

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Витебск
2022

УДК 621.7

Составители:

А. Л. Климентьев, А. Н. Гришаев

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 6 от 02.03.2022.

Аддитивные технологии в производстве : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. : А. Л. Климентьев, А. Н. Гришаев. — Витебск : УО «ВГТУ», 2022. — 38 с.

Методические указания являются руководством по выполнению лабораторных работ по учебной дисциплине «Аддитивные технологии в производстве». Изложены содержание, методика и порядок выполнения работ, приведена инструкция по настройке печати в программе-слайсере. Предназначены для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий».

УДК 621.7

© УО «ВГТУ», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ» ...	5
1.1 Порядок разработки 3D-модели изделия	5
1.2 Разработка 3D-модели вариантов конструкции изделия	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ПОДГОТОВКА 3D-МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ НА АДДИТИВНОЙ УСТАНОВКЕ НА ОСНОВЕ FFF- ТЕХНОЛОГИИ»	9
2.1 Интерфейс Cura Ultimaker	9
2.2 Настройка параметров печати	9
2.3 Добавление принтера	21
2.4 Настройки параметров принтера	22
2.2 Подготовка модели в программе-слайсере	23
2.2.1 Загрузка 3D-модели в программу-слайсер	23
2.2.2 Выбор параметров печати	24
2.3 Предварительный просмотр	29
2.4 Экспорт G-кода	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ ФОРМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ»	32
3.1 Порядок разработки 3D-модели формы	32
3.2 Доработка конструкции 3D-модели формы	36
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	37

ВВЕДЕНИЕ

В рамках учебной дисциплины «Аддитивные технологии в производстве» предусмотрено выполнение ряда работ в соответствии с общей моделью процесса аддитивного производства (АП). Работы выполняются в рамках предусмотренных программой учебной дисциплины лабораторных и практических занятий.

Общая модель процесса АП включает в себя следующие стадии [1, с. 32]:

- 1) проектирование модели в среде соответствующего программного обеспечения;
- 2) преобразование модели в STL формат;
- 3) перенос результирующего файла в аддитивную установку и необходимое манипулирование этим файлом;
- 4) настройка установки для изготовления модели;
- 5) изготовление модели на аддитивной установке;
- 6) извлечение модели из аддитивной установки;
- 7) последующая обработка модели (при необходимости);
- 8) применение полученной модели.



[1, с. 32, рис. 1.2]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

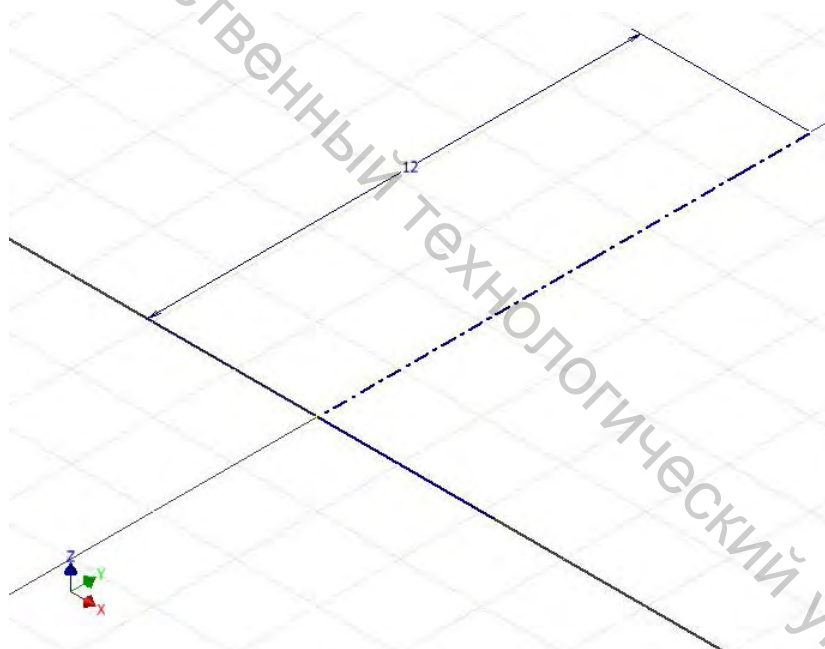
«Разработка 3D-модели изделия»

Разработка 3D-модели изделия осуществляется по дизайн-макету изделия в соответствии с заданным вариантом. При этом необходимо учитывать возможность её дальнейшего изготовления с помощью как аддитивных технологий, так и традиционными методами.

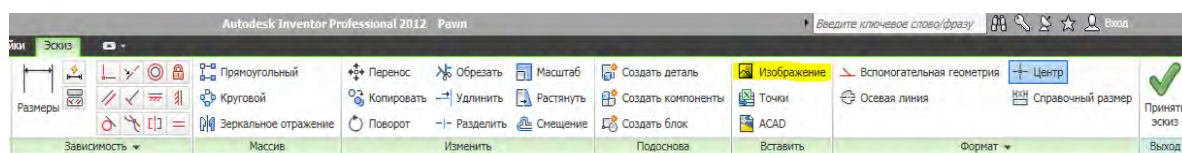
1.1 Порядок разработки 3D-модели изделия

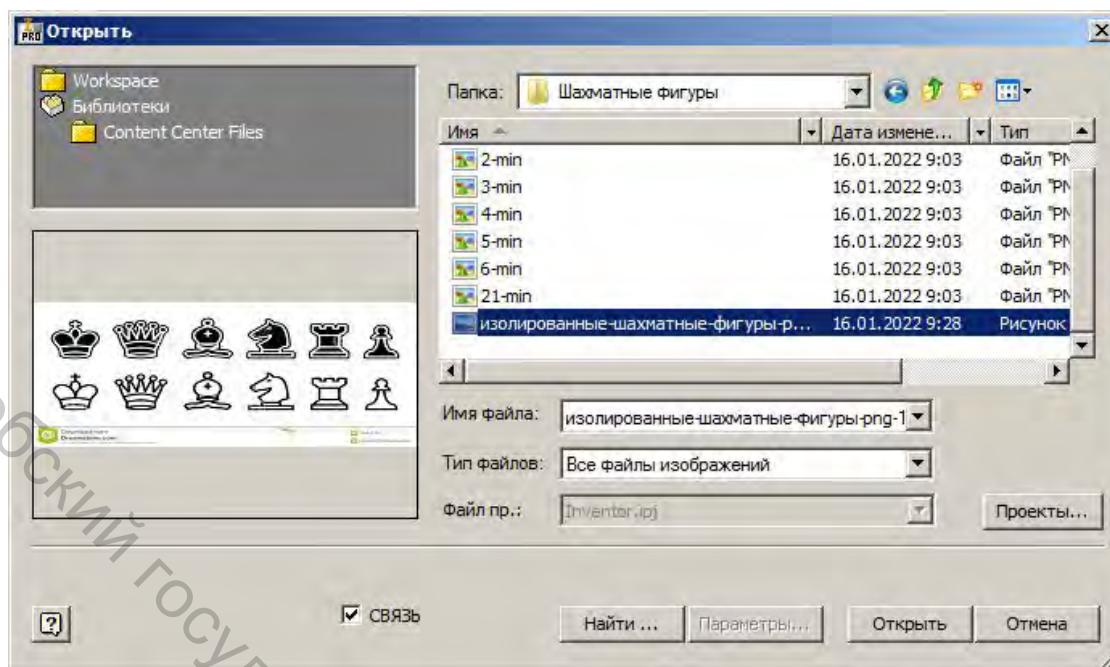
Для разработки 3D-модели изделия на основе заданного дизайн-макета необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. В базовой плоскости XU формируется эскиз, в котором на первом этапе выполняется осевая линия и задается ее длина, соответствующая требуемым размерам моделей в макете. По умолчанию эскиз может создаваться в другой плоскости, в этом случае можно использовать и другие базовые плоскости.

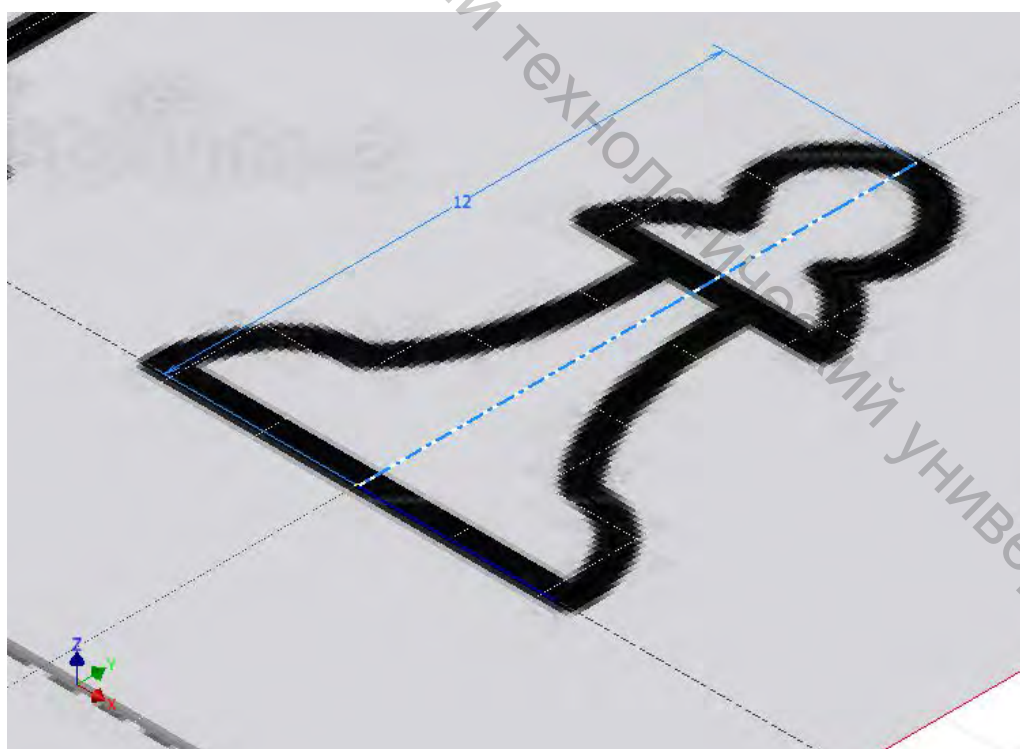


2. В режиме редактирования созданного эскиза добавляется изображение из дизайн-макета изделия. Для этого необходимо в ленте инструментов на вкладке «Эскиз» для группы инструментов «Вставить» выбрать «Изображение» — появится диалоговое окно открыть изображение.

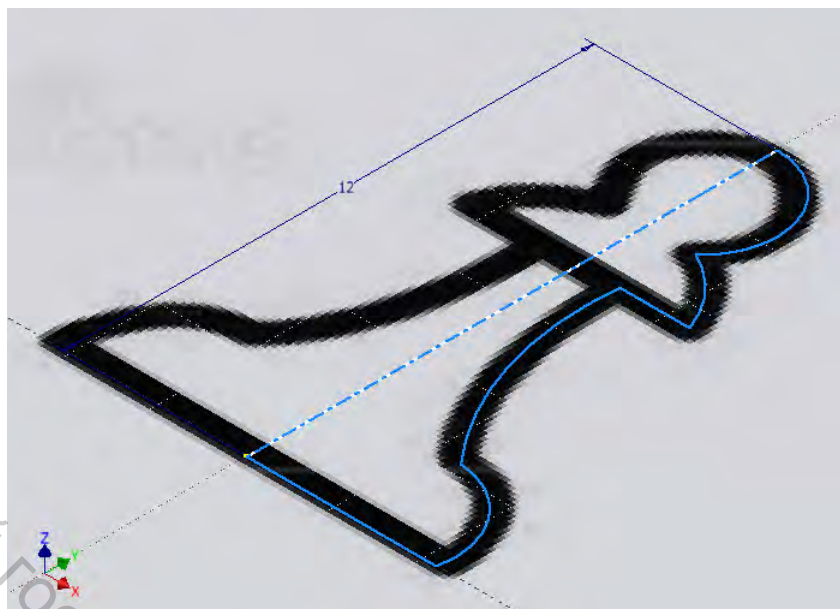




Далее следует выбрать необходимое изображение и вставить его в редактируемый эскиз. При этом необходимо совместить изображение с осевой линией эскиза таким образом, чтобы требуемый фрагмент изображения совпадал с началом. Масштаб изображения необходимо подогнать так, чтобы размер осевой линии совпадал с размером фрагмента.



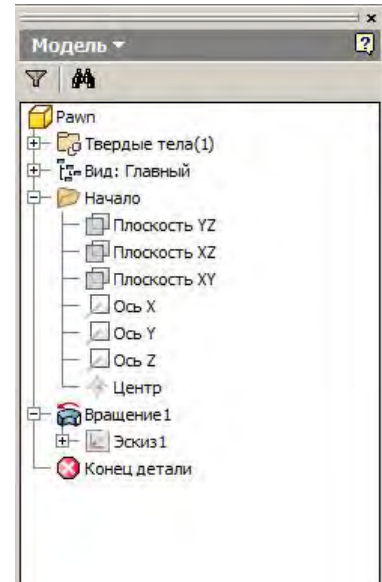
На следующем этапе необходимо построить контур, соответствующий контуру изделия на фрагменте изображения. Контур должен быть обязательно замкнут, не иметь лишних элементов и желательно полностью определен в пространстве.



Далее с помощью операции «Вращение» (для рассматриваемого примера, в других случаях могут использоваться и другие операции) достраивается модель изделия.



