

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 18.05.2026 10:09:45
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Рязанский институт (филиал)
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт»

Н.В. Аверин, А.Н. Паршин

ТЕХНОЛОГИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Рязань
2026

УДК 621.74.06

ББК 35.710

А 19

Аверин, Н.В.

А19 Технология аддитивного производства: методические указания по выполнению лабораторных работ / Н.В. Аверин., А.Н. Паршин – Рязань : Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2026. – 36 с.

В методических указаниях рассмотрен порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технология аддитивного производства», выполняемых с использованием 3D-принтера Picaso DesignerX Pro.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, профиль подготовки «Технология полимерных и композиционных материалов» всех форм обучения.

Печатается по решению методической комиссии Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 621.74.06

ББК 35.710

© Аверин Н.В., Паршин А.Н. 2026
© Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического
университета, 2026

Содержание

Введение	4
1 Общее описание 3D-принтера Picaso Designer X Pro	5
2 Лабораторная работа № 1. Подготовка 3D-принтера Picaso Designer X Pro к работе, устранение частых неисправностей и печать тестовой модели	10
3 Лабораторная работа № 2. Работа в слайсере Polygon X. Подготовка задания и печать модели	19
Библиографический список	34
Приложение А – Титульный лист лабораторной работы	35

Введение

Формирование технологического уклада, определяемого концепцией Индустрии 4.0, основано на глубокой интеграции киберфизических систем, интернета вещей и цифровых двойников в производственные процессы. Ключевым элементом этой трансформации являются аддитивные технологии, которые обеспечивают принципиально иной подход к созданию изделий – послойный синтез на основе цифровых моделей. Данная методология устраняет многие ограничения традиционного субтрактивного производства, открывая возможности для изготовления деталей со сложной геометрией, значительного сокращения цикла от проектирования до выпуска продукции и перехода к полностью цифровым технологическим цепочкам.

Широкое распространение в инженерной практике, прототипировании, медицине и образовании получила технология моделирования методом наплавления (Fused Deposition Modeling, FDM). Ее популярность обусловлена относительной простотой технологического процесса, доступностью оборудования и материалов, а также широкими функциональными возможностями. Однако потенциал FDM-оборудования раскрывается в полной мере только при условии глубокого понимания пользователем как принципов его работы, так и строгого соблюдения регламентов эксплуатации, технического обслуживания и подготовки цифровых моделей.

Настоящие методические указания разработаны в качестве руководства для проведения лабораторно-практических занятий, ориентированных на формирование у обучающихся системных знаний и практических компетенций в области аддитивного производства на примере профессионального 3D-принтера Picaso Designer X Pro.

Целью издания является поэтапное формирование у студентов навыков, необходимых для самостоятельной работы на FDM-принтере, начиная с базовых операций подготовки и обслуживания и заканчивая управлением процессом печати и постобработкой. Лабораторный практикум структурирован таким образом, чтобы обучающийся последовательно ознакомился с ключевыми этапами полного цикла аддитивного производства.

1 Общее описание 3D-принтера Picaso Designer X Pro

Picaso Designer X Pro (рисунок 1.1) – это полупромышленный 3D-принтер, построенный по технологии послойного наплавления (Fused Filament Fabrication, FFF) (рисунок 1.2). Он предназначен для функционального прототипирования, изготовления сложных деталей с поддержками и работы с широким спектром конструкционных полимерных материалов, включая инженерные и высокотемпературные пластики.



Рисунок 1.1 – Общий вид 3D-принтера Picaso Designer X Pro

Основное назначение в учебном процессе:

- изучение принципов аддитивного производства (FDM/FFF);
- освоение подготовки цифровых моделей (CAD) для 3D-печати;
- практическая работа с различными типами филаментов и изучение их свойств;
- получение навыков настройки параметров печати для достижения заданных характеристик изделия.

Основные характеристики 3D-принтера Picaso Designer X Pro представлены в таблице 1.1.

