**Описание калькулятора 3D-печати (GUI, .3MF/.STL)**

Небольшое настольное приложение на **Tkinter** для расчёта **веса** и **стоимости** печати по 3D-модели. Поддерживает точное чтение **.3MF** (включая сборки и масштаб/позиции из слайсера) и быстрый расчёт объёма **.STL**.

**Ключевые возможности**

* **Форматы:**
  + **.3MF** — чтение всех 3D/\*.model, поддержка <build><item> (позиции/масштабы из слайсера), и **Production extension p:path** (ссылки на объекты в других .model внутри архива).
  + **.STL (binary)** — два режима: построение сетки для «точного» объёма по тетраэдрам и **потоковый** расчёт объёма напрямую из файла (без создания сетки).
* **Корректные трансформации 3MF:**
  + Разбор 12-элементной матрицы transform (row-major).
  + Композиция матриц при обходе сборки (item → component → …).
  + Учёт единиц измерения модели (micron/mm/cm/m/inch/foot).
  + Быстрый объём для 3MF: базовый объём × |det(полной матрицы)| — корректно учитывает масштаб (например, ×8 при 200%).
* **Методы оценки объёма модели:**
  + **Точный (тетраэдры)** — через ориентированные объёмы треугольников.
  + **Ограничивающий параллелепипед (BBox)** — наихудшая оценка, работает очень быстро.
  + **Потоковый STL** — быстрый объём напрямую из бинарного STL (без построения топологии).
* **Учёт FDM-параметров (по модели):**
  + Стенки: по площади поверхности (см²) × **число стенок** × **ширина линии**.
  + Крышки/донышки: по площади XY-проекции bbox × **число верх/низ слоёв** × **высота слоя**.
  + Заполнение: (объём модели − корка − крышки) × % заполнения.
  + Защита от переоценки корки: **корка ≤ 60%** объёма модели (эвристика).
* **Материалы и прайс:**
  + Встроенный справочник плотностей (г/см³) и цен (₽/г) по ряду материалов.
  + Выбор материала из выпадающего списка + поле **% заполнения**.
* **Вывод и агрегирование:**
  + По каждому объекту: объём модели, итоговый вес (г) и стоимость (₽).
  + Итого по файлу: суммарный вес, стоимость, время расчёта.
* **Диагностика/валидация (статус-плашка):**
  + Имя файла, встреченные единицы измерения, количество item/component, число внешних p:path.
  + Диапазон детерминант матриц item (помогает заметить неожиданный масштаб/отражение).

**Интерфейс**

* Переключатель метода базового объёма: **BBox** или **Тетраэдры** (по умолчанию).
* Чекбоксы:
  + **Быстрый объём** — расчёт только по заполнению (без стенок/крышек).
  + **Потоковый STL** — считать объём бинарного STL напрямую из файла.
* Выбор **материала** и поле **% заполнения**.
* Кнопка **«Загрузить 3D файл»** (.3mf/.stl).
* Прокручиваемое окно результатов с детализацией по объектам + «ИТОГО».

**Как это работает (вкратце)**

1. **Загрузка**: парсер определяет формат и для .3MF строит кэш по всем 3D/\*.model.
2. **Сборки**: если есть <build><item>, каждое item разворачивается с учётом его transform. Для составных объектов рекурсивно складываются дочерние компоненты (с композициями матриц), включая production:p:path.
3. **Объёмы**:
   * 3MF: базовый объём сетки умножается на |det(R)| полной матрицы (учёт масштаба).
   * STL: «тетраэдры» из построенной сетки или «потоковый» объём без сетки.
4. **FDM-добавки**: поверх базового объёма модели добавляются стенки и крышки/донышки, затем учитывается % заполнения.
5. **Масса/цена**: рассчитываются по плотности и цене выбранного материала.

**Быстродействие**

* Потоковый расчёт STL экономит память и ускоряет обработку больших файлов.
* Для 3MF «быстрый объём» использует детерминант матрицы без копирования геометрии.
* Векторизированные операции numpy для объёмов и площадей.

**Ограничения и примечания**

* **STL**: потоковый режим работает только с **бинарным** STL; для ASCII используйте обычный режим (с построением сетки) или конвертируйте в бинарный.
* **3MF**: поддерживаются типовые структуры object/mesh/triangles и сборки build/items; материалы/цвета/решётки не влияют на расчёт.
* Эвристика **корки ≤ 60%** помогает избежать нереалистично большого вклада стенок/крышек на сложных тонкостенных моделях. При желании её можно ослабить/отключить в коде.
* Сейчас приложение работает как **GUI-скрипт**; CLI и пакетная структура не обязательны, но легко добавляются при росте проекта.

**Типовые сценарии**

* Проверка, как изменится вес и стоимость при **масштабировании модели** в слайсере (3MF учитывает все трансформации).
* Быстрая оценка стоимости по **большому STL** без загрузки в память.
* Сравнение «быстрого» и «подробного» подсчёта (только заполнение vs с коркой).
* Диагностика неожиданного веса через статус-плашку (единицы, количество items, детерминанты трансформаций).