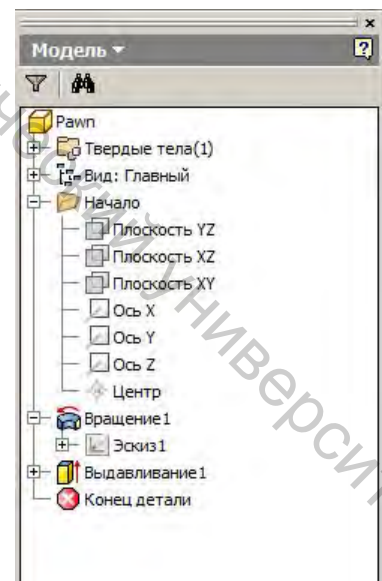
Результат моделирования для рассматриваемого примера 3D-модели изделия и дерева модели имеют следующий вид.



1.2 Разработка 3D-модели вариантов конструкции изделия

В качестве доработки базовой модели дополнительно формируем углубление в опорной поверхности для возможного размещения магнита с размерами $\varnothing 10 \times 1,5$.

Вариант модели изделия с углублением в опорной поверхности и дерево модели имеют следующий вид.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Подготовка 3D-модели изделия к изготовлению на аддитивной установке на основе FFF-технологии»

Поскольку не все установки на основе аддитивных технологий позволяют непосредственно манипулировать stl-файлами перед изготовлением модели может потребоваться предварительно подготовить ее к печати. Подготовка модели к «печати» рассмотрим на примере специализированного программного обеспечения — программы-слайсера Cura Ultimaker, которая является одним из популярных решений в области программного обеспечения 3D-печати. Базовая версия программы-слайсера Cura распространяется компанией Ultimaker бесплатно (<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>).

2.1 Интерфейс Cura Ultimaker

Основное окно программы-слайсера Cura Ultimaker представлено на рисунке 2.1.

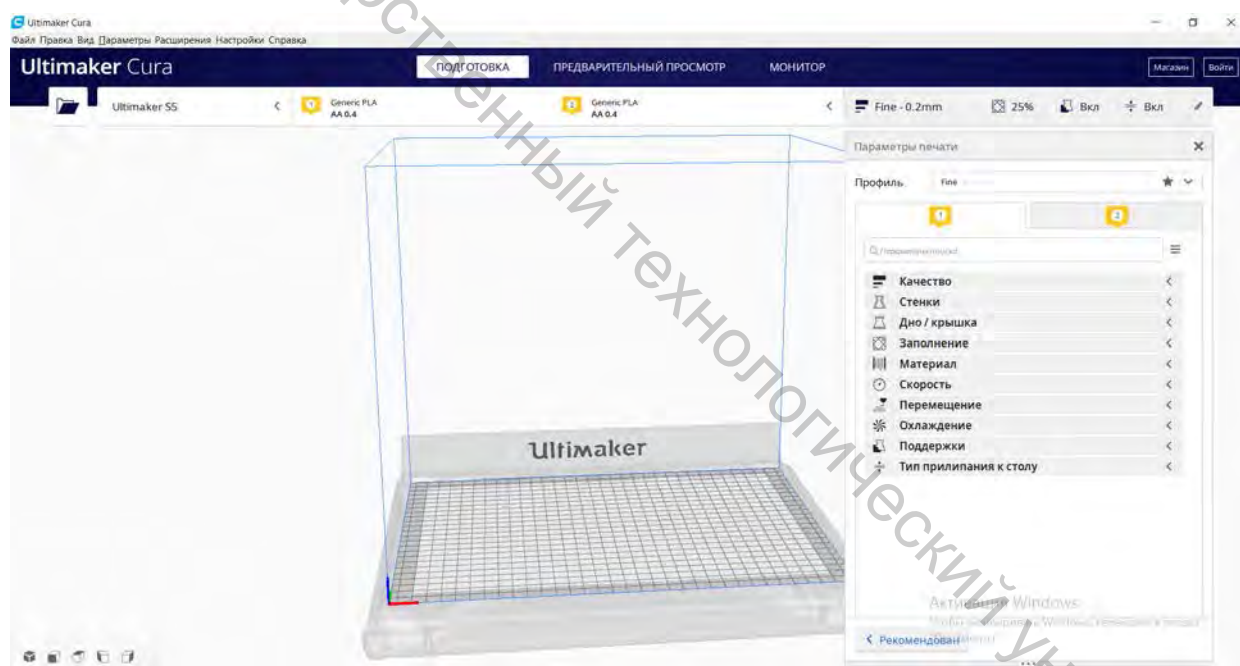


Рисунок 2.1 — Интерфейс программы-слайсера Cura Ultimaker

2.2 Настройка параметров печати

Для первоначальной настройки параметров печати можно изменить значения ряда параметров печати, при этом значения ряда других параметров можно оставить по умолчанию.

На первом этапе для настройки параметров печати устанавливаются параметры в разделе «*Качество*» (рисунок 2.2).

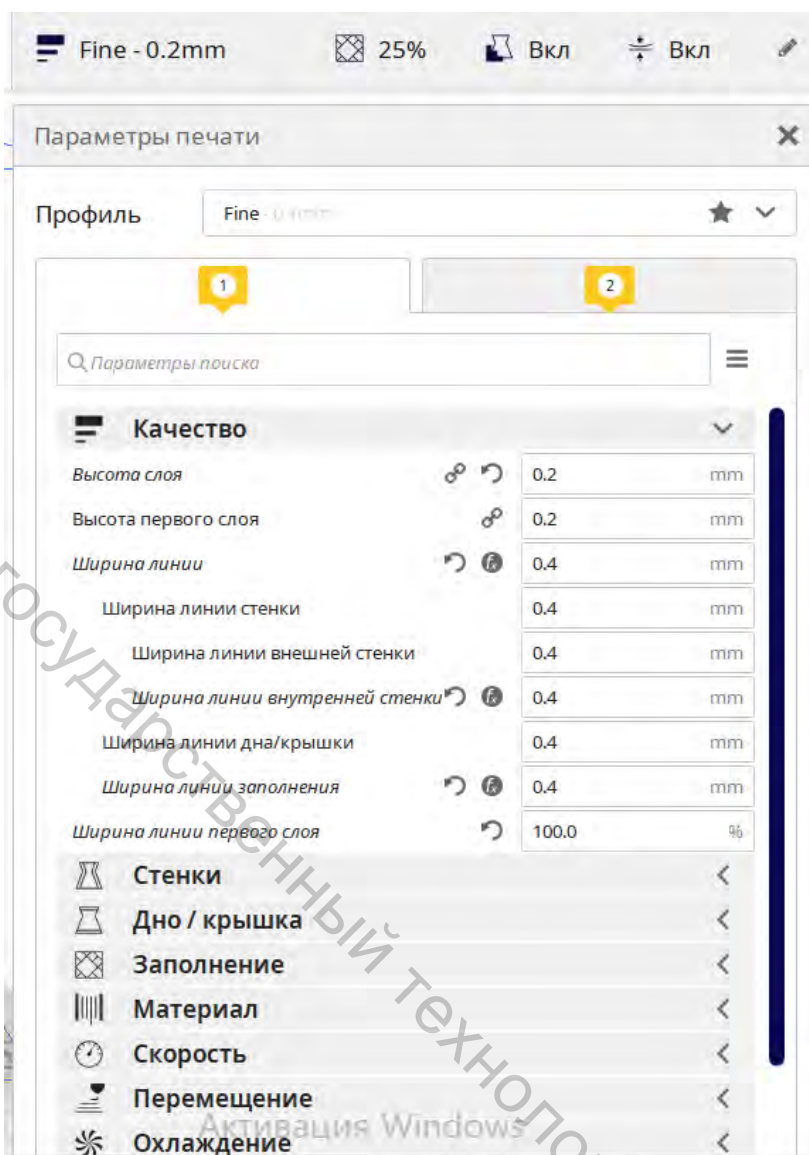


Рисунок 2.2 — Окно настройки параметров печати в разделе «Качество»

Настройка параметра «*Высота слоя*» определяет разрешение печати по высоте, при этом чем меньше значение этого параметра, тем поверхность модели будет более гладкая, а слоистость менее заметной. Для нормального качества рекомендуется выбрать значение примерно равное половине значения диаметра установленного сопла ($0,5 \cdot D_{\text{сопла}}$), но не более 75% от значения диаметра и не менее 0,1 мм.

Настройка параметра «*Высота первого слоя*» используется для увеличения адгезии и возможной компенсации неровности поверхности стола. Чаще всего рекомендуется ставить значение, равное величине слоя.

Значение параметра «*Ширина линии*» рекомендуется принимать равным значению диаметра сопла. Если уменьшить значение этого параметра относительно значения диаметра сопла, то линии материала будут укладываться плотнее. Если же увеличить, то между линиями материала появится расстояние/зазор.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «Стенки» (рисунок 2.3).

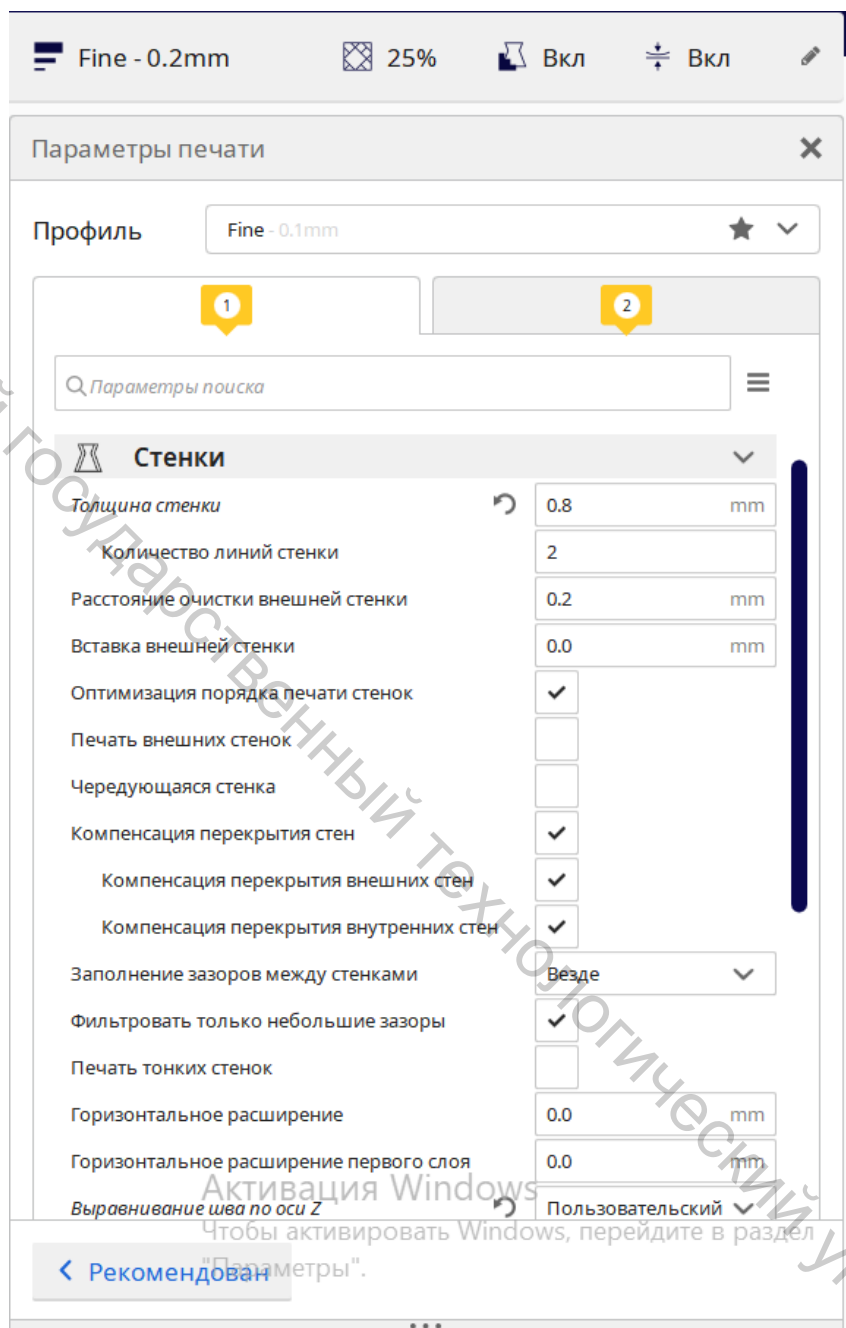


Рисунок 2.3 — Окно настройки параметров печати в разделе «Стенки» (начальный фрагмент)

Настройка параметров «Толщина стенки» и «Количество линий стенки» осуществляется исходя из следующих соображений: 2 линии периметра — нормальное качество; 3 линии периметра — высокая прочность; 4 линии периметра — очень высокая прочность.

Параметр «Расстояние очистки внешней стенки» выбирается из диапазона значений от $0,5 \cdot D_{\text{сопла}}$, до $D_{\text{сопла}}$.

Параметр «Печать внешних стенок» рекомендуется не включать для всех видов пластика.

Установка флага в параметре «Фильтрация небольших зазоров» хорошо сказывается на прочности изделия.

Параметр «Печать тонких стенок» отвечает за печать стенок, которые тоньше диаметра сопла.

Параметры «Горизонтальное расширение» и «Горизонтальное расширение первого слоя» при установке в них не нулевых значений приводят к тому, что слайсер построит эквидистантную модель с указанным смещением. При этом при установке значения с минусом отступ от каждой поверхности будет реализован в направлении внутрь от исходного контура, а с плюсом — наружу.

