

addFC – дополнительные инструменты для FreeCAD

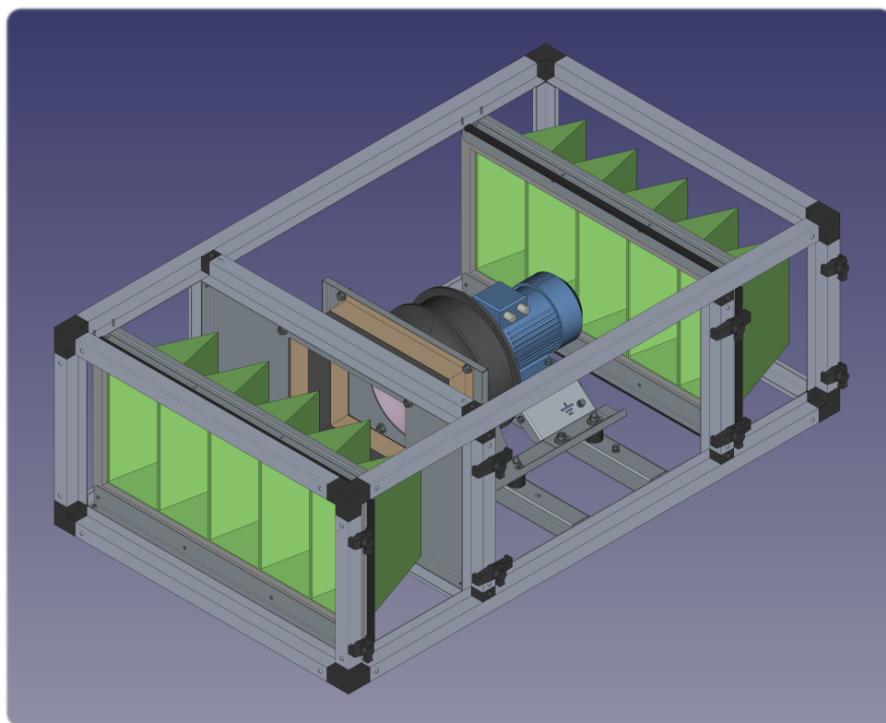
Голодников Сергей

17.04.2025

1 Цели и задачи

- Генерация спецификации материалов на основе модели.
- Пакетная обработка деталей из листового металла.
- Помощь в создании конструкторской документации.
- Библиотека компонентов.
- 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:

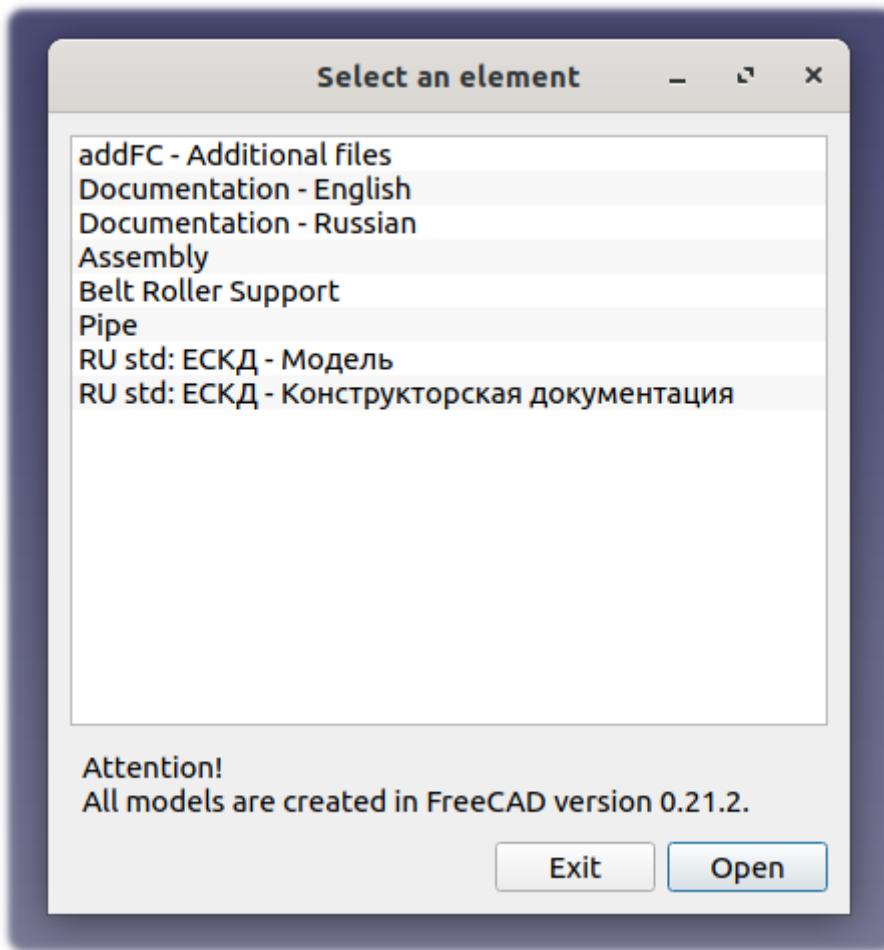
1. Открыть последний рабочий файл – **Recent File** (клавиша R).
2. Изометрический вид и отображение в размер окна – **Display** (клавиша D).
3. Управление моделью – **Model Control** (клавиша C).
4. Спецификация материалов – **Model Information** (клавиша I).
5. Наполнение объекта свойствами – **Add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

Примечание: FreeCAD позволяет создавать дополнительные панели инструментов, рекомендуя 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.

Важно: корректное отображение моделей может зависеть от версии FreeCAD.



Изображение 3: Помощь и примеры

- **Additional files** – дополнительные файлы, такие как шаблоны чертежей, штриховки и шрифты.
- **Documentation** – документация по работе с верстаком (этот файл).
- **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

Properties Materials Sheet metal Other

Name of the property group: «Add» 1		Type	Addition	Alias
1	Name	String	False	
2	Code	String	False	
3	Index	String	False	
4	Material	Enumeration	False	
5	MetalThickness	Float	False	
6	Node	String	False	
7	Price	Float	True	
8	Quantity	Float	True	
9	Unfold	Bool	False	
10	Unit	Enumeration	False	
11	Weight	Float	True	
12	Format	Enumeration	False	
13	Id	String	False	
14	Note	String	False	
15	Type	Enumeration	False	
16	Section	Enumeration	False	

Available types: Bool, Enumeration, Float, Integer, String 2

Values of enumerated properties	
Property	Values
1 Material	... use the materials tab
2 Unit	-, m, kg, m ² , m ³
3 Format	-, A0, A1, A2, A3, A4
4 Type	-, Part, Sheet metal part, Fastener, Material
5 Section	-, Документация, Комплексы, Сборочные единицы, Детали, Стандартные изделия, Прочие изделия, ...