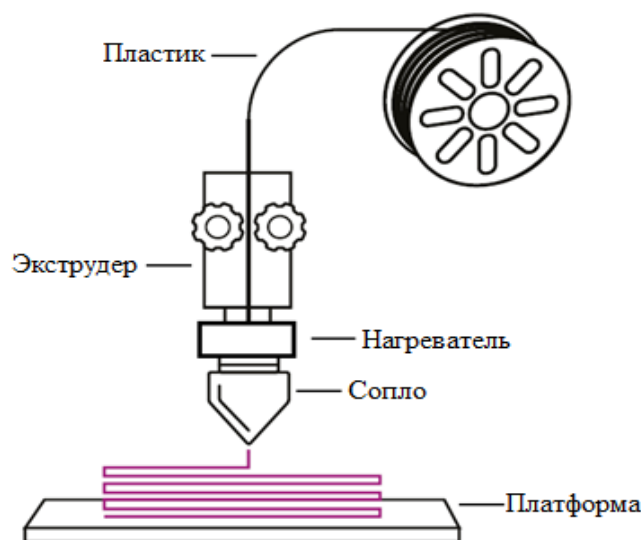


Рисунок 1.2 – Моделирование методом послойного наплавления

Таблица 1.1 – Основные характеристики 3D-принтера Picaso Designer X Pro

№	Параметр	Ед. измерения	Значение (Описание)
1	Технология печати	–	FFF (FDM)
2	Рабочая область (XYZ)	мм	200 × 200 × 210
3	Конструкция кинематики		CoreXY
4	Точность позиционирования	мм	XY – 0,011, Z – 0,00125
5	Система экструзии	–	Один экструдер с двумя соплами (JetSwitch)
6	Максимальная температура экструдера	°C	250 или 410
7	Максимальная температура нагреваемого стола,	°C	150
8	Минимальная толщина слоя	мм	0,01
9	Объемный расход филамента	мм ³ /с	до 25
10	Диаметр используемого филамента	мм	1,75
11	Диаметр совместимого сопла	мм	от 0,2 до 0,8
			0,3 в комплекте поставки
12	Интерфейсы подключения	–	USB, Ethernet

3D-принтер Picaso Designer X Pro совместим с широким спектром филаментов, в том числе PLA, ABS, PETG, TPU, NIPS, PVA и других (рисунок 1.3), а также композиционных филаментов на основе перечисленных (угле-, стеклонаполненных и т. д.). Вместе с тем, отсутствие активного подогрева камеры у модели Series 1 может стать препятствием при печати материалами с высокой усадкой.



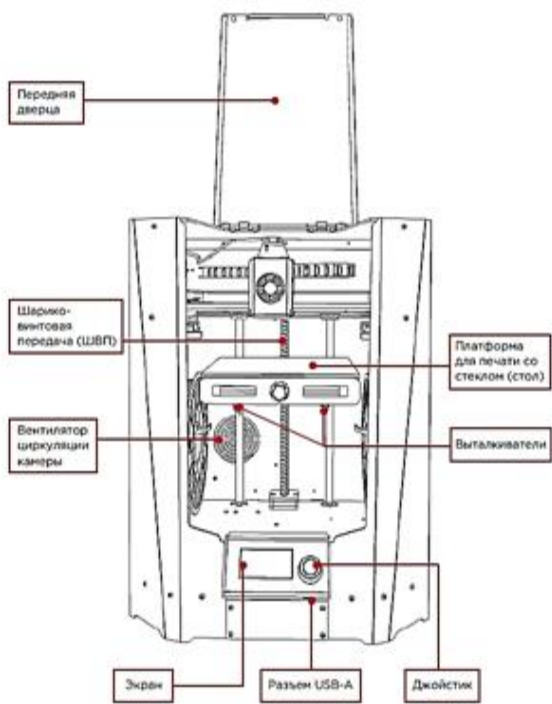
Рисунок 1.3 – Филаменты для FFF печати и характерные температуры экструзии

Подготовка управляющей программы для 3D-принтеров фирмы Picaso имеет принципиальное отличие от такого процесса для других распространенных 3D-принтеров. В отличие от большинства случаев, когда при подготовке программы задаются режимы печати (вручную или выбором профиля материала), материал печати выбирается непосредственно на 3D-принтере, а профили печати хранятся в памяти принтера (вместе с тем, режимы печати могут быть скорректированы непосредственно на принтере). При необходимости, в память принтера могут быть записаны дополнительные профили печати. С одной стороны это позволяет экономить время на подготовку к изготовлению геометрически одинаковых моделей из разных материалов, с другой – усложняет подготовку к печати материалами, отсутствующими в памяти принтера.