В параметре «Выравнивание шва по оси Z» лучше всего выбирать вариант “пользовательский” (рисунок 2.4). В данном случае точку можно выбрать так, чтобы шов был на незаметной части модели (например на задней стенке).



Рисунок 2.4 — Окно настройки параметров печати в разделе «Стенки» (финальный фрагмент)

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «Дно/крышка» (рисунок 2.5).

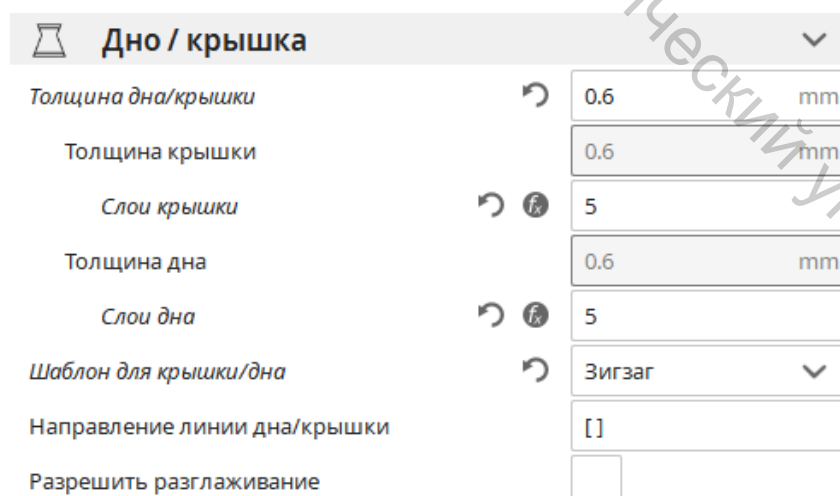


Рисунок 2.5 — Окно настройки параметров печати в разделе «Дно/крышка»

Для параметра «Толщина дна» рекомендуется выбирать 3–5 слоев, для параметра «Толщина крышки» — 3–5 слоев.

Параметр «Шаблон для крышки/дна/начального слоя» определяет, как будут выкладываться эти элементы. Почти всегда целесообразно использовать «зигзаг».

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «Заполнение» (рисунок 2.6).

Заполнение	
Плотность заполнения	25.0 %
Дистанция линий заполнения	4.8 mm
Шаблон заполнения	Треугольник
Соединять линии заполнения	<input checked="" type="checkbox"/>
Направления линии заполнения	[]
Смещение заполнения по X	0.0 mm
Смещение заполнения по Y	0.0 mm
Процент перекрытие заполнения	10.0 %
Перекрытие заполнения	0.04 mm
Дистанция окончания заполнения	0.1 mm
Толщина слоя заполнения	0.2 mm
Изменение шага заполнения	0
Поддержка заполнения	<input type="checkbox"/>

Рисунок 2.6 — Окно настройки параметров печати в разделе «Заполнение»

Значение параметра «Плотность заполнения» необходимо подбирать исходя из соображения скорости печати, прочности и расхода материала. Минимальное значение этого параметра составляет 10%, для обеспечения нормального качества — 15–35%.

Параметр «Дистанция линий заполнения» определяет расстояние между линиями. Выбор значения данного параметра зависит от плотности и целесообразно, чтобы значение было не более 5 мм.

Параметр «Процент перекрытие заполнения» определяет, на сколько линии заполнения заходит на оболочку. Нормальное значение для данного параметра — 5–15%.

Значение параметра «Дистанция окончания заполнения» рекомендуется ставить в четверть от значения диаметра сопла ($0,25 \cdot D_{\text{сопла}}$).

Параметр «Толщина слоя заполнения» определяет возможность печати заполнения более толстыми слоями, чем внешние периметры.

Параметр «Изменение шага заполнения» используется для художественных моделей (когда прочность модели не так важна, как ее внешний вид). Данный параметр позволяет сделать заполнение в нижней части реже, а по пути к крышке увеличить его плотность на указанное количество шагов.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «Материал» (рисунок 2.7).

Параметр	Значение	Единица
Температура сопла	200.0	°C
Температура печати первого слоя	200.0	°C
Начальная температура печати	190.0	°C
Конечная температура печати	185.0	°C
Температура стола	60	°C
Температура стола для первого слоя	60	°C
Поток	90.0	%
Поток для первого слоя	90.0	%

Рисунок 2.7 — Окно настройки параметров печати в разделе «Материал»

Параметр «Температура сопла» устанавливается согласно рекомендуемым значениям температуры для используемого пластика.

Значения параметров «Начальная температура печати» и «Конечная температура печати» не должны быть ниже значений нижнего предела температуры для используемого пластика.

Значение параметра «Температура рабочего стола» выбирается равным значению температуры стеклования пластика, например, для PLA — 60 °C; PETG — 80 °C; ABS — 105 °C.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «Скорость» (рисунок 2.8).

Параметр	Значение	Единица
Скорость печати	70.0	mm/s
Скорость заполнения	60.0	mm/s
Скорость печати стенок	60.0	mm/s
Скорость крышки/дна	60.0	mm/s
Скорость перемещения	120.0	mm/s
Скорость первого слоя	30.0	mm/s
Количество медленных слоёв	2	
Разрешить управление ускорением	<input type="checkbox"/>	
Включить управление рывком	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 2.8 — Окно настройки параметров печати в разделе «Скорость»

Значение скорости перемещения должно быть в пределах разумного для кинематики используемого принтера.

Значение *скорости первого слоя* желательно устанавливать меньше значения скорости основной печати, т. к. желательно печатать помедленнее, чтобы обеспечить лучшее прилипание первого слоя к основанию платформы.

Параметр «*Количество медленных слоев*» лучше ставить 1 или 2.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «*Перемещение*» (рисунок 2.9).

Параметр	Значение	Единица измерения
Разрешить откат	<input checked="" type="checkbox"/>	
Откат при смене слоя	<input type="checkbox"/>	
Величина отката	6.5	mm
Скорость отката	25.0	mm/s
Скорость извлечения при откате	25.0	mm/s
Дополнительно запол...ый объем при откате	0.0	mm ³
Минимальное перемещение при откате	0.8	mm
Максимальное количество откатов	25	
Режим комбинга	Выключен	
Откат перед внешней стенкой	<input checked="" type="checkbox"/>	
X координата начала	0.0	mm
Y координата начала	0.0	mm
Поднятие оси Z при откате		

Рисунок 2.9 — Окно настройки параметров печати в разделе «*Перемещение*»

Флаг «*Откат при смене слоя*» устанавливается, если шов очень сильный.

Значения величины отката рекомендуется выбирать исходя из следующих рекомендаций:

- для экструдеров типа Bowden: 5–7 мм;
- для экструдеров типа Direct 1–3 мм.

Минимальное перемещение при откате позволяет избежать очень часто повторяющихся откатов. Рекомендуется выбирать значения из диапазона минимальное значение, равное $2 \cdot D_{\text{сопла}}$, максимальное значение $5 \cdot D_{\text{сопла}}$.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «*Режим комбинга*» (рисунок 2.10).

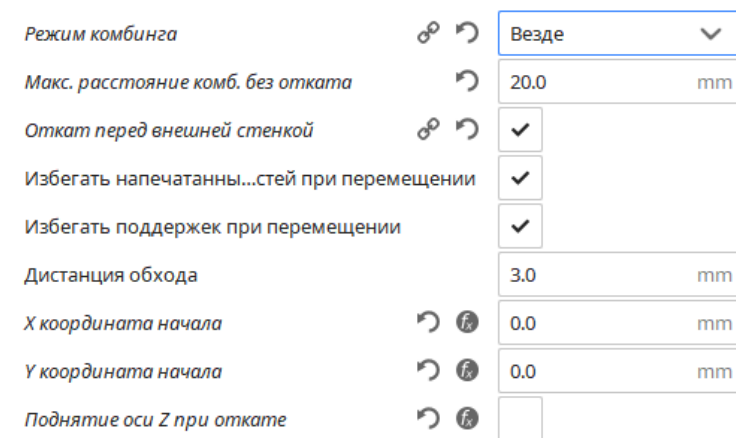


Рисунок 2.10 — Окно настройки параметров печати в разделе «Режим комбинга»

Иногда крайне нежелательно, чтобы сопло двигалось по уже напечатанным частям, так как оно может задеть или оставить борозду. В этом случае можно использовать эту настройку, так как она заставляет слайсер искать пути перемещения таким образом, чтобы избегать уже напечатанных участков. При этом ретракты во время комбинга выключаются, т. е. пока сопло находится внутри модели, ретрактов выполняться не будет.

Максимальное расстояние комбинга без откатов нужно для того, чтобы не допустить очень длительных перемещений без отката (нормальное значение 20–50 мм).

Параметр «*Дистанция обхода*» определяет, на каком расстоянии от модели будет двигаться сопло.

При установке значений параметров «*X координата начала*» и «*Y координата начала*» следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- если принтер с 1 экструдером, следует выставить значения по обоим параметрам равные нулю;
- если принтер с 2 экструдерами, то значения обоих параметров лучше поставить равные координатам центра стола.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «*Охлаждение*» (рисунок 2.11).

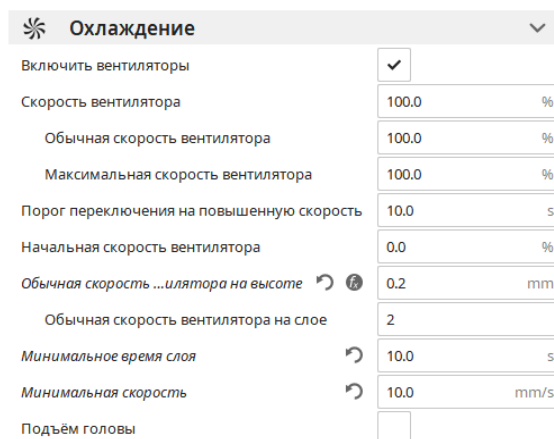


Рисунок 2.11 — Окно настройки параметров печати в разделе «Охлаждение»

Вентиляторы охлаждения должны быть включены для всех видов пластика. При этом значение параметра «Скорость вентилятора» ставится исходя из типа пластика и мощности системы, для пластиков PLA рекомендуется устанавливать 100%; для PETG — 50–100%; для ABS — 0–20%; для SBS — 0–50%.

Параметр «Начальная скорость вентилятора» определяет скорость вращения вентилятора для первого слоя.

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «Поддержки» (рисунок 2.12).

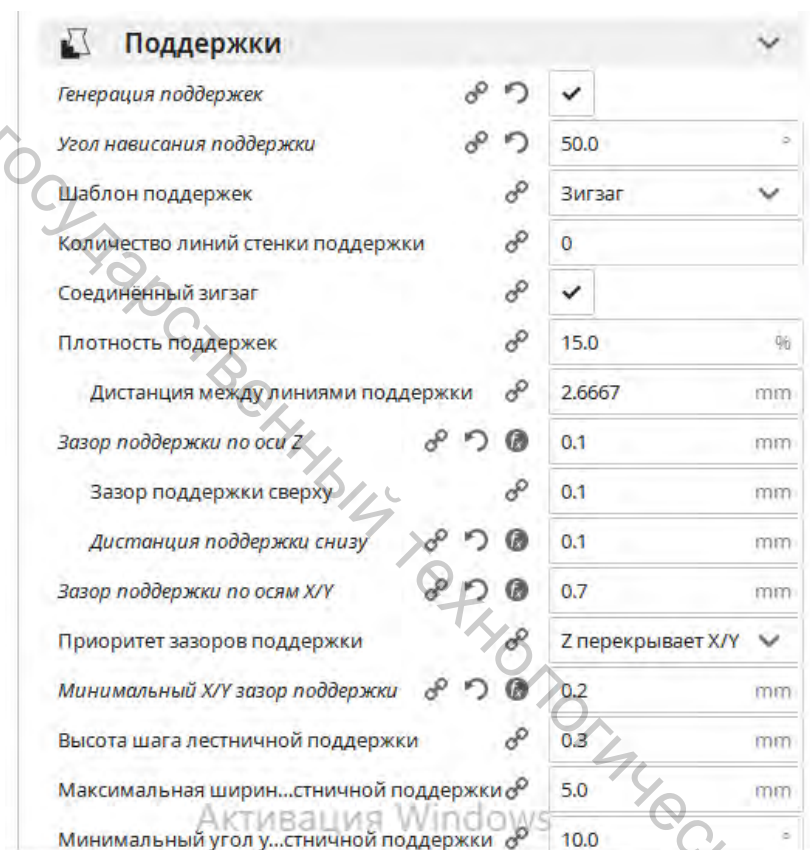


Рисунок 2.12 — Окно настройки параметров печати в разделе «Поддержки» (начальный фрагмент)

При выборе значения параметра «Шаблон поддержек» рекомендуется устанавливать «зигзаг», т. к. при таком шаблоне поддержки легче удаляются и сама модель печатается нормально. Для сложных ситуаций может понадобиться выставить «концентрический».

Значение параметра «Количество линий стенки поддержки» лучше оставлять нулевым, но при наличии очень маленьких областей рекомендуется ставить значение «1». Это помогает уплотнить маленькие поддержки.

Значение параметра «Зазор поддержки при оси Z» выбираем в диапазоне от 0,1 до 0,2. При больших значениях поддержки легче будет отделить, но при этом ниже будет качество нижней поверхности.