3

Изображение 4: Свойства пользователя

4.1 Область 1 – Наименование для группировки свойств

Свойства, которые мы добавим объектам будут объединены в специальную группу с наименованием «Add». Это облегчит визуальное восприятие и не позволит нашим свойствам смешиваться со стандартными.

4.2 Область 2 – Свойства

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.

4.4 Стандартные свойства

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. Дополнительно: к этому свойству можно привязать плотность и стоимость за единицу для автоматического подсчёта массы и себестоимости объекта.
- **MetalThickness** – толщина металла, краткое обозначение: «МТ».
- **Node** – наименование узла которому принадлежит объект, полезно для разделения итоговой спецификации на группы. Примечание: при отсутствии свойства или его значения используется имя (Label) документа.

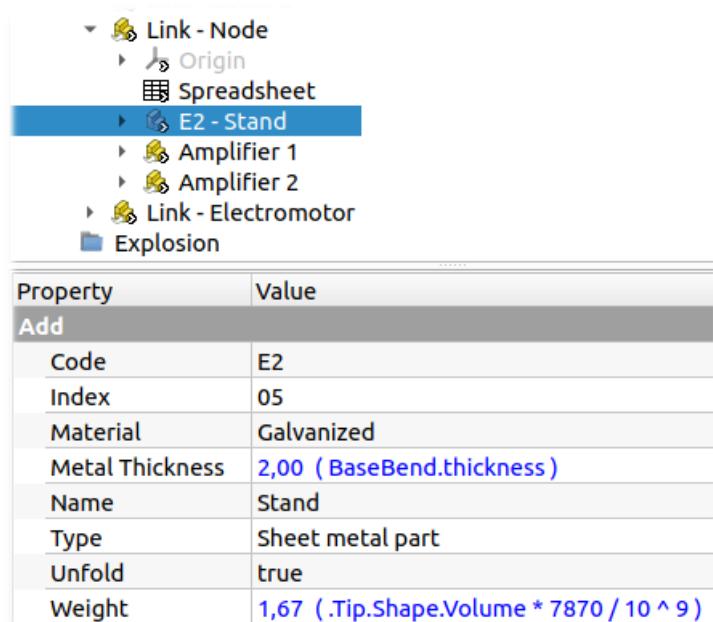
- **Price** – себестоимость объекта (может быть задана уравнением с привязкой к материалу).
- **Unfold** – определяет необходимость создания плоского вида для конкретного объекта (актуально только для деталей из листового металла).
- **Weight** – масса объекта (может быть задана уравнением с привязкой к материалу).
- **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.

4.5 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.
- **Type** – тип объекта (список значений). Полезное свойство для группирования элементов при показе или экспорте спецификации.
- **Section** – разделы спецификации по стандарту ЕСКД.

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



Изображение 5: Пример объекта с заполненными свойствами

Properties		Materials		Sheet metal		Other			
Color of sheet metal parts				#b4c0c8	4	Calculate K-Factor			
Galvanized / Steel				Stainless / AISI					
Thickness	Radius	K-Factor		Thickness	Radius	K-Factor			
1 0.35	1.0	0.475		1 0.4	1.0	0.472			
2 0.4	1.0	0.472		2 0.5	1.0	0.466			
3 0.45	1.0	0.469		3 0.6	1.0	0.461			
4 0.5	1.0	0.466		4 0.7	1.3	0.464			
5 0.55	1.0	0.464		5 0.8	1.3	0.46			
6 0.6	1.0	0.461		6 0.9	1.3	0.456			
7 0.65	1.0	0.458		7 1.0	1.3	0.453			
8 0.7	1.3	0.464		8 1.2	1.7	0.456			
9 0.75	1.3	0.462		9 1.5	1.7	0.448			
10 0.8	1.3	0.46		10 2.0	2.7	0.454			
11 0.9	1.3	0.456		11 2.5	2.7	0.446			
12 1.0	1.3	0.453		12 3.0	3.3	0.446			
13 1.2	1.7	0.456		13 4.0	5.3	0.453			
14 1.4	1.7	0.45		14 5.0	6.7	0.454			
15 1.5	1.7	0.448		15 6.0	8.3	0.455			
16 1.8	1.7	0.44		16 8.0	10.5	0.453			
17 2.0	2.7	0.454		17 10.0	13.3	0.454			
18 2.5	2.7	0.446		18 12.0	16.7	0.455			
19 3.0	3.3	0.446							
20 3.5	3.3	0.44							

Изображение 6: Параметры листового металла

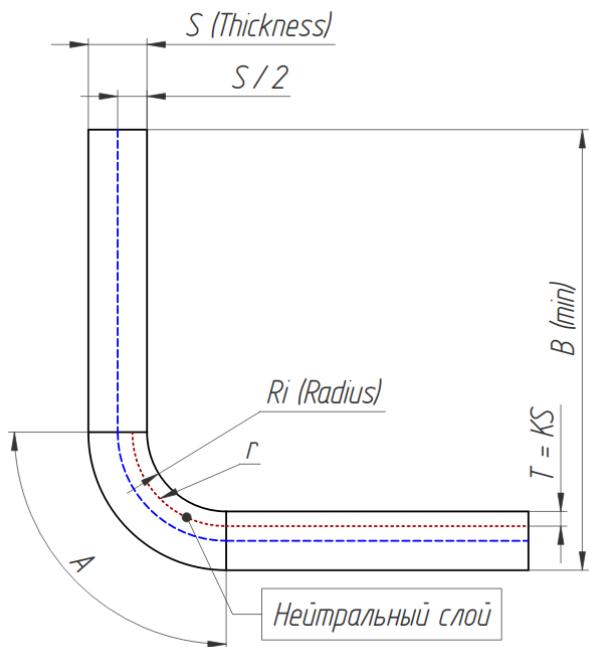
4.6 Область 4 – Цвет для детали из листового металла

Цветовое отображение для объекта в формате HEX, значение по умолчанию: #b4c0c8.

4.7 Область 5 – Параметры листовой стали

В этой таблице указаны основные используемые толщины «Thickness» листового металла и их параметры, такие как внутренний радиус изгиба «Radius» и коэффициент K «K-Factor» используемый при расчёте плоского вида (развёртки).