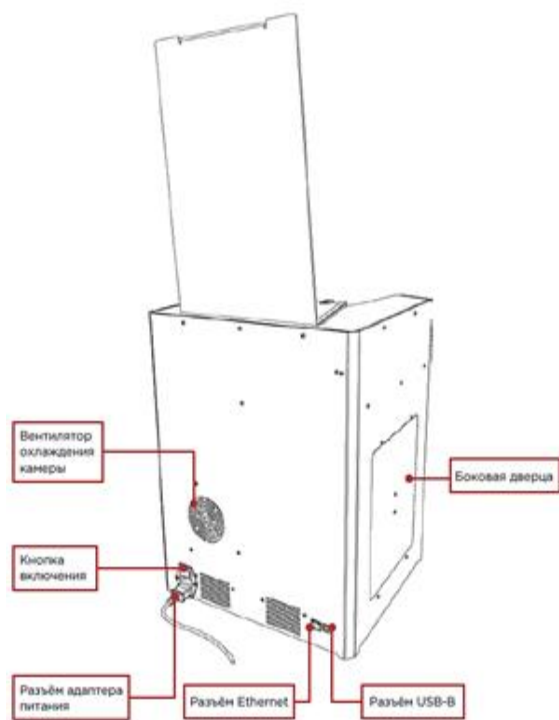
3D-принтер Picaso Designer X Pro обладает возможностью печати двумя различными материалами (или одинаковыми материалами разных цветов) в процессе изготовления модели. Отличительной особенностью принтеров линейки Designer X Pro является применение технологии JetSwitch, позволяющей осуществлять быструю (около 1 секунды) замену материала печати за счёт смены активного сопла поворотом блока нагревательных элементов, при чём второй нагревательный блок сразу готов к работе, а проблема утечки пластика решается применением специального клапана. Описанное решение существенно экономит время смены филамента и снижает количество отходов по сравнению с 3D-принтерами с одним нагревательным блоком.

Вместе с тем, печатающая головка (ПГ) Designer X Pro сложна в обслуживании и ремонте, обладает высокой массой. Алгоритм автосовмещения сопел не всегда работает корректно, что особенно важно при компенсации разности вылета сопел.

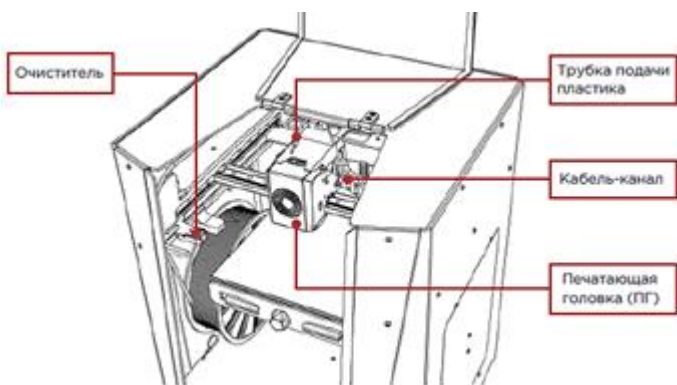
На рисунке 1.4 представлены основные узлы 3D-принтера Picaso Designer X Pro, а на рисунке 1.5 – принцип работы технологии JetSwitch.