Флаг «Разрешить связующий слой поддержки» рекомендуется всегда устанавливать (рисунок 2.13). Включение этого параметра помогает добиться лучшего качества нависающих областей.

Минимальный угол у...стичной поддержки	10.0	°
Расстояние объединения поддержки	2.0	mm
Горизонтальное расширение поддержки	0.2	mm
Толщина слоя заполнения поддержек	0.2	mm
Степень заполнения поддержек	0	
Разрешить связующий слой поддержки	<input checked="" type="checkbox"/>	
Разрешить крышу поддержек	<input checked="" type="checkbox"/>	
Разрешить дно поддержек	<input checked="" type="checkbox"/>	
Толщина связующего слоя поддержки	1.0	mm
Толщина крыши	1.0	mm
Толщина низа поддержки	1.0	mm
Разрешение связующего слоя поддержек	0.3	mm
Плотность связующего слоя поддержки	100.0	%
Плотность крыши поддержек	100.0	%
Дистанция линии крыши поддержек	0.4	mm
Плотность низа поддержек	100.0	%

Рисунок 2.13 — Окно настройки параметров печати в разделе «Поддержки» (промежуточный фрагмент)

Значения *плотности связующего слоя поддержки* и *плотности низа поддержек* рекомендуется устанавливать в диапазоне 50–80%. Большие значения позволяют обеспечить лучшее качество, но при этом поддержки сложнее отделять от изделия.

Флаг «Использовать башни» всегда устанавливаем (рисунок 2.14).

Плотность низа поддержек	100.0	%
Дистанция линии низа поддержек	0.4	mm
Шаблон связующего слоя	Концентрический	▼
Использовать башни	<input checked="" type="checkbox"/>	
Диаметр башен	3.0	mm
Угол крыши башен	65	°

Рисунок 2.14 — Окно настройки параметров печати в разделе «Поддержки» (финальный фрагмент)

Далее настраивается ряд параметров печати в разделе «*Тип прилипания к столу*» (рисунок 2.15).

Тип прилипания к столу		
Тип прилипания к столу	∞ ↶	Подложка
Дополнительное поле подложки	∞	15.0 mm
Сглаживание подложки	∞	5.0 mm
Воздушный зазор подложки	∞ ↶	0.1 mm
Z наложение первого слоя	∞	0.05 mm
Верхние слои подложки	∞	2
Толщина верхнего слоя подложки	∞	0.2 mm
Ширина линий верха подложки	∞	0.4 mm
Дистанция между линиями верха поддержки	∞	0.4 mm
Толщина середины подложки	∞	0.3 mm
Ширина линий середины подложки	∞	0.8 mm
Дистанция между сло...и середины подложки	∞	1.0 mm
Толщина нижнего слоя подложки	∞	0.24 mm
Скорость печати подложки	∞	25.0 mm/s
Скорость печати верха подложки	∞	25.0 mm/s

Рисунок 2.15 — Окно настройки параметров печати в разделе «*Тип прилипания к столу*» (начальный фрагмент)

Параметр «*Тип прилипания к столу*» рекомендуется выставлять в значение «подложка», что позволит сформировать достаточно массивную структуру в несколько слоев, которая хорошо прилипает к столу, а к ней, в свою очередь, хорошо прилипнет изделие.

Значение параметра «*Дополнительное поле*» рекомендуется в диапазоне 5–20 мм.

Параметр «*Сглаживание подложки*» определяет радиус углов подложки и помогает им лучше прилипнуть к основанию стола, рекомендуемое значение — 5 мм.

Параметр «*Воздушный зазор подложки*» определяет расстояние между подложкой и собственно изделием, рекомендуется значение этого параметра устанавливать равным 0,1–0,2 мм.

Значение параметра «*Z наложение первого слоя*» выбирается равным половине величины зазора ($0,5 \cdot \text{Зазор}$).

Значение *скорости печати подложки* (рисунки 2.15 и 2.16) рекомендуется выбирать для скорости низа — 15 мм/с и для скорости остальных частей — 30–50 мм/с.

Скорость печати середины подложки		20.0	mm/s
Скорость печати низа подложки		20.0	mm/s
Скорость вентилятора для подложки		0.0	%
Скорость вентилято...для верха подложки		0.0	%
Скорость вентилят...середины подложки		0.0	%
Скорость вентилятора для низа подложки		0.0	%

Рисунок 2.16 — Окно настройки параметров печати в разделе «Тип прилипания к столу» (финальный фрагмент)

В случае если параметр «Тип прилипания к столу» установлен в значение «Юбка», что позволяет сформировать вокруг изделия несколько линий, отстоящих на некотором расстоянии от контура изделия, необходимо настроить ряд соответствующих параметров печати (рисунок 2.17).

Тип прилипания к столу			Юбка	
Количество линий юбки			3	
Дистанция до юбки			10.0	mm
Минимальная длина юбки/каймы			500.0	mm

Рисунок 2.17 — Окно настройки параметров печати для типа прилипания к столу «Юбка»

Значения параметра «Количество линий юбки» рекомендуется устанавливать 3–5; «Дистанция до юбки» — 3–10 мм; «Минимальная длина юбки/каймы» — 500 мм.

В случае если параметр «Тип прилипания к столу» установлен в значение «Кайма», что позволяет сформировать вокруг изделия несколько линий, увеличивающих площадь соприкосновения изделия со столом и улучшающих адгезию изделия к столу, необходимо настроить ряд соответствующих параметров печати (рисунок 2.18).

Тип прилипания к столу			Кайма	
Минимальная длина юбки/каймы			500.0	mm
Ширина каймы			8.0	mm
Количество линий каймы			3	
Кайма только снаружи			<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 2.18 — Окно настройки параметров печати для типа прилипания к столу «Кайма»

Значение параметра «Минимальная длина юбки/каймы» рекомендуется устанавливать, как и для юбки, — 500 мм; «Количество линий каймы» — 3–10.

2.3 Добавление принтера

При необходимости (если это не сделано ранее) можно осуществить добавление конкретной модели принтера в программе-слайсере. Для этого необходимо в главном меню программы выбрать «*Параметры*» → «*Принтер*» → «*Добавить принтер*» (рисунок 2.19).

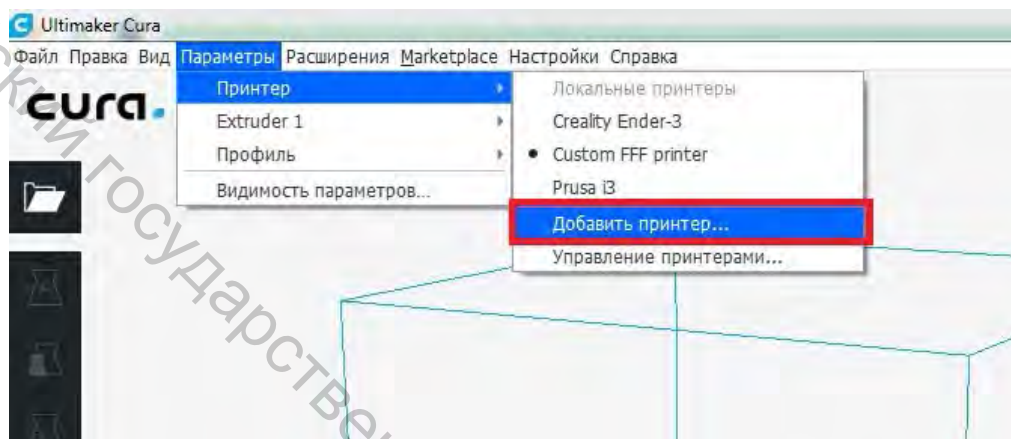


Рисунок 2.19 — Добавление принтера

В открывшемся окне «*Добавление принтера*» необходимо выбрать установленную модель принтера. Если установлен принтер Ultimaker, то можно выбрать модель из предложенного списка (рисунок 2.20). Если же используется принтер другого производителя, то необходимо раскрыть список «*Other*» и также из предложенного списка выбрать установленную модель принтера.



Рисунок 2.20 — Окно выбора модели принтера

2.4 Настройки параметров принтера

При необходимости можно вручную установить (изменить) значения ряда параметров принтера. На вкладке «*Принтер*» параметры разбиты на две группы: параметры принтера и параметры печатающей головы принтера.

В группе параметров принтера (рисунок 2.21) флаг «*Нагреваемый стол*» устанавливается в случае, если принтер имеет опцию подогрева стола (актуально для большинства моделей).

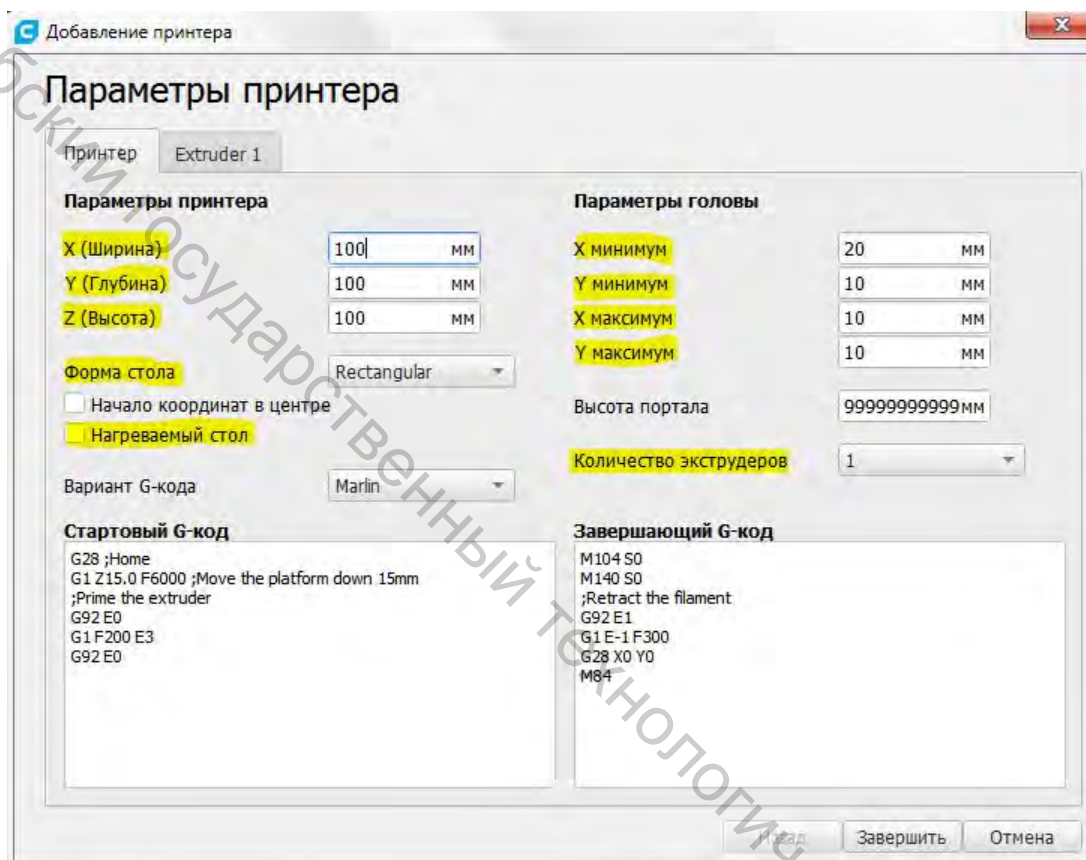


Рисунок 2.21 — Окно настройки параметров принтера в разделе «*Принтер*»

В группе параметров печатающей головы можно настроить «отступ» от края стола принтера с тем, чтобы экструдер не заходил дальше этих значений.

Параметр «*Высота портала*» обозначает высоту, ниже которой двигаться над напечатанной моделью нельзя, иначе будет столкновение. Данная опция позволяет при печати нескольких моделей на 3D-принтере задать режим последовательной 3D-печати каждой модели отдельно. Это значит, что модели будут печататься по очереди, первая, вторая, третья и т. д., а не одновременно послойно все. Если настраивать данную опцию, нужно иметь в виду, что модели необходимо размещать таким образом, чтобы экструдер или направляющие не зацепили уже распечатанную модель. По умолчанию указан параметр 9999999999, это означает — «проход закрыт».

На вкладке «*Extruder 1*» можно настроить/изменить ряд параметров экструдера (рисунок 2.22). Значение параметра «*Диаметр сопла*» должно

соответствовать диаметру установленного на экструдере сопла. Значение параметра «Диаметр совместимого материала» устанавливается в соответствии с диаметром филамента, который применяется на установленной модели принтера (наиболее распространенные значения диаметра филамента 1,75 мм и 3 мм). Остальные параметры можно оставлять без изменений.