Кнопка **Calculate K-Factor** автоматически вычисляет коэффициент **K** для каждой толщины по формулам из сопротивления материалов:

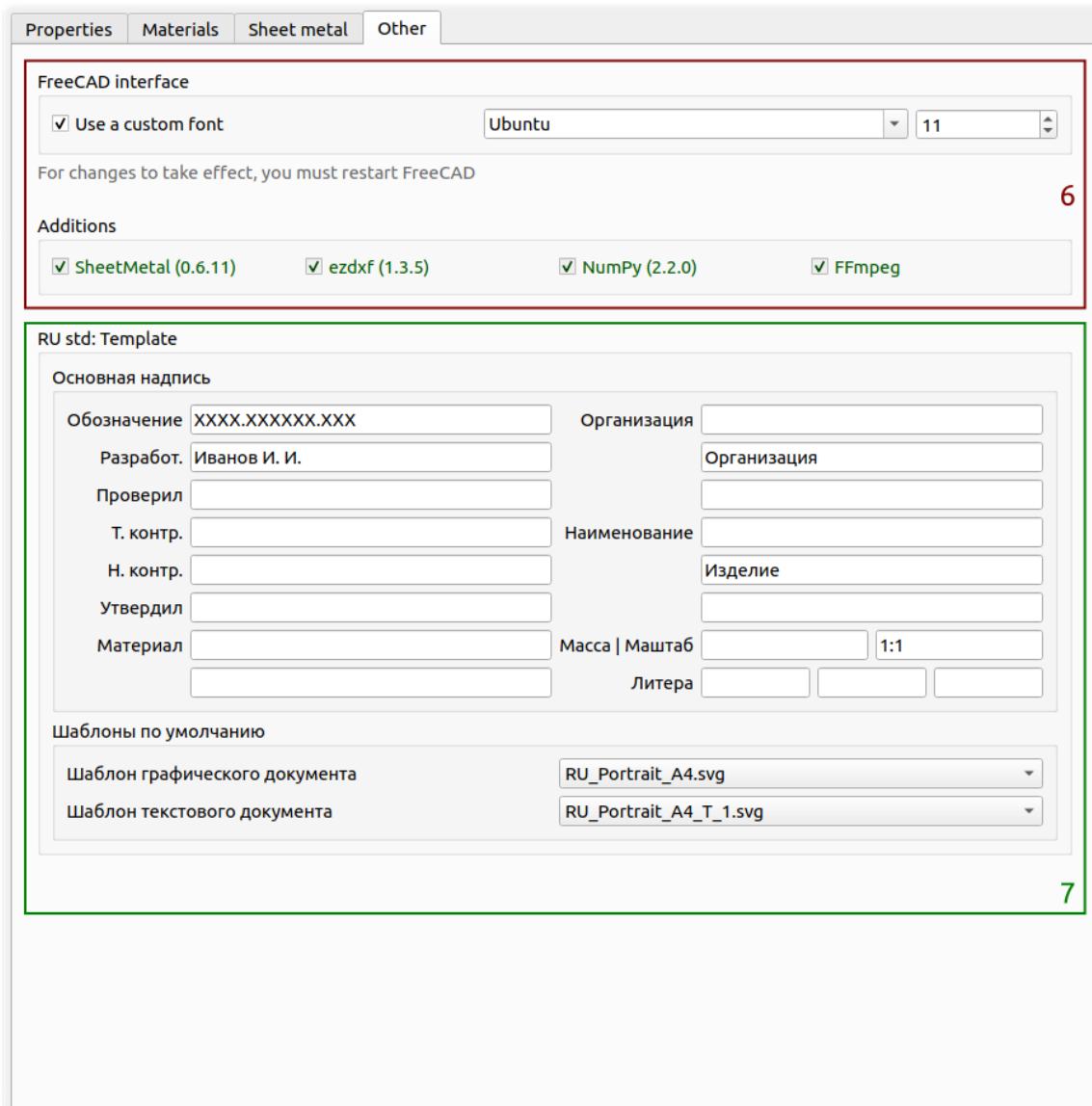


Вычисление коэффициента K
$$K = 1 / \log (1 + S / R_i) - R_i / S$$

Вычисление радиуса кривизны нейтрального слоя
$$r = R_i + K * S$$

Вычисление длины дуги нейтрального слоя
$$l = \pi r * A / 180$$

Изображение 7: Формулы вычислений параметров листового металла



Изображение 8: Дополнительные параметры

4.8 Область 6 – Параметры шрифта интерфейса 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.

4.9 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/OpenGost-A.ttf

Default material		Galvanized	Default	Remove	Add
	Title	Category	Density	Unit	Price per unit
1	Galvanized	Sheet metal	7870	m ²	0
2	Stainless	Sheet metal	7900	m ²	0
3	Aluminum	General	2700	kg	0
4	Brass	General	8600	kg	0
5	Cast iron	General	7300	kg	0
6	Ceramic	General	2300	kg	0
7	Concrete	General	2410	m ³	0
8	Copper	General	8900	kg	0
9	Glass	General	2530	kg	0
10	Mineral wool	General	100	m ²	0
11	Rubber	General	1000	kg	0
12	Steel	General	7800	kg	0
13	AISI 201	Sheet metal	7860	m ²	0
14	AISI 304	Sheet metal	7950	m ²	0
15	AISI 316	Sheet metal	7970	m ²	0
16	AISI 321	Sheet metal	8020	m ²	0
17	AISI 430	Sheet metal	7720	m ²	0
18	ABS	Plastic	1040	kg	0
19	PET/G	Plastic	1340	kg	0
20	PLA	Plastic	1240	kg	0
21	PP	Plastic	900	kg	0
22	PVC	Plastic	1330	kg	0
23	EPDM	Rubber	155	kg	0
24	Natural rubber	Rubber	920	kg	0
25	Neoprene	Rubber	1230	kg	0
26	Wood, low density	Wood	500	m ³	0
27	Wood, medium density	Wood	700	m ³	0
28	Wood, high density	Wood	900	m ³	0