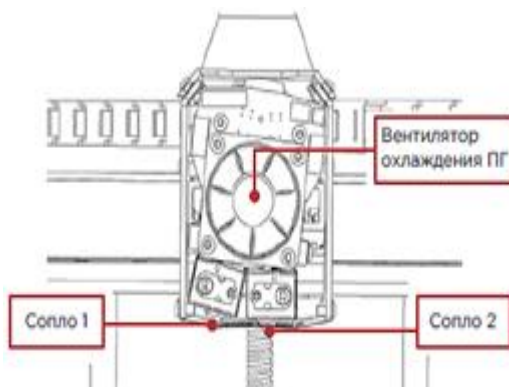
Вид спереди



Вид сзади сбоку



Вид внутри



Печатающая головка

Рисунок 1.4 – Основные узлы 3D-принтера Picaso Designer X Pro

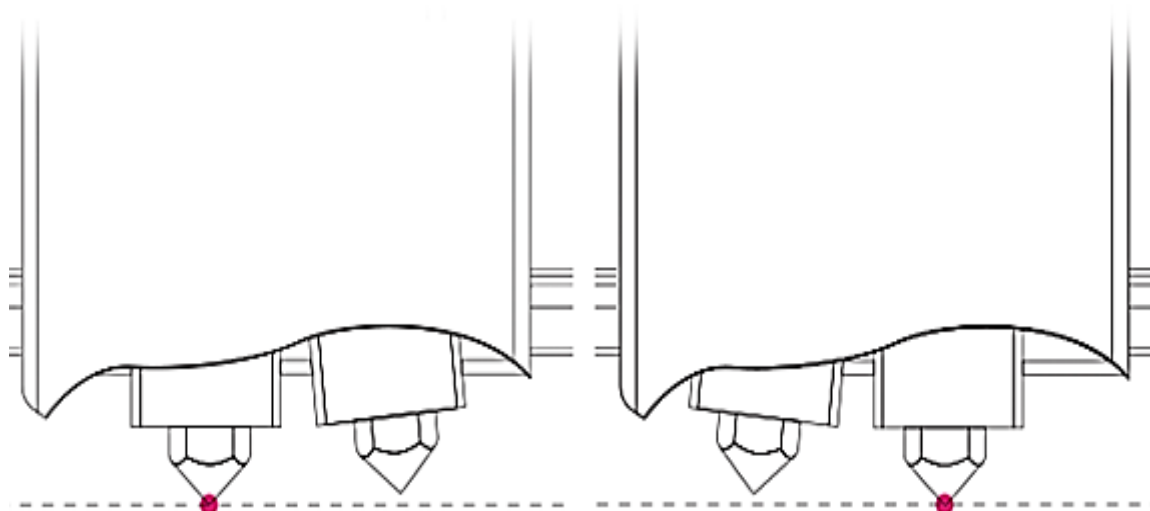


Рисунок 1.5 – Принцип работы технологии JetSwitch

Управление принтером осуществляется при помощи панели оператора, включающей в себя поворотный-нажимной джойстик, экран, разъем для usb-flash накопителя (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Панель оператора

Меню принтера имеет 6 вкладок. Слева направо, сверху вниз.

1. «Печать» – содержит пункты «Список файлов» и «Список принтлистов». Предназначена для запуска печати.

2. «Пластик» – позволяет выполнять операции заправки и извлечения пластика, прочистки печатной головки, работы с профилями пластика (выбор профиля, его редактирование, экспорт и импорт, удаление. При сетевом подключении возможна работа с онлайн базой профилей.

3. «Сервис» включает в себя алгоритмы сервиса сопла, настройки стола, настройки прижима сопла, совмещения сопел, калибровки системы очистки печатающей головки, теста клапана, приведения печатающей головки (ПГ) в сервисную позицию. Имеется возможность вывода списка ошибок на экран и сброса списка. Из этого же меню возможно перемещение стола в верхнее, среднее и нижнее положение (10, 105 и 200 мм от сопла соответственно). Picaso Designer X Pro обладает возможностью сушки пластика. Для этого необходимо перевести стол в среднее или нижнее положение, затем положить катушку пластика на стол, затем активировать соответствующую опцию меню. «Сервис» также содержит подменю «Диагностика», предназначенного для проверки систем подсветки и вентиляции, и опцию обновления ПО принтера.

4. Во вкладке «Настройки» можно получить информацию о принтере, выбрать диаметр установленных сопел, настроить системы идентификации ошибок, провести калибровку энкодера, калибровку нагревателей, выполнить настройки сети, настроить ночной режим. Сохранить, восстановить или сбросить все настройки.