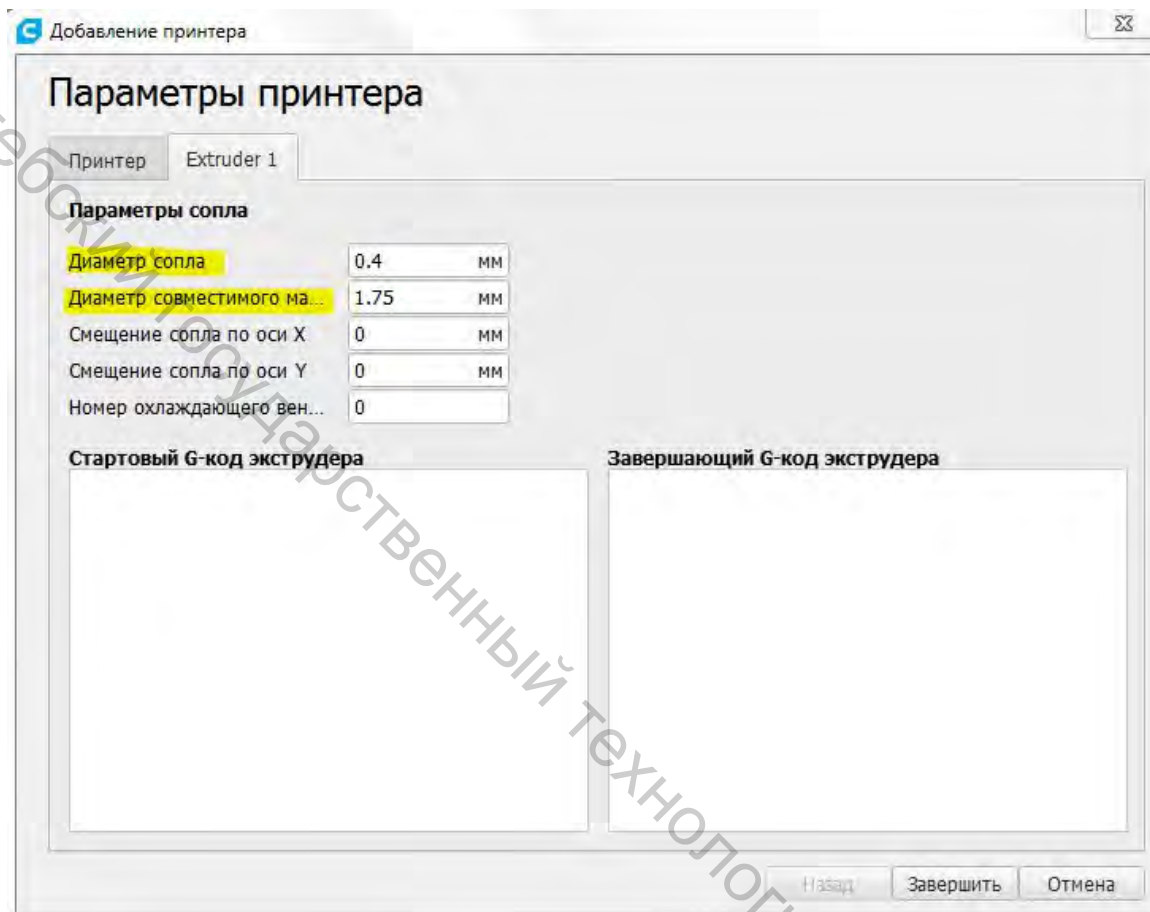


Рисунок 2.22 — Окно настройки параметров принтера в разделе «*Extruder 1*»

2.2 Подготовка модели в программе-слайсере

Процесс конвертации 3D-модели из нативного формата файлов системы моделирования в формат *.stl осуществляется с помощью операции экспорта средствами самой системы моделирования или с помощью специализированного программного обеспечения и в данных методических указаниях не рассматривается.

2.2.1 Загрузка 3D-модели в программу-слайсер

Для загрузки 3D-модели в слайсер необходимо нажать на кнопку с иконкой папки на ленте инструментов и выбрать файл модели в формате *.stl (рисунок 2.23).

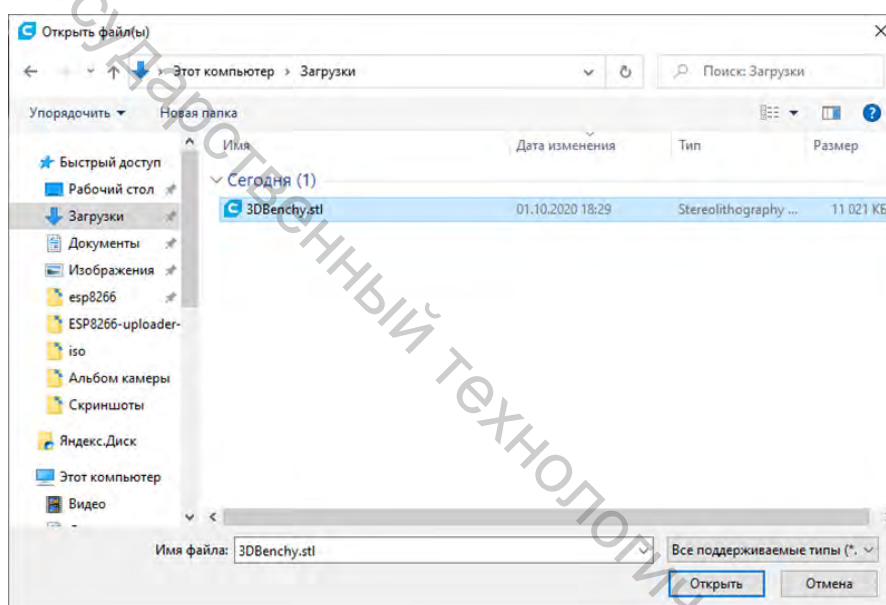
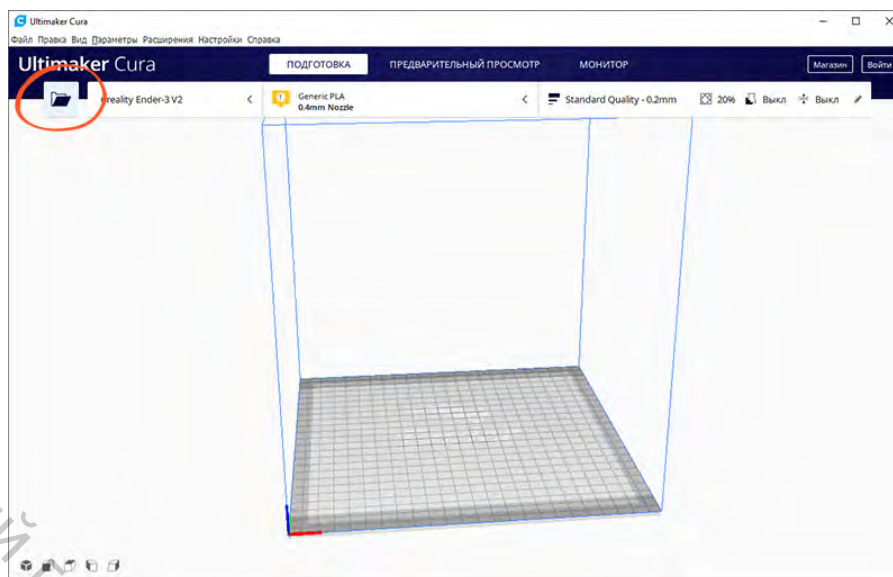


Рисунок 2.23 — Загрузка 3D-модели

2.2.2 Выбор параметров печати

Для выбора параметров печати необходимо в общем случае выполнить следующие действия:

- выбор принтера,
- выбор пластика и размеров сопла экструдера принтера,
- выбор настроек слайсинга.

2.2.2.1 Выбор принтера

Данный пункт выполняется при необходимости. В левом верхнем углу окна слайсера отображается название принтера (рисунок 2.24). Если в программе-слайсере добавлена только одна модель принтера, то в данном пункте будет отображаться именно она, и нет необходимости выбирать модель.

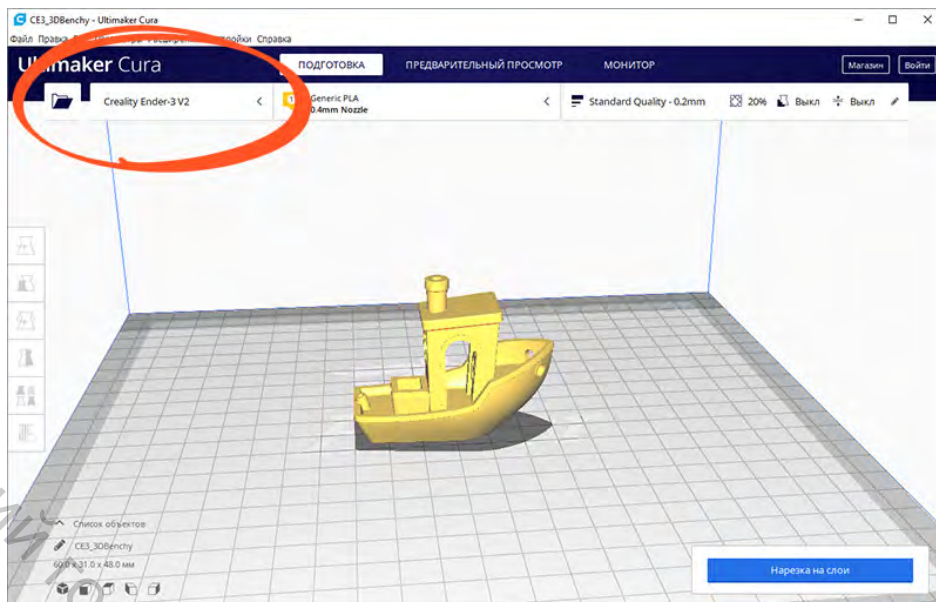


Рисунок 2.24 — Выбор модели 3D-принтера

2.2.2.2 Выбор материала и сопла на принтере

Принтер Creality Ender-3 V2 позволяет печатать различными видами пластика и использовать сопла с разным диаметром. Штатно в принтер устанавливается сопло диаметром 0,4 мм. В случае если проводилась замена сопла, необходимо удостовериться, что в слайсере указано значение, соответствующее установленному соплу.

Для выбора необходимо раскрыть список выбора пластика и сопла. В разделе «Материал» выбрать необходимый тип пластика, в случае использования PLA-пластика необходимо выбрать «PLA» в разделе «Универсальные» (рисунок 2.25).

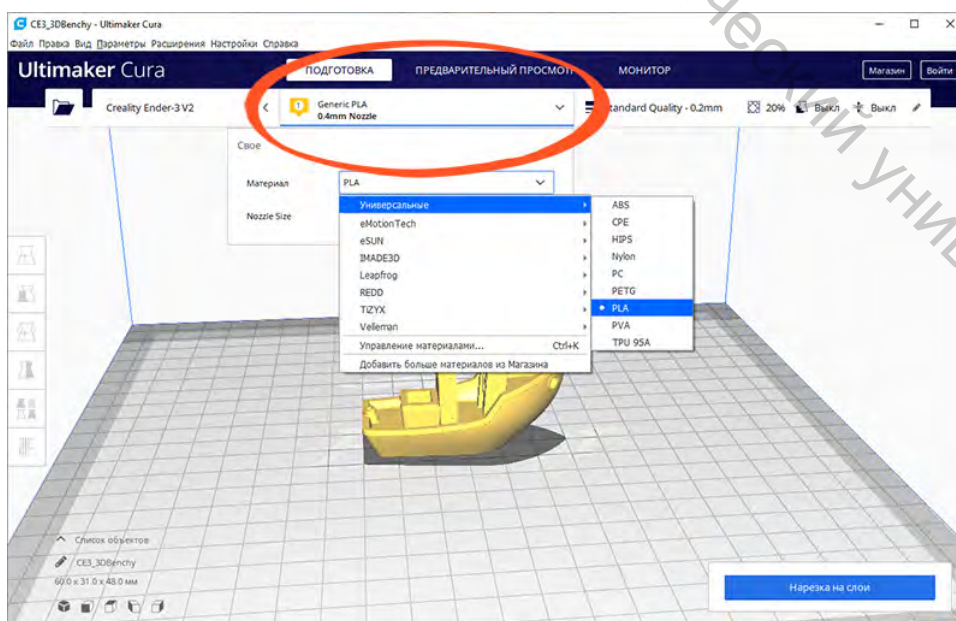


Рисунок 2.25 — Выбор вида материала

2.2.2.3 Выбор настроек слайсинга

По клику на кнопку в правой части окна слайсера раскрывается список с основными настройками слайсинга (рисунок 2.26).

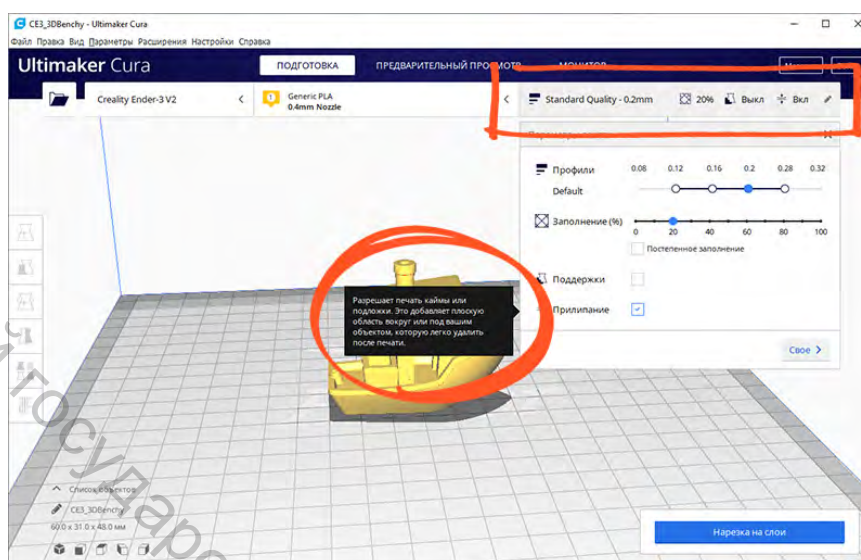


Рисунок 2.26 — Выбор настроек слайсинга

Кнопка «Своё» открывает подробные настройки с множеством параметров (рисунок 2.27). Можно оставить значения этих параметров в значении по умолчанию, для текущей задачи достаточно базовых настроек.

