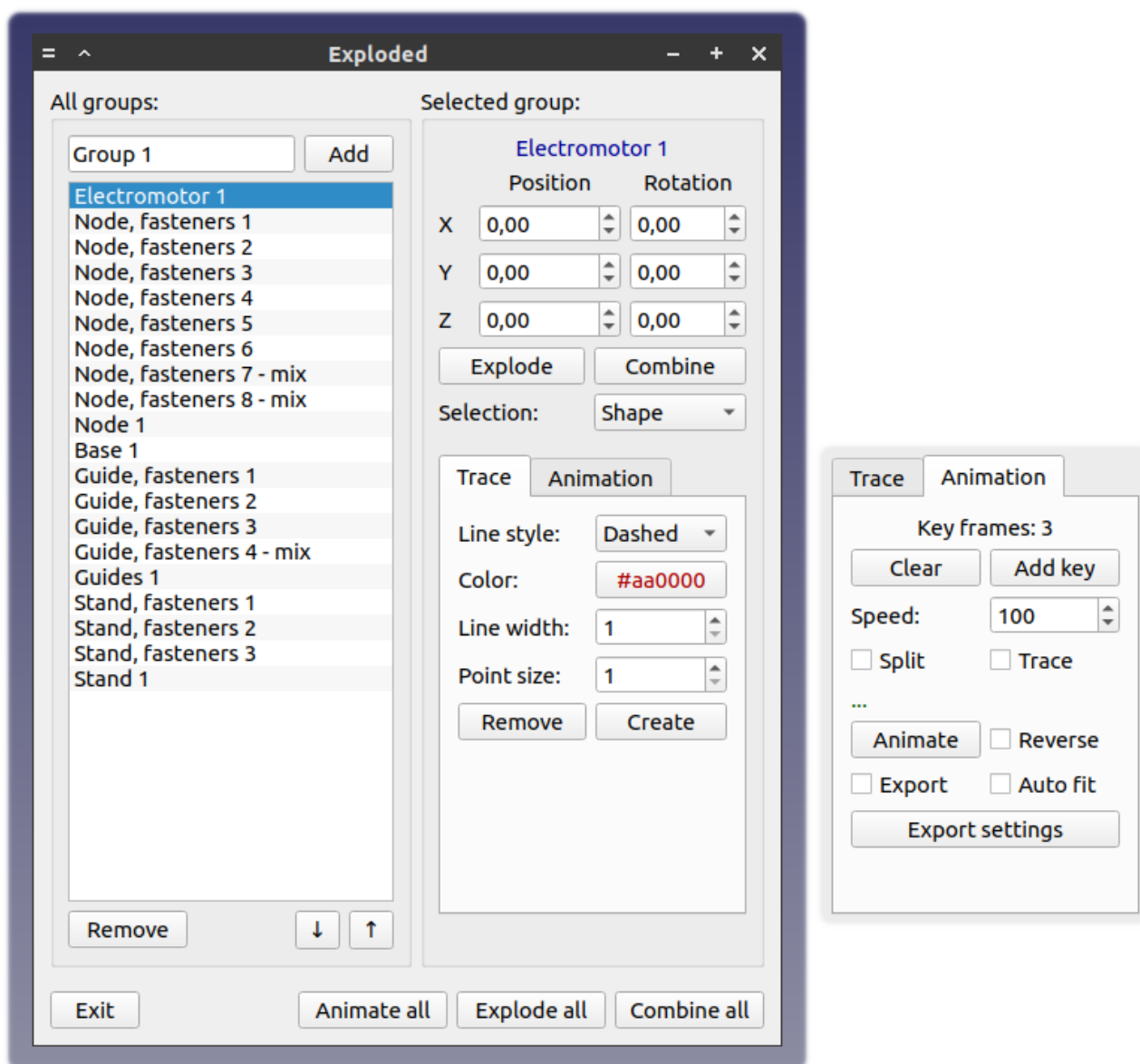
Команда Explode отвечает за создание вида с разнесёнными частями (взрыв-схема) – это эскизный вид конструкции (сборки) с разнесёнными составными частями, который позволяет передать информацию об изделии в более простом и удобном для понимания виде. Инструмент позволяет создавать, анимировать и сохранять виды.



Изображение 19: Пример работы команды **Explode**: вид модели с разнесёнными частями



Изображение 20: Пример работы команды **Explode**: экспорт вида в чертёж



Изображение 21: Интерфейс команды **Explode**

В левой части интерфейса находятся группы, группа – это один или несколько объединённых элементов. Чтобы создать группу нужно выделить объекты в дереве проекта или окне 3D вида и нажать кнопку добавить (**Add**). Созданные группы можно удалять (**Remove**) и перемещать по позициям (стрелки: вверх, вниз).

Двойной клик по имени группы сделает её активной, область: **Selected group**.