Изображение 9: Материалы и их параметры

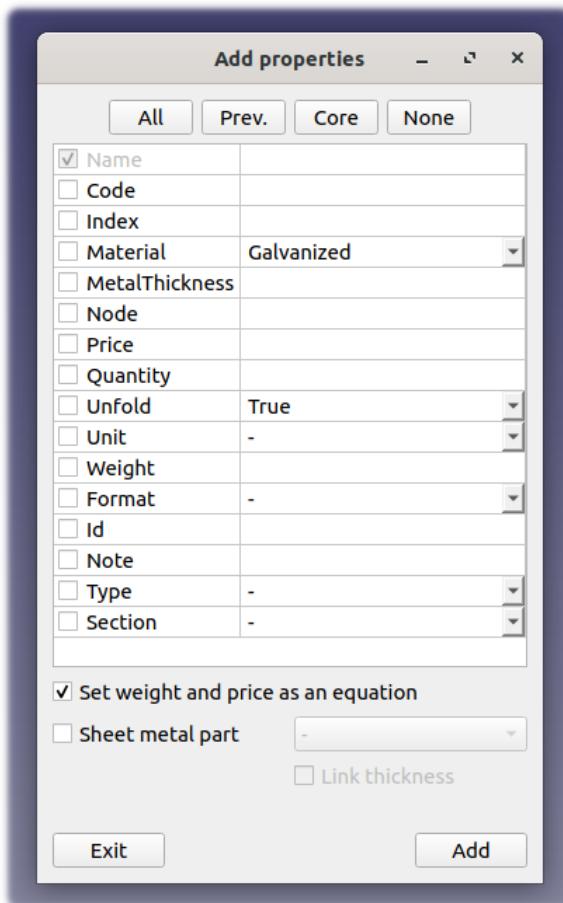
4.10 Материалы

На этой вкладке находится список материалов доступных для использования.

- **Title** и **Category** – наименование материала и его категория. Для работы с деталями из листового металла выбор материала ограничен соответствующей категорией.
- **Density** – плотность материала, может использоваться для автоматического расчёта массы объекта, свойство «**Weight**».
- **Unit** и **Price per unit** – цена за единицу материала, при необходимости может использоваться для расчёта себестоимости элемента, свойство «**Price**».

5 Наполнение объекта свойствами

Для добавления свойств необходимо выделить один или несколько объектов и воспользоваться командой [Add Properties](#) на панели инструментов.



Изображение 10: 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. Кнопка **Prev.** выделит свойства добавленные при последнем использовании команды.

Флажок **Set weight and price as an equation** – если включено, добавленные свойства «Weight» и «Price» будут содержать уравнения для автоматического расчёта соответствующих параметров.

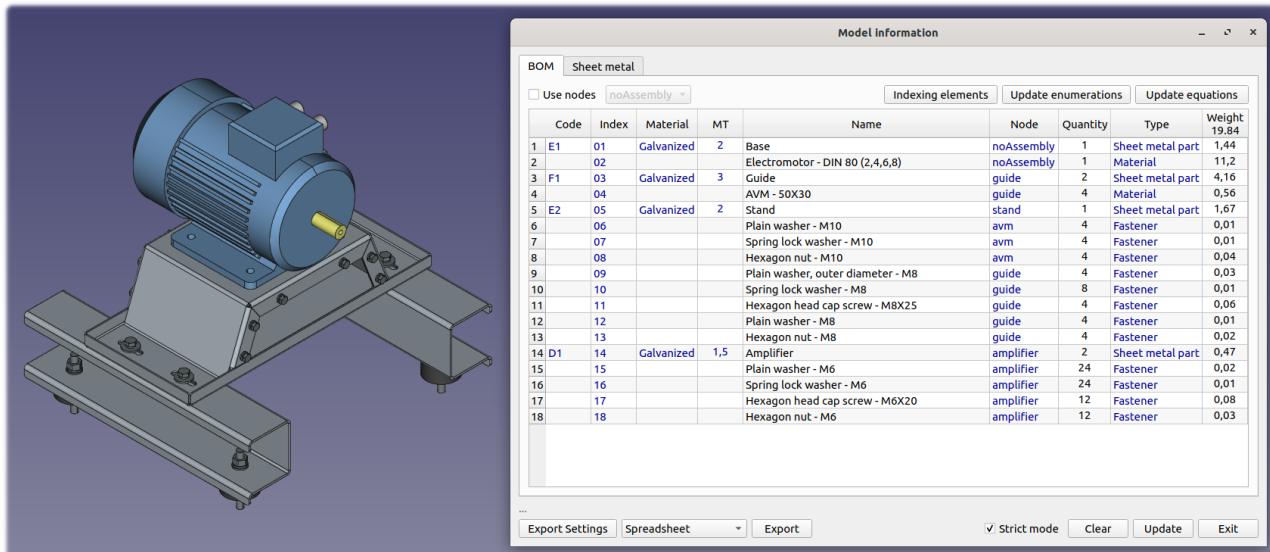
Флажок **Sheet metal part** отметит все необходимые свойства для детали из листового металла, позволит выбрать тип материала и при желании связать свойство «MetalThickness» с параметрами толщины объекта. Дополнительно элементу будет присвоен цвет на основе параметров указанных в настройках.

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

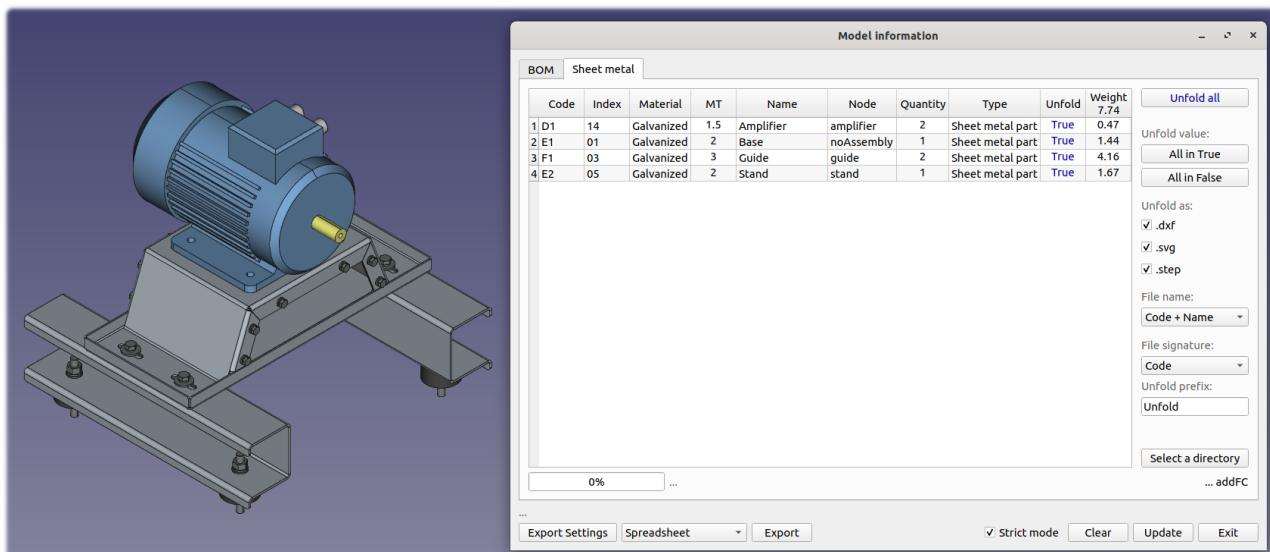
Для автоматического заполнения этих свойств шаблон наименования должен соответствовать: «**Index. Name - Copy**» или «**Index - Name - Copy**». В случае соответствия шаблону значения будут корректно заполнены, пример – [изображение 5](#).