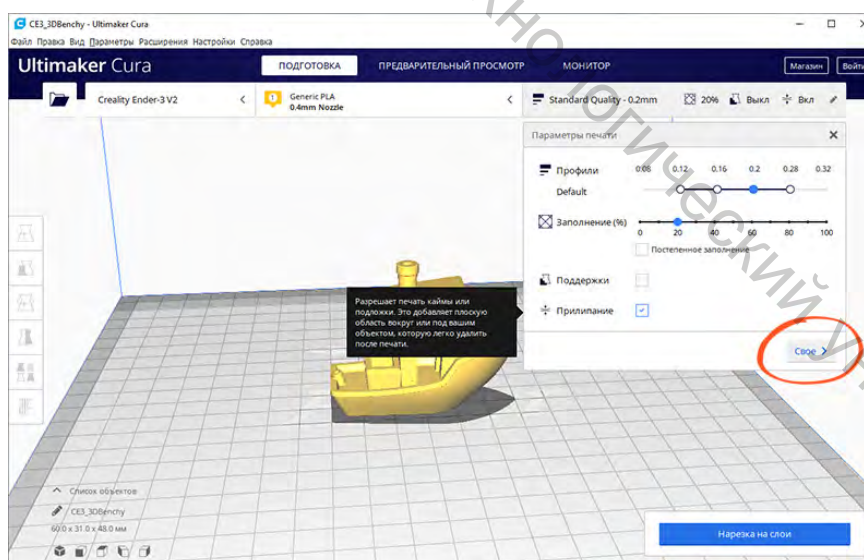


Рисунок 2.27 — Выбор индивидуальных настроек слайсинга

Верхний ползунок «Профили» отвечает за толщину каждого слоя (рисунок 2.28). При этом следует учитывать, что чем толще каждый слой, тем быстрее печатается модель. В то же время при уменьшении толщины слоя достигается более высокое качество печати.

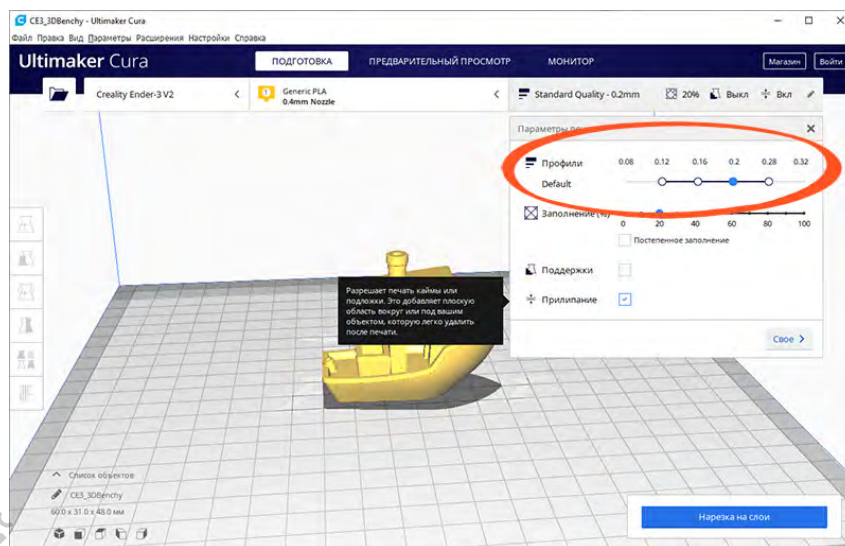


Рисунок 2.28 — Выбор настроек толщины слоев

Толщину слоя можно выбирать в пределах 0,1–0,4 мм, для текущей задачи достаточно высоты слоя 0,2 мм. Это компромиссное значение между скоростью печати и качеством поверхности получаемой модели.

Второй ползунок «Заполнение» отвечает за заполнение материалом внутреннюю часть модели (рисунок 2.29). Традиционно принтер может напечатать только стенки модели, а внутренний объём оставить пустым. Это существенно сокращает расход пластика, но негативно влияет на прочность получаемой модели. Для обеспечения прочности модели внутреннюю часть модели рекомендуется заполнять материалом в соответствии со стандартным паттерном в диапазоне значений 20–60%, в случае специфических требований можно выбрать и иные значения по заполнению модели материалом. В рамках решаемой задачи в целях обеспечения баланса между прочностью модели и расходом пластика можно выставить значение заполнения на 20%.

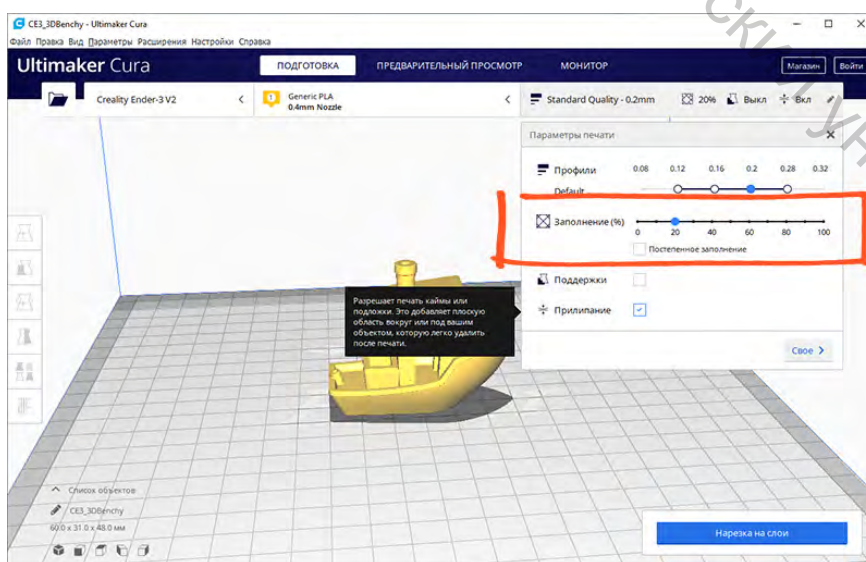


Рисунок 2.29 — Выбор настроек степени заполнения модели

Также в меню настроек слайсинга находятся два дополнительных параметра: поддержки и прилипание.

Если деталь имеет выступающие части, которые нависают над столом, то принтер не сможет их просто напечатать — они в процессе печати разрушатся. Чтобы предотвратить это, необходимо активировать параметр «Поддержки». Под нависающими частями будут начиная с первого слоя печататься элементы поддержки, которые устраняют возможные провисания отдельных частей изготавливаемой модели.

В выбранной тестовой модели таких частей нет, поэтому параметр «Поддержки» активировать нет необходимости (рисунок 2.30). При печати других моделей или смене ориентации модели в пространстве нужно обеспечивать формирование поддерживающих структур.

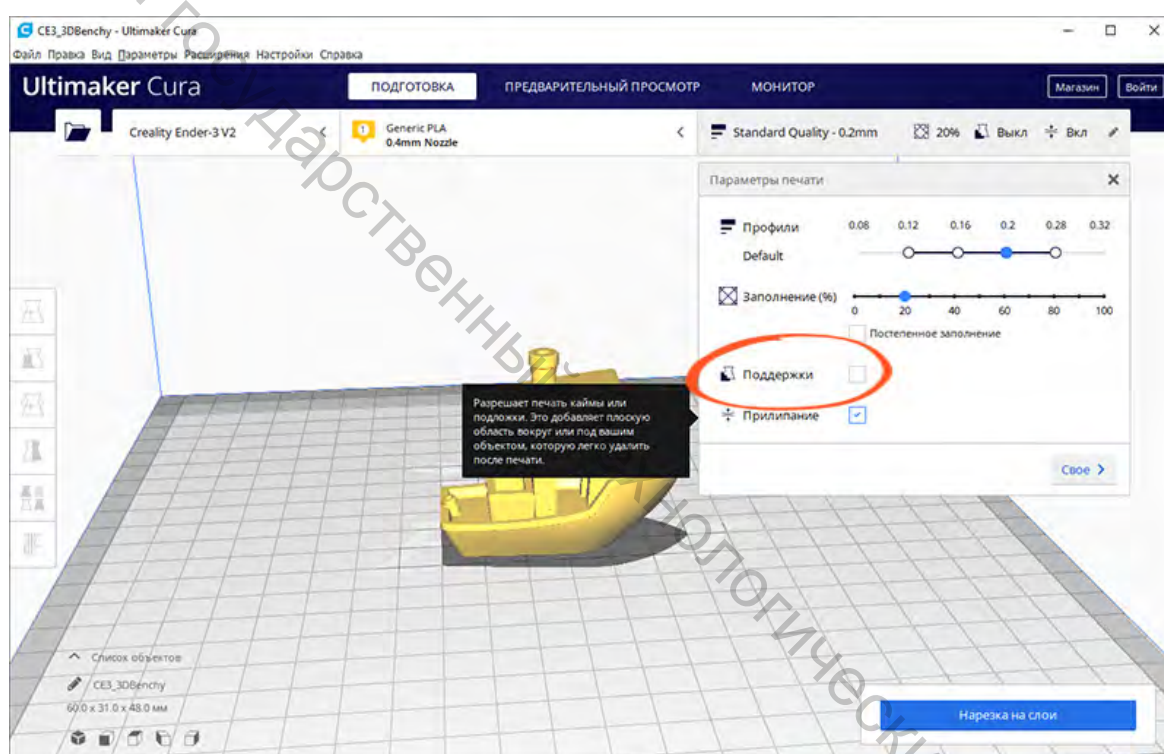


Рисунок 2.30 — Выбор параметра «Поддержки»

Параметр «Прилипание» улучшает адгезию изготавливаемой модели к поверхности рабочего слота. В случае если адгезия окажется недостаточной, модель может оторваться в процессе печати. Для повышения адгезии можно, например, дополнительно вокруг модели печатать юбочку, которая увеличит площадь соприкосновения со столом. После печати её можно будет срезать, но в процессе печати она не позволит модели оторваться от стола.

Для данной тестовой модели необходимо активировать этот параметр, так как площадь дна модели невелика, и дополнительная поверхность для более высокой адгезии необходима (рисунок 2.31).

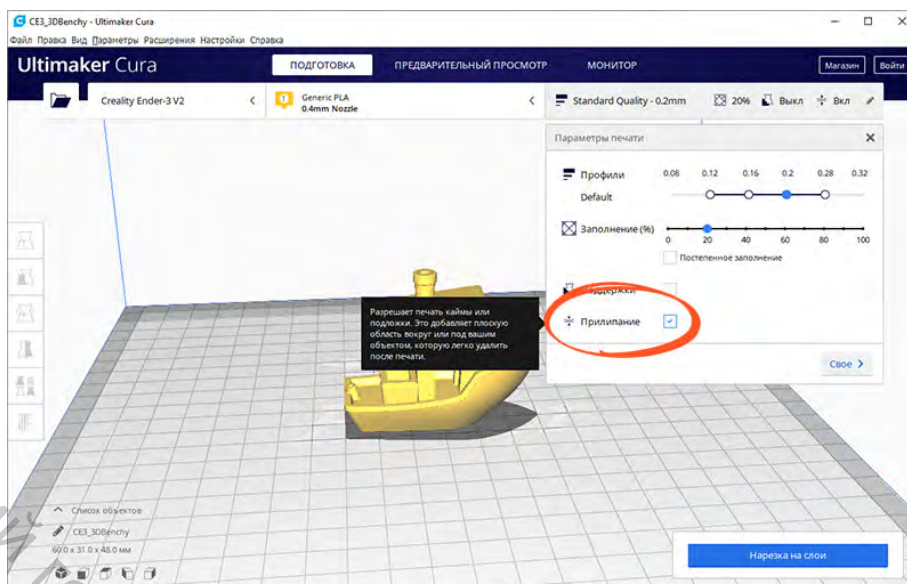


Рисунок 2.31 — Выбор параметра «Прилипание»

2.3 Предварительный просмотр

Для осуществления автоматического формирования слоев модели необходимо нажать на кнопку «Нарезка на слои» в правой нижней части окна слайсера (рисунок 2.32). После этого слайсер просчитает траекторию печатающей головки и сгенерирует соответствующий G-код для принтера.

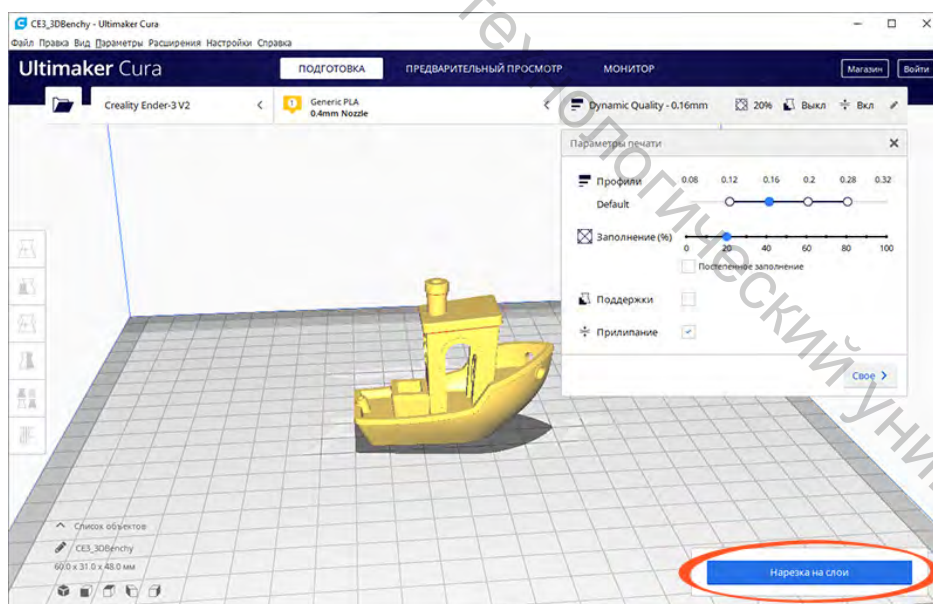


Рисунок 2.32 — Запуск формирования слоев

Для просмотра результатов слайсинга необходимо перейти на вкладку «Предварительный просмотр», где будут отображаться построенные слои модели (рисунок 2.33). Предварительный просмотр помогает проверить выбранные настройки печати и понять, как будет печататься модель.