5. «Предварительный нагрев» позволяет нагреть сопло до температуры режима ожидания и платформы печати до рабочей температуры, что может сэкономить время перед запуском печати.

Во время печати меню меняет вид и доступные опции, позволяя: приостановить, возобновить и остановить печать, изменить режимы печати, изменить прижим сопла. Включение ночного режима выключает подсветку и

снижает яркость экрана. В режиме паузы доступны опции сервиса сопла; заправки, выгрузки и замены пластика; список и сброс ошибок. Поворот джойстика во время печати активирует дебаг-экран, содержащий данные с различных датчиков (например, температура сопел и стола), номер слоя, координаты очистителя и другие параметры.

2 Лабораторная работа № 1. Подготовка 3D-принтера Picaso Designer X Pro к работе, устранение частых неисправностей и печать тестовой модели

Цель работы: освоение комплекса практических навыков по подготовке и первичной настройке FDM 3D-принтера к работе, включая процедуры калибровки, замены расходных компонентов и устранения типовых неисправностей, для обеспечения его корректной и безопасной эксплуатации.

Оборудование и материалы: 3D-принтер Picaso Designer X Pro, стекло стола Designer X Pro, отвёртка Torx TX-TR, отвёртка шлицевая SL, шестигранные ключи 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм, плоскогубцы, кусачки, нож канцелярский, usb-flash накопитель с тестовыми моделями, сопла латунные (2 шт.), клей для печати (спрей), 2 катушки PLA пластика разных цветов.

Теоретические основы выполнения работы.

Сопло (рисунок 2.1) – часть экструдера 3D принтера, внутри которой происходит нагрев и расплавление пластика до текучего состояния с последующим выдавливанием его из калиброванного отверстия на печатаемую поверхность. Представляет собой металлическую деталь с засверленным сверху внутренним отверстием диаметром чуть шире диаметра прутка филамента, которое сужается книзу до заданного характеристиками сопла диаметра. Тонкое отверстие позволяет принтеру осуществлять более детализированную печать, что важно при изготовлении мелкогабаритных моделей, но существенно снижает скорость изготовления моделей.



а)



б)

а – латунное; б – стальное

Рисунок 2.1 – Сопла 3D-принтера Picaso Designer X Pro

3D-принтеры Picaso комплектуются латунными либо стальными соплами. Стальные сопла предназначены для печати филаментами с высокой температурой плавления и/или композиционными филаментами, что обуславливается их большей износостойкостью, в том числе при температурах от 300 °С до 400 °С. Вместе с тем, при печати неабразивными филаментами с меньшими температурами плавления (PLA, PETG, TPU и др.) рекомендуется использовать латунные сопла в связи с их лучшей теплопроводностью.

В процессе работы сопло подвержено естественному износу, а также засорению нагаром от пластика и поступающей вместе с филаментом пылью. Засорение, определяется, например, по щелчкам экструдера, недоэкструзии или отсутствию выхода филамента из сопла.

Picaso Designer X Pro обладает опциями прочистки печатной головки, доступными из меню «Пластик»: «Прочистка ПГ», в ходе которой принтер будет пытаться протолкнуть пластик штатным способом, но повышая температуру на 10 градусов при каждой итерации (рекомендуется не более 3 циклов), а также «Низкотемпературная прочистка ПГ».

При частом засорении сопла или его большом износе необходимо заменить сопло. Это выполняется следующим образом.

В меню «Сервис» выберите «Сервис сопла». Принтер запустит алгоритм с **нагревом сопла до рабочей температуры** выбранного профиля. Далее, следуя инструкциям на экране, снимается клапан, открутив по 2 винта с правой и левой сторон ПГ (рисунок 2.2, а). Выкрутить сопло (рисунок 2.2, б) и закрутить новое **до упора**. Не закрученное до конца сопло – одна из основных причин возникновения трудноустраняемого заполнения пластиком корпуса ПГ (рисунок 2.2, в). Вместе с тем, чрезмерное усилие приведёт к поломке нагревательного блока.