Элементы активной группы можно перемещать по координатам (**Position**) и вращать по осям (**Rotation**). Все действия отображаются в окне 3D вида и автоматически сохраняются.

Кнопка **Combine** возвращает всем элементам в группе исходное расположение.

Кнопка **Explode** переводит объекты группы в расположение заданное пользователем.

Список **Selection** - внешний вид выделенных объектов:

- **Shape** – заливка объекта цветом (стандартное выделение).
- **BoundingBox** – рамка вокруг объекта.
- **None** – нет выделения.

Вкладка **Trace** отвечает за направляющие – это визуальные линии от исходной позиции элемента до его текущего расположения, указанного пользователем.

- **Line style** и **Color** – стиль направляющей линии и её цвет.
- **Line width** и **Point size** – толщина линии и размер начальной и конечной точек.
- **Create** и **Remove** – создать и удалить направляющие линии для группы.

Пример направляющих можно увидеть на изображениях 19 и 20.

Вкладка **Animation** отвечает за анимирование разнесённого вида и экспорт анимации в видео файл. Общий принцип работы таков: после перемещения и/или поворота объекта можно задать ключевой кадр (**Add key**) программа анимирует движение и/или вращение объектов от начального расположения до положения заданного ключевым кадром. Количество кадров неограниченно. Текущее количество кадров отображается в поле: **Key frames**. Кнопка **Clear** удалит все созданные ключевые кадры для группы.

Speed – скорость воспроизведения анимации для текущего ключевого кадра.

Split – если отмечено, то объекты в группе будут анимированы последовательно.

Trace – отображать направляющие линии для объектов в процессе анимации.

Кнопка **Animate** – воспроизвести анимацию по ключевым кадрам.

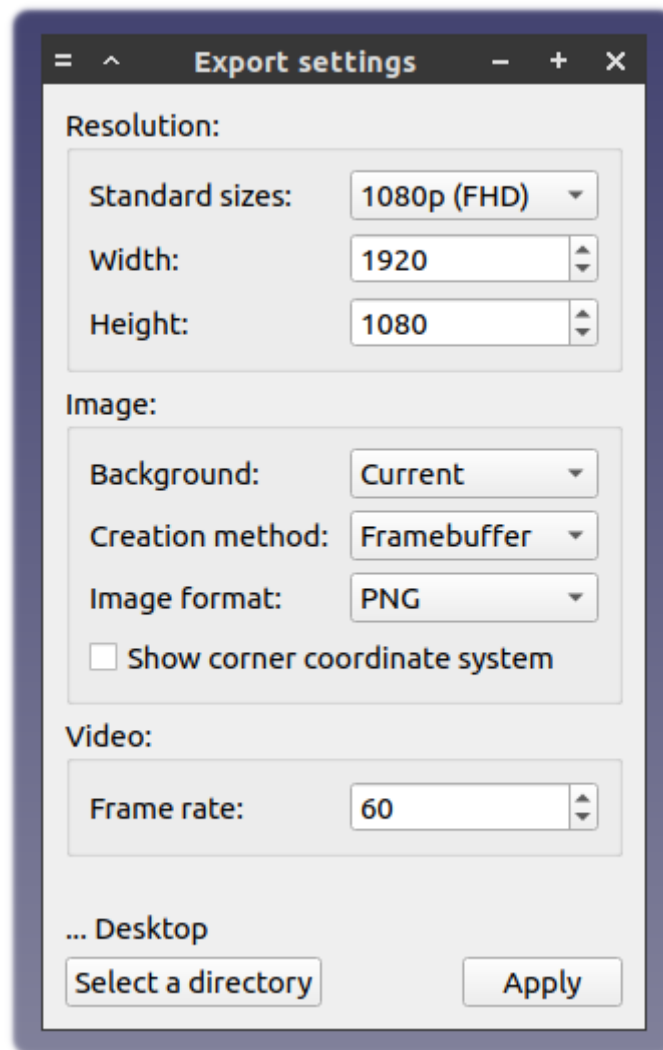
Галочка **Reverse**, если отмечена – анимация будет воспроизведена в обратном порядке.

Auto fit – автоматическое позиционирование камеры для отображения всех элементов.

Export – при воспроизведении сохранить анимацию в видео файл.

Важно: для полноценной работы необходимы:

- Python модуль **NumPy** для анимации.
- Библиотека **FFmpeg** для экспорта анимации в видео файл.



Изображение 22: Опции экспорта анимации, кнопка **Export settings**

Опции экспорта – это разрешение (**Resolution**) видео файла, его частота кадров (**Frame rate**), директория для сохранения результата – кнопка **Select a directory**, а так же некоторые настройки покадровых изображений:

- **Image format** – PNG (выше качество) и JPG (быстрее).
- **Background и Creation method.**