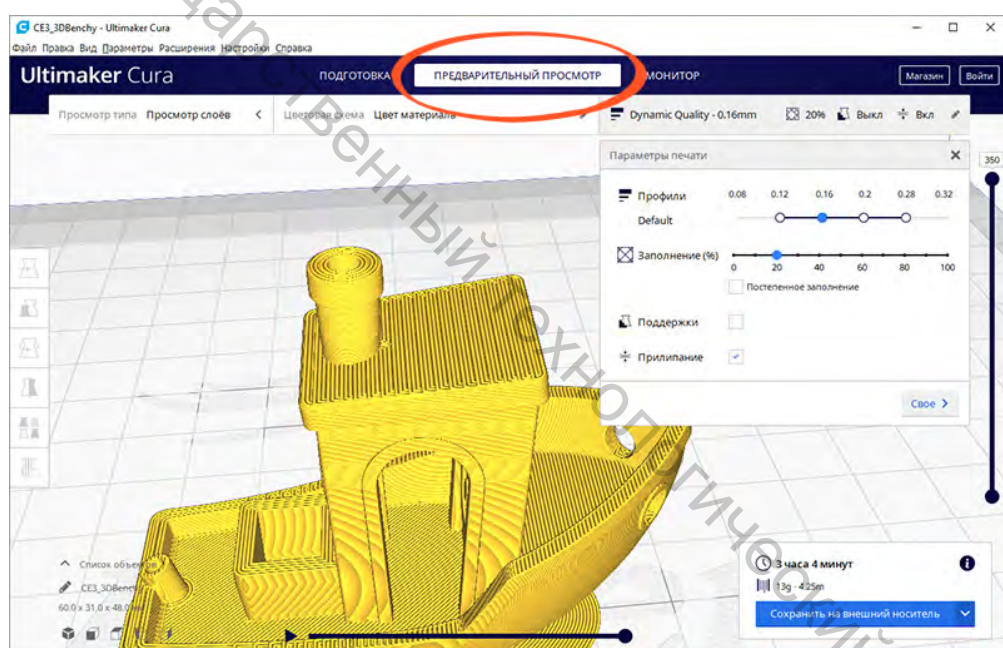
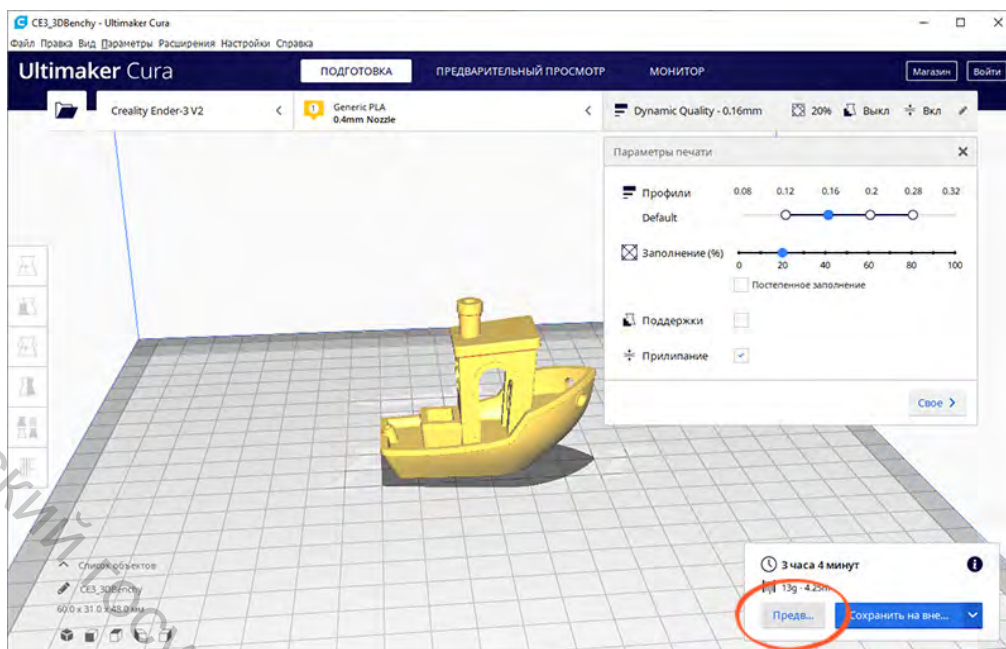


Рисунок 2.32 — Предварительный просмотр результатов формирования слоев

2.4 Экспорт G-кода

Полученный G-код для принтера необходимо перенести собственно на принтер. Для этого можно подключить к компьютеру карту памяти microSD через переходник из комплекта принтера. Слайсер обнаружит съёмное устройство и предложит сохранить файл на него (рисунок 2.33). Далее необходимо сохранить G-код на карту памяти или с помощью раскрывающегося списка сохранить в файл, а затем средствами ОС вручную скопировать на карту.

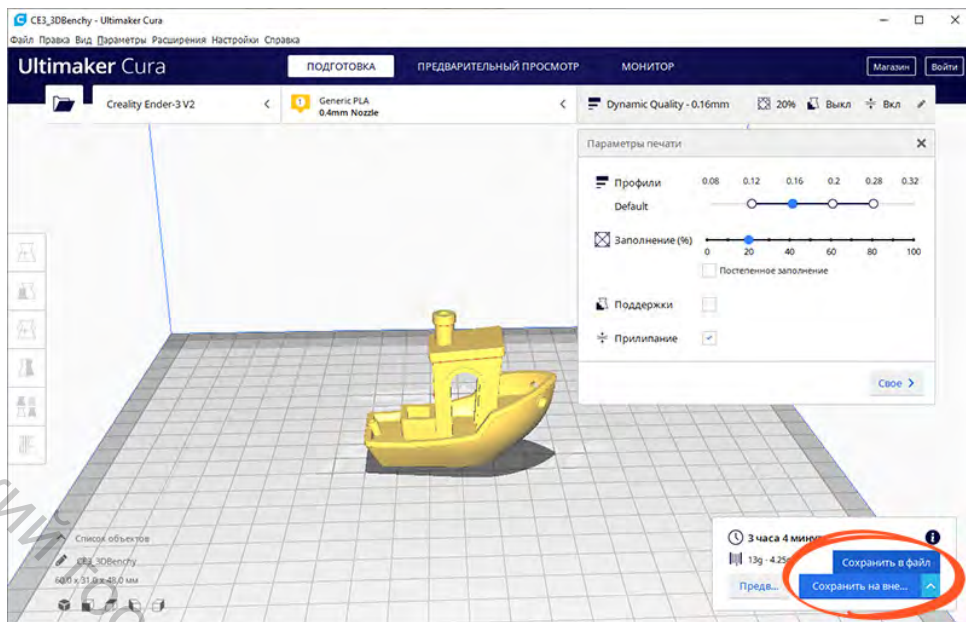


Рисунок 2.33 — Сохранение G-кода

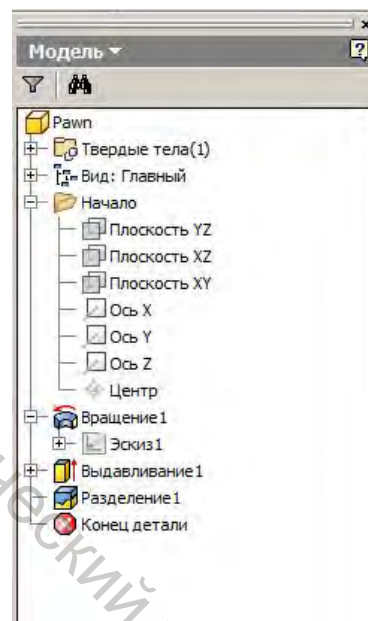
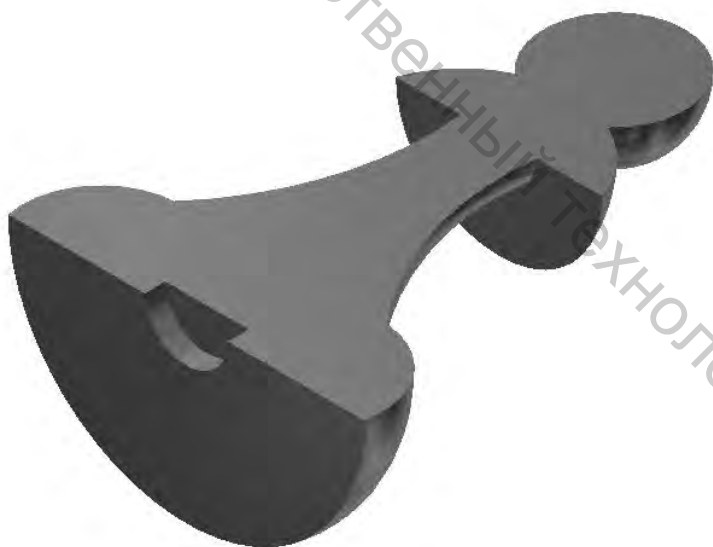
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «Разработка 3D-модели формы для изготовления изделия»

Разработка 3D-модели формы для последующего изготовления изделия осуществляется на основе 3D-модели, полученной в рамках выполнения работы № 1, и осуществляется по дизайн-макету изделия в соответствии заданным вариантом.

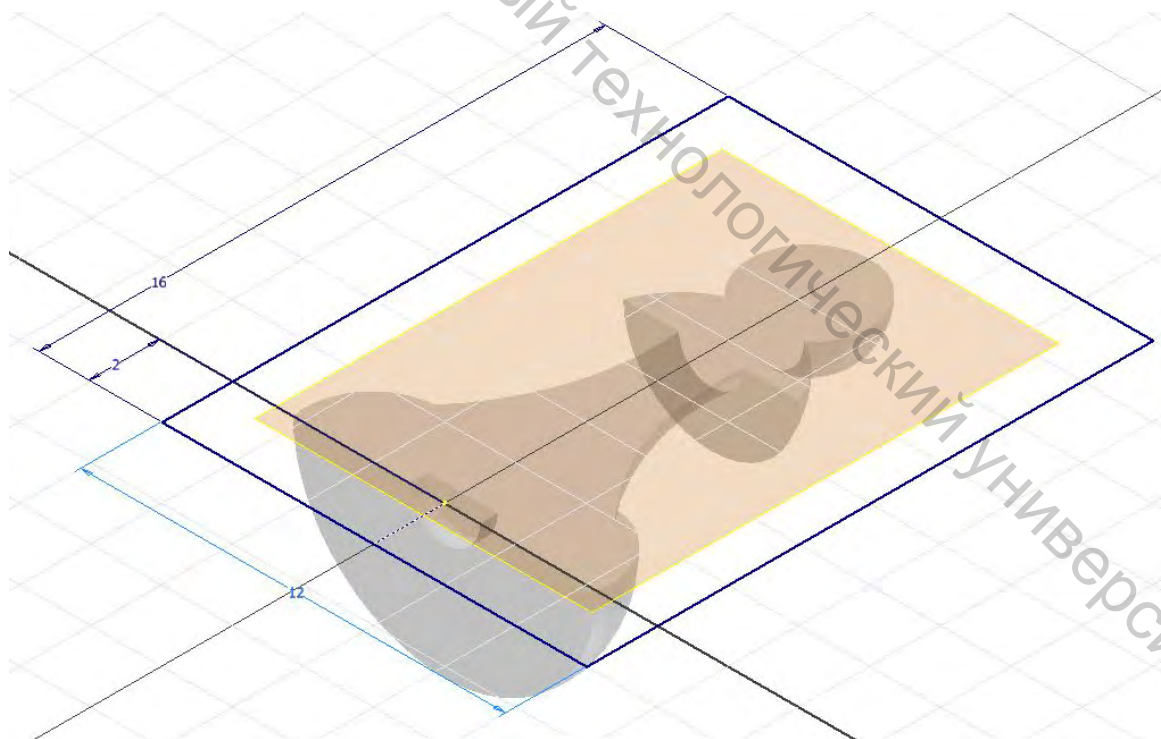
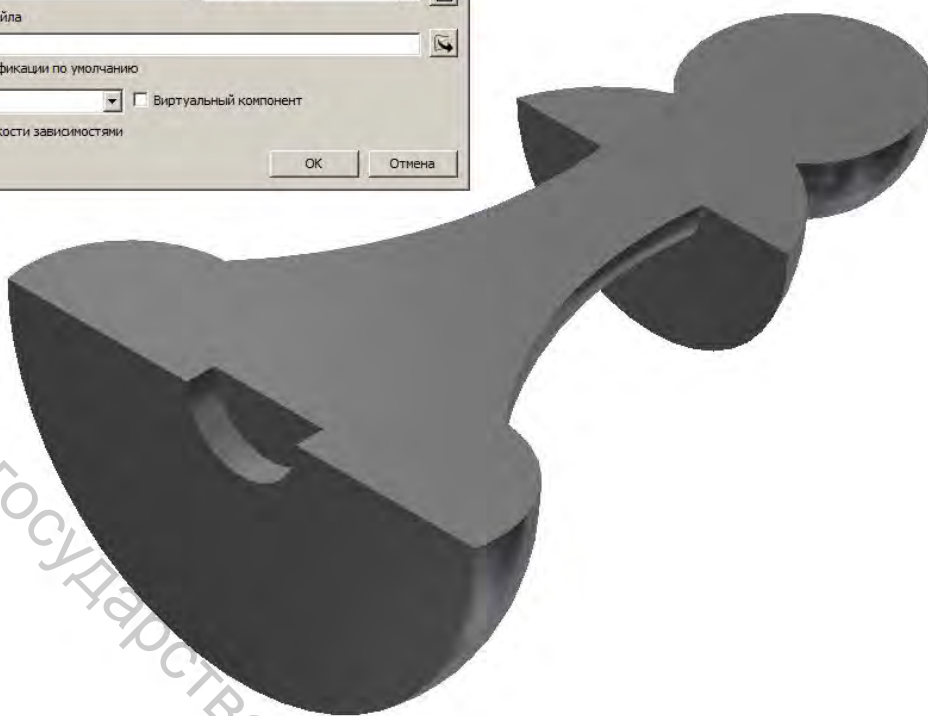
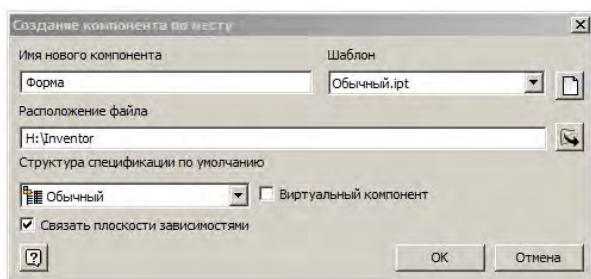
3.1 Порядок разработки 3D-модели формы