6 Спецификация материалов

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



Изображение 11: Спецификация, общая



Изображение 12: Спецификация, листовой металл

Интерфейс содержит две вкладки: **ВОМ** – 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 три 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.
- **Update equations** – обновление в объектах модели свойств содержащих связанные с материалами уравнения, свойства «**Weight**» и «**Price**».

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 экспортованы 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 значение **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).

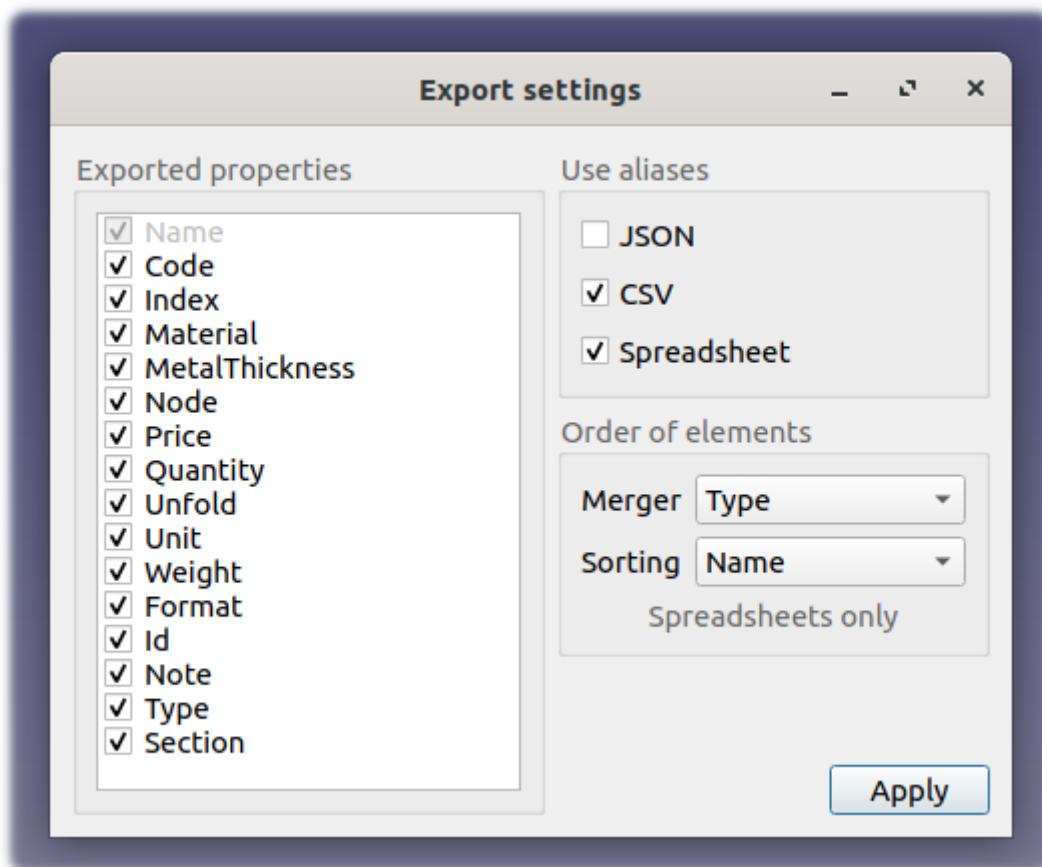
Важно: файлы деталей будут размещены в дополнительных директориях, имена которых соответствуют наименованию материала и толщины стали.

7 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 13: Параметры экспорт спецификации

В левой части интерфейса можно выбрать свойства которые будут экспортаны.

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 14: Результат экспорта спецификации

Копировано

Формат А4

Изображение 15: Результат экспорт спецификации по правилам ЕСКД

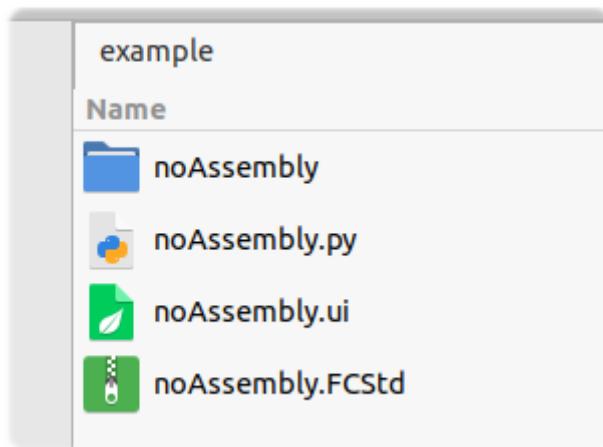
8 Управление моделью

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 сборок 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.