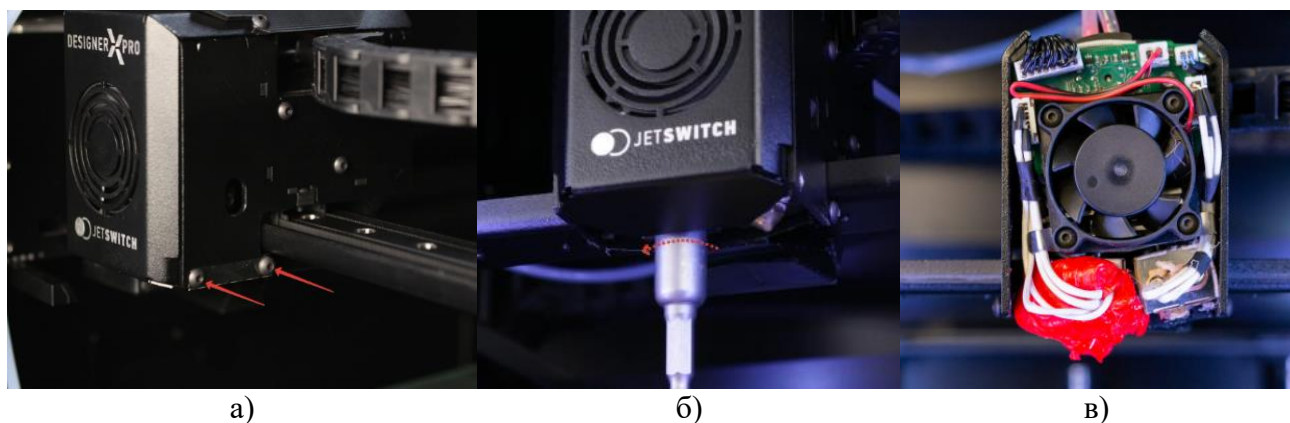


Рисунок 2.2 – Замена сопла

Замене подлежит только активное (ориентированное строго вертикально) сопло. Для замены другого сопла необходимо повернуть джойстик – ПГ переключится в соответствующее положение для сервиса. Замена сопла в Picaso Designer X Pro производится исключительно в нагретом до рабочей температуры состоянии.

После замены сопел нужно нажать на джойстик. Принтер оценит разницу высот установленных сопел и предложит провести коррекцию, если это необходимо. Далее необходимо установить клапан, следуя подсказкам на экране и подтверждая свои действия нажатием джойстика. Выбирается диаметр отверстия установленного сопла. Замена сопла завершена.

Перед процедурой заправки филамента осматривается пластик. Как правило, пластик в новой катушке имеет деформированный конец, который необходимо отрезать кусачками (рисунок 2.3, а); аналогично необходимо поступить, если кончик филамента имеет утолщения, наплывы или другие дефекты. Осмотреть укладку пластика в катушке – не должно быть переплетений и узлов.

Нельзя высвобождать кончик пластика – это приведёт к самопроизвольному разматыванию нити, что, впоследствии, может привести к перехлёсту пластика и остановке печати. Нить продевается в боковое отверстие или пазы катушки перед их установкой в принтер (рисунок 2.3, б).