Для разработки 3D-модели формы на основе ранее разработанной 3D-модели изделия необходимо выполнить следующую последовательность действий.

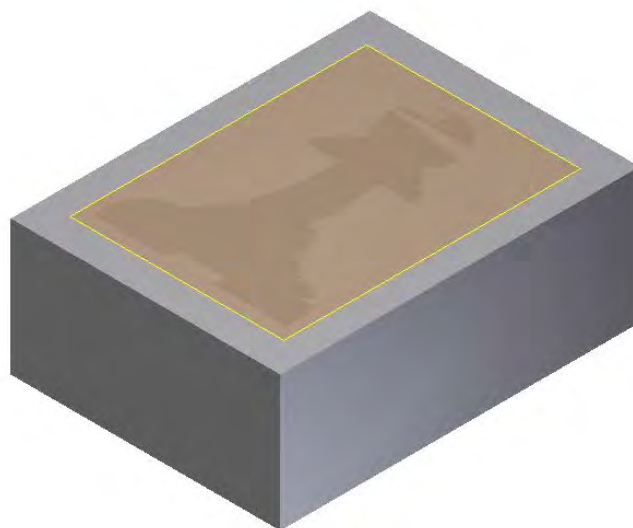
1) на первоначальном этапе необходимо предварительно подготовить 3D-модель изделия. В рассматриваемом примере необходимо разделить 3D-модель изделия на две части, воспользовавшись например одной из базовых плоскостей



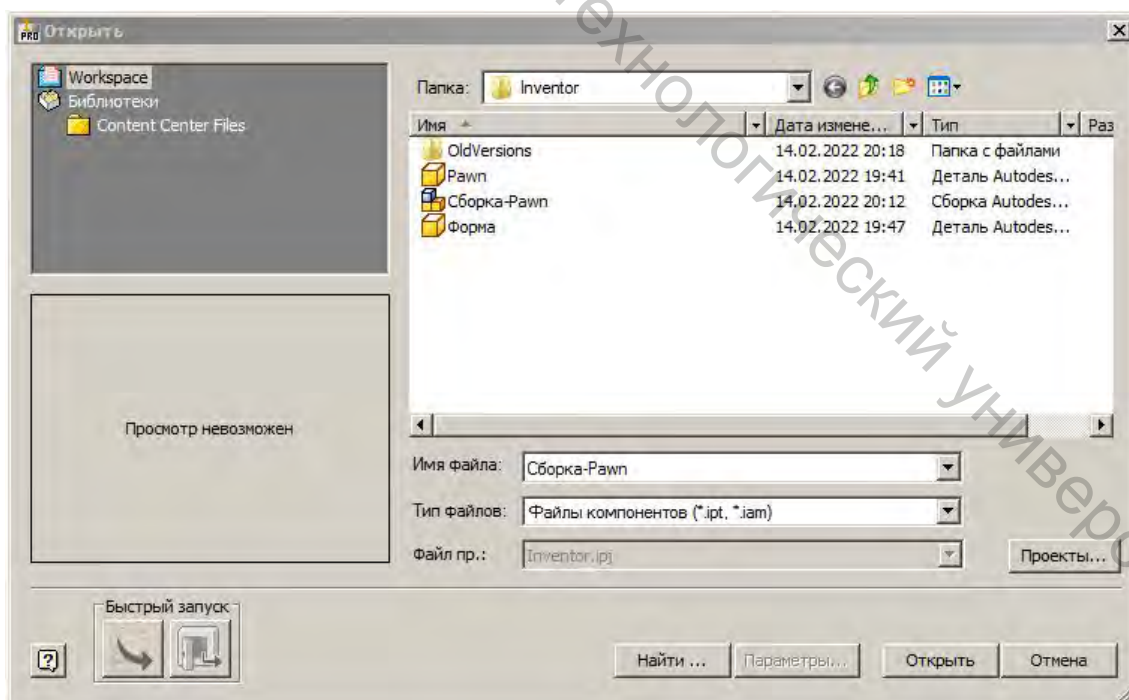
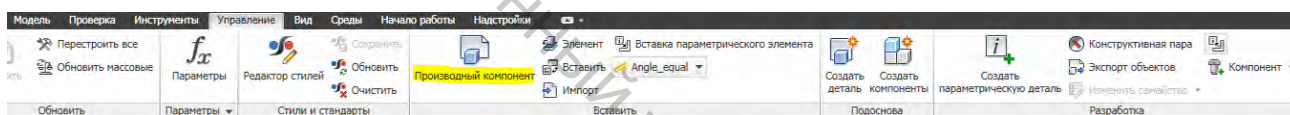
2) далее создается новая модель сборки. В модели сборки в качестве первоначального компонента добавляется предварительно подготовленная модель изделия. Далее добавляется компонент «форма» с размерами, превосходящими размеры модели изделия



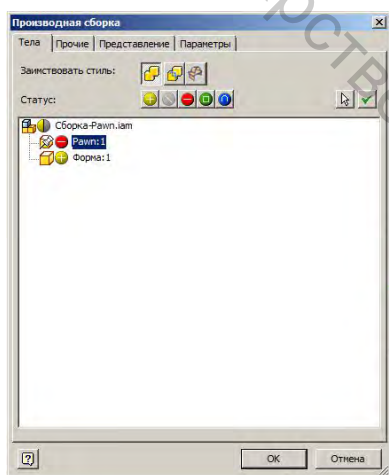
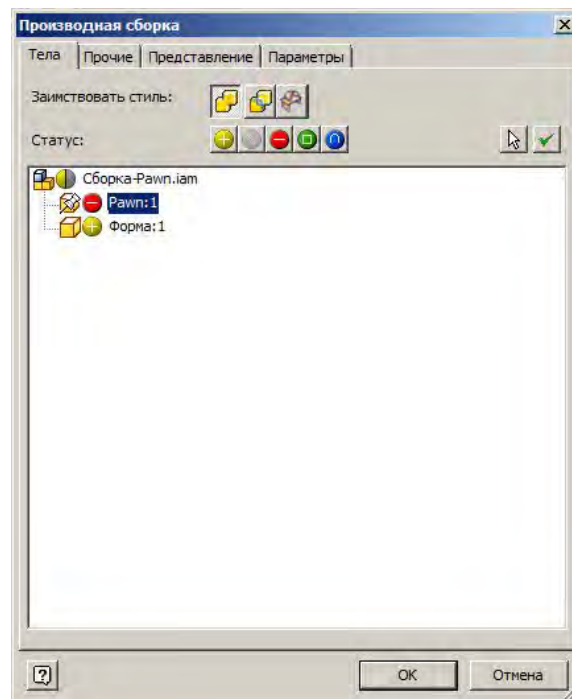
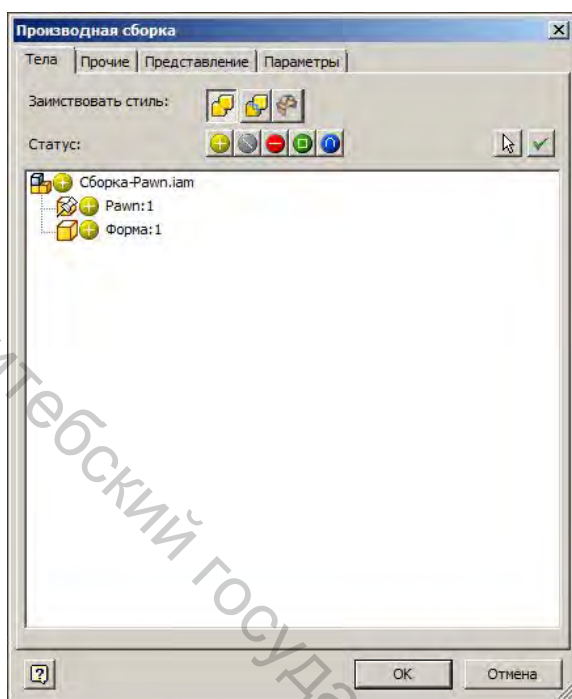
В результате выполнения построений получается модель сборки, содержащая исходную модель изделия и модель формы в качестве предварительной заготовки.



3) на следующем этапе необходимо сформировать производную сборку. Для этого необходимо сначала создать новую модель, затем в ленте инструментов на вкладке «Управление» для группы инструментов «Вставить» выбрать «Производный компонент» — появится диалоговое окно открыть, в котором необходимо выбрать ранее созданную модель сборки



4) далее в открывшемся окне *Производная сборка* необходимо выбрать для компонентов статус их использования в режиме производной сборки. В рассматриваемом примере для компонента Пешка (Rawn) необходимо установить статус «Логическое вычитание выбранных компонентов».



В результате выполнения построений будет получена форма с занижением, соответствующим форме модели изделия.



3.2 Доработка конструкции 3D-модели формы

При необходимости полученная модель формы может быть доработана с учетом особенностей ее применения, необходимости размещения базирующих элементов, элементов литниковой системы и т. п.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гибсон, Я. Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. — Москва : ТЕХНОСФЕРА, 2018. — 648 с.
2. Моделирование в SketchUp. Создание шахматной фигуры / andrew_answer; 3deshnik.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://3deshnik.ru/blogs/andrew_answer/modelirovanie-v-sketchup-sozdanie-shahmatnoj-figury. — Дата доступа : 02.02.2022.
3. Почти все настройки, необходимые для нормальной печати Cura 3.6. Часть 1. Вкладки Качество и ограждение / LikeNi; 3dtoday.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://3dtoday.ru/blogs/likeni/almost-all-settings-required-for-normal-printing-cura-36-part-1-qualit>. — Дата доступа : 02.02.2022.
4. Почти все настройки, необходимые для нормальной печати Cura 3.6. Часть 2. Заполнение и материал / LikeNi; 3dtoday.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://3dtoday.ru/blogs/likeni/almost-all-settings-required-for-normal-printing-cura-36-part-2-fillin>. — Дата доступа : 02.02.2022.
5. Почти все настройки, необходимые для нормальной печати Cura 3.6. Часть 3 / LikeNi; 3dtoday.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://3dtoday.ru/blogs/likeni/almost-all-settings-required-for-normal-printing-cura-36-part-3>. — Дата доступа : 02.02.2022.
6. 3D Принтер Ender-3 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://www.creality.com/ru/goods-detail/ender-3-3d-printer>. — Дата доступа : 02.02.2022.
7. 3D Принтер Ender-3 V2 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://www.creality.com/ru/goods-detail/ender-3-v2-3d-printer>. — Дата доступа : 02.02.2022.
8. Печатаем на 3D принтере Creality Ender 3 – Часть 1 / Сборка принтера / mysku.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://mysku.ru/blog/china-stores/68801.html>. — Дата доступа : 02.02.2022.
9. Твоя первая 3D-печать на Creality Ender-3 V2 / amperka.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://amperka.ru/page/creality-ender-3-v2-first-print>. — Дата доступа : 02.02.2022.
10. Создание производной детали или сборки | Inventor | Autodesk / knowledge.autodesk.com [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://knowledge.autodesk.com/ru/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/RUS/Inventor-Help/files/GUID-04363641-CCF9-4B2C-A3C4-AF676D6F7B1A-htm.html>. — Дата доступа : 02.02.2022.

Учебное издание

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Составители:

Климентьев Андрей Леонидович

Гришаев Александр Николаевич

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *А.Л. Климентьев*

Подписано к печати 15.03.2022. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 2,4.
Уч.-изд. листов 3,1. Тираж 2 экз. Заказ №

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.