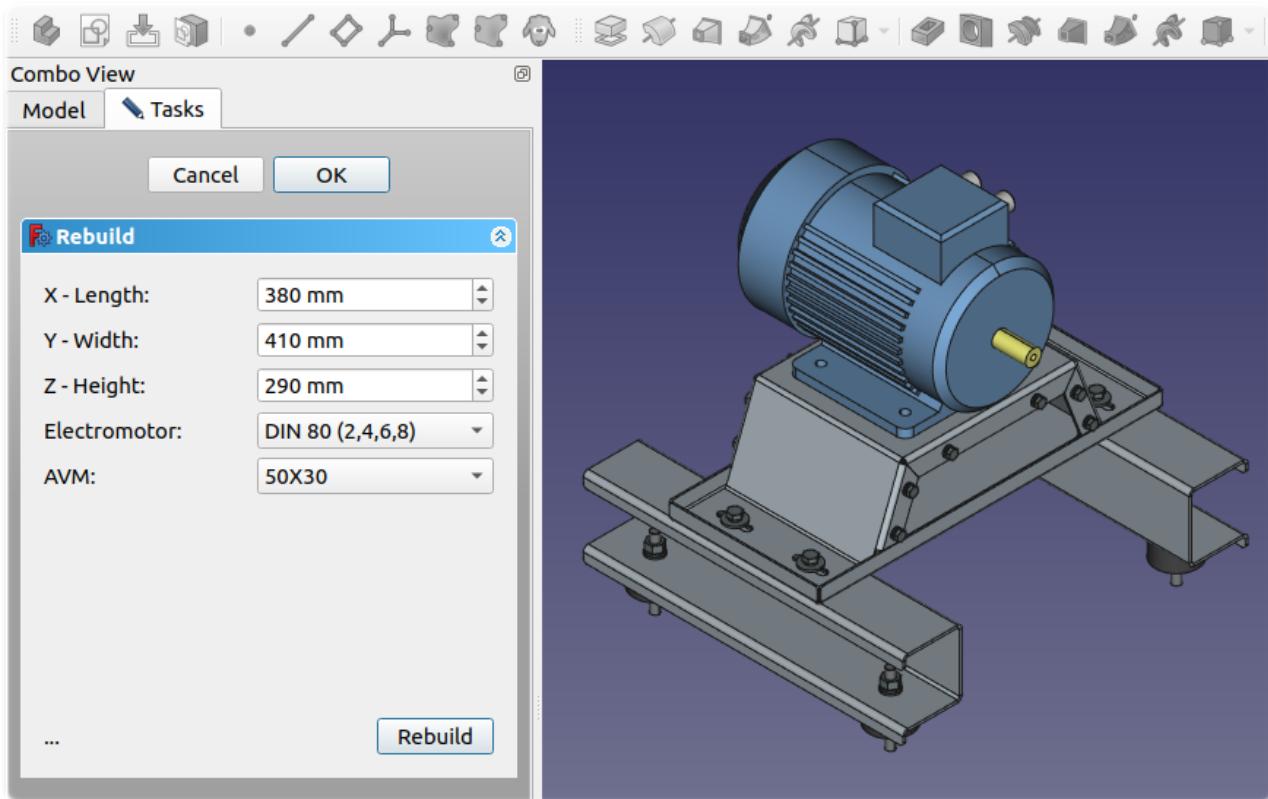
В образцах поставляемых вместе с верстаком доступен простой пример параметрической модели для изучения – `addFC/repo/example`



Изображение 16: 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 17: Интерфейс управления параметрической моделью

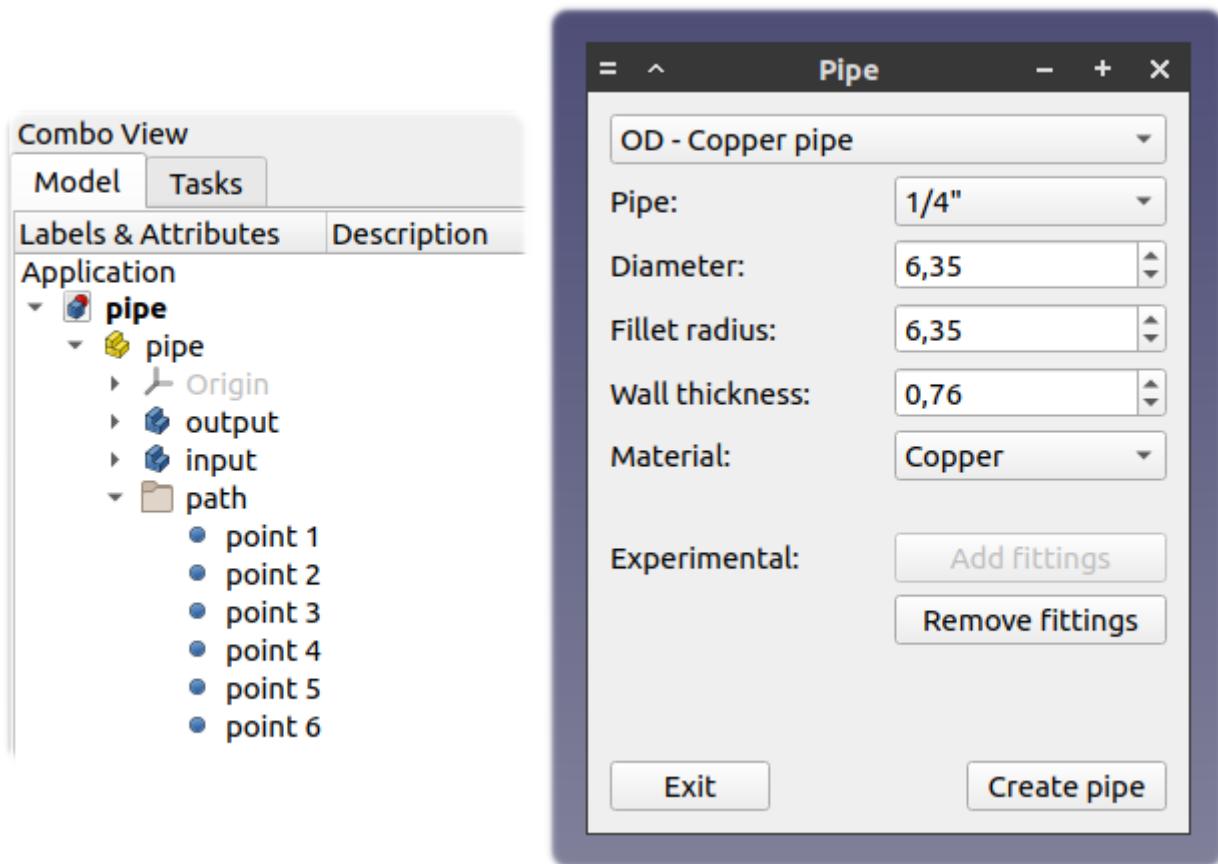
Для удобства графический интерфейс пользователя встроен в боковую панель FreeCAD, задав в нём необходимые параметры и выбрав из списков комплектующие нажмите кнопку **Rebuild** – модель перестроится.

9 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.



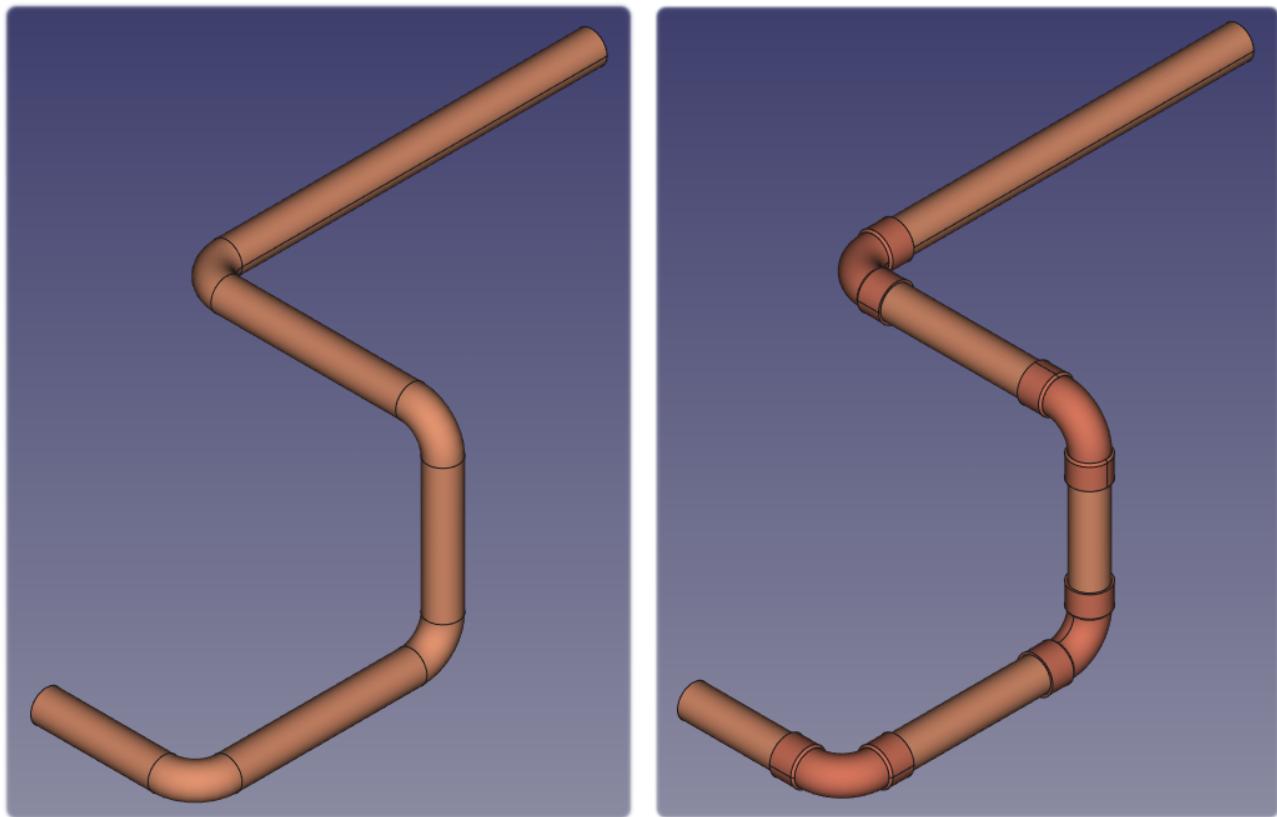
Изображение 18: Точки координат и интерфейс команды **Pipe**

В интерфейсе доступно:

- **Верхний раскрывающийся список** – это шаблоны трубы, 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, изменения значения соответствующих полей.

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



Изображение 19: Результат работы команды **Pipe**

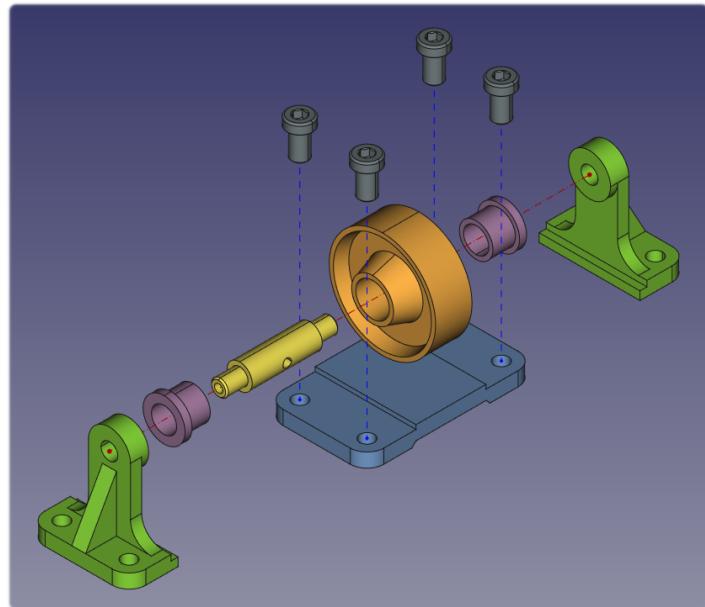
Программа получит координаты всех точек (сами точки будут сортированы по названию – **Label**, в порядке возрастания) и построит трубопровод с заданными ранее параметрами.

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

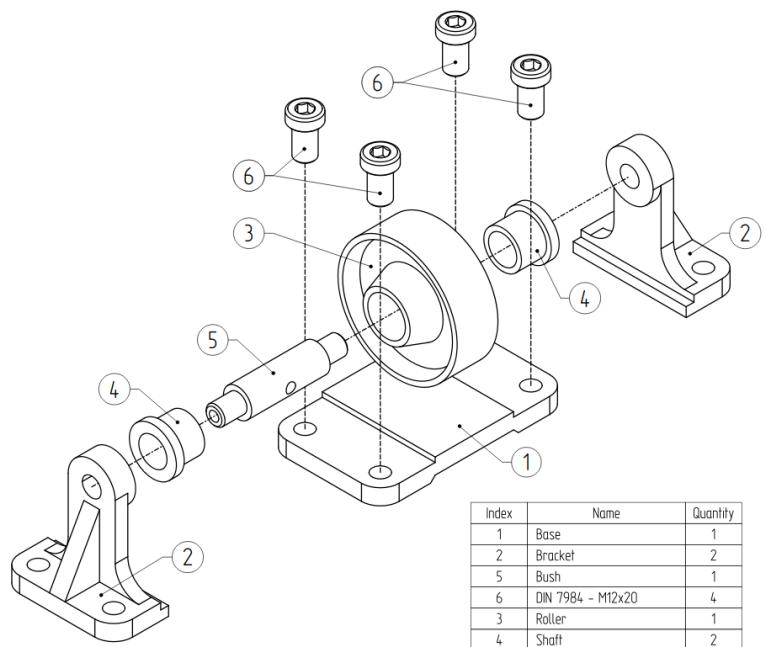
Подробности можно посмотреть открыв соответствующий пример, воспользовавшись командой **Help and Examples** на панели инструментов.

10 Вид с разнесёнными частями

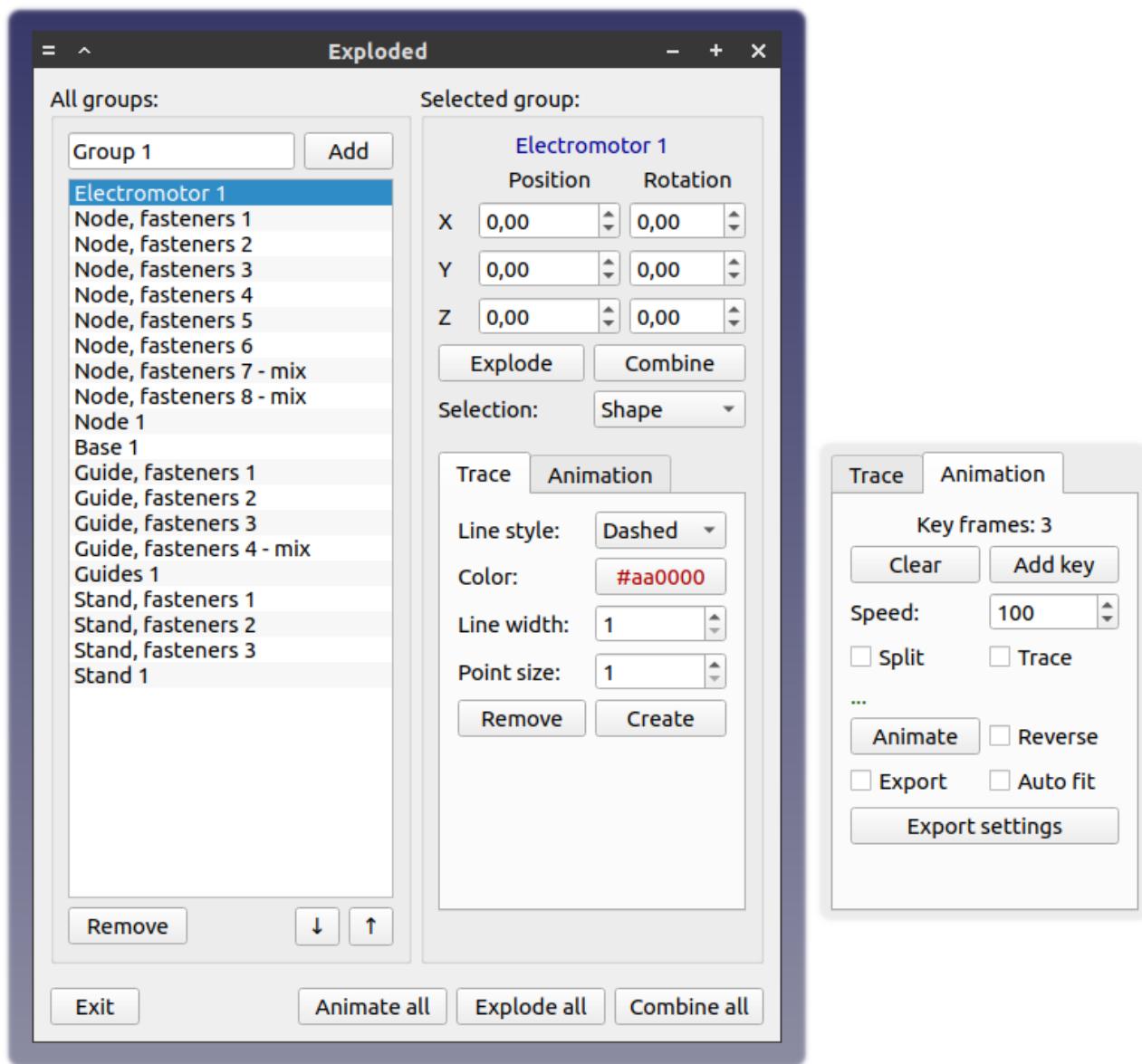
Команда **Explode** отвечает за создание вида с разнесёнными частями (взрыв-схема) – это эскизный вид конструкции (сборки) с разнесёнными составными частями, который позволяет передать информацию об изделии в более простом и удобном для понимания виде. Инструмент позволяет создавать, анимировать и сохранять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



Изображение 20: Пример работы команды **Explode**: вид модели с разнесёнными частями



Изображение 21: Пример работы команды **Explode**: экспорт вида в чертёж



Изображение 22: 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).
- **BoundBox** – 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 анимацию 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.

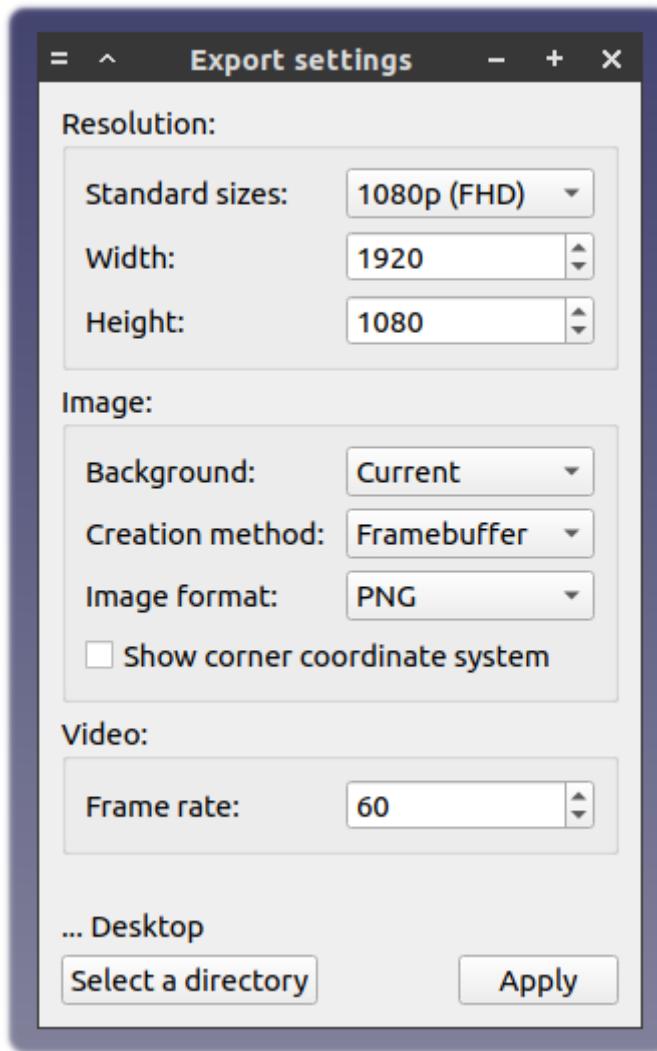
Галочка **Reverse**, если отмечена – анимация будет воспроизведена в обратном порядке.

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 23: 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**.

11 Библиотека элементов и узлов

Скоро будет...