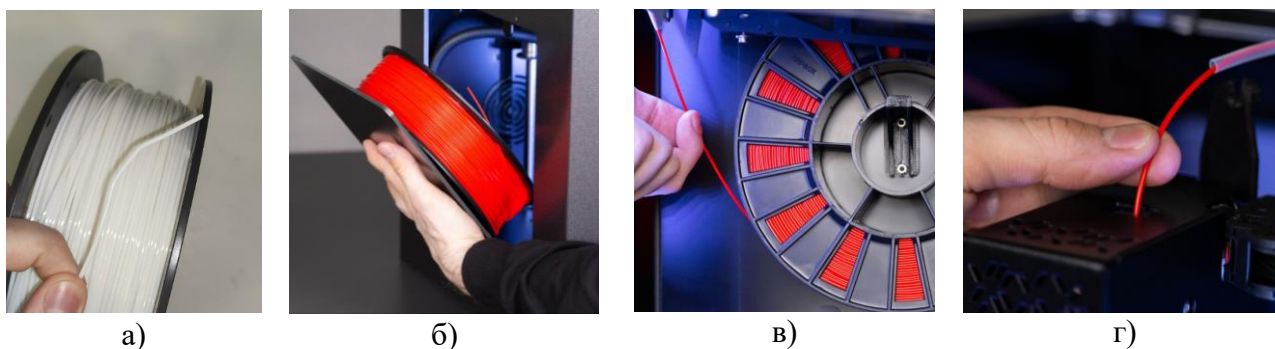


Рисунок 2.3 – Заправка пластика

Катушки филамента размещаются на кронштейнах съемных частей боковых стенок принтера. Для установки катушки необходимо вытолкнуть боковую дверцу изнутри (рисунок 2.3, б), разместить катушку на держателе и установить дверцу обратно. Катушка должна быть расположена таким образом, чтобы разматываемая нить вращала её по часовой стрелке (рисунок 2.3, в) Вместе с тем, если к боковой стенке нет доступа, возможна установка и через переднюю дверцу с размещением стола в верхней позиции. При установке катушки проконтролируйте, что обратите внимание на фторопластовую трубку подачи пластика – она должна быть зажата в боковом держателе.

В меню «Пластик» выбрать «Заправить пластик». Далее выбирается профиль материала и выполняется нажатие на джойстик. Принтер запустит алгоритм нагрева сопла до рабочей температуры выбранного профиля. После нагрева печатающая головка перейдёт в положение для заправки пластика. На экране отобразится сообщение о готовности.

Нить проталкивается через фторопластовую трубку до её выхода из другого конца трубки. Вставить филамент в отверстие экструдера до упора и придерживать её до тех пор, пока она не начнёт заправляться. Принтер выдавит на стол некоторое количество пластика, которое необходимо удалить со стекла. Вставить трубку в отверстие печатающей головки и нажать на джойстик.

Повторить процедуру для второй катушки, если выбрана опция последовательной заправки обоих сопел. Заправка пластика завершена.

Если пластик не заправляется – осмотреть кончик нити на наличие дефектов; выполнить контроль соответствия толщины прутка нормативу $1,75 \pm 0,1$ мм; проверить соответствие выбранного профиля печати заправляемому филаменту. Если всё сделано правильно и пластик не имеет дефектов, выполняется заправка с отключением в основных настройках системы контроля подачи пластика. Если нить затягивается, но не выходит из сопла – возможно его загрязнение, необходимо очистить или заменить сопло.

В случае, если проблема с заправкой пластика не решилась указанными методами, проводится разборка ПГ с диагностикой блока энкодеров и шестерней подачи (не входит в содержание лабораторной работы).

Извлечение пластика производится с применением соответствующей опции меню «Пластик». Следуя указаниям на дисплее принтера, извлечь трубку подачи пластика, придерживая нить, позволяя экструдеру вытолкнуть её самостоятельно (насколько это возможно). Обрезать конец нити; свернуть нить и зафиксировать её кончик на катушке. Извлечь катушку из принтера.

Перед началом печати, после паузы при малом времени печати слоя, при срабатывании системы контроля подачи и при некоторых других случаях принтер осуществляет прочистку сопла, размещая при этом рабочее сопло в отверстии соответствующего силиконового очистителя, размещённого слева или справа от стола в кронштейне. Для корректного проведения операции система очистки ПГ должна быть откалибрована.

Для проведения калибровки распечатать калибровочный шаблон очистителя и заменить на нём левый силиконовый очиститель (рисунок 2.4, а). В меню «Сервис» выбрать «Калибровка системы очистки ПГ», затем «Х». Печатающая головка перейдёт в положение для настройки, установится над шаблоном. Вращая джойстик, скорректировать положение сопла по оси Х таким образом, чтобы конец сопла располагался точно над указателем шаблона. Нажать на джойстик. Повторить действие для оси Y (рисунок 2.4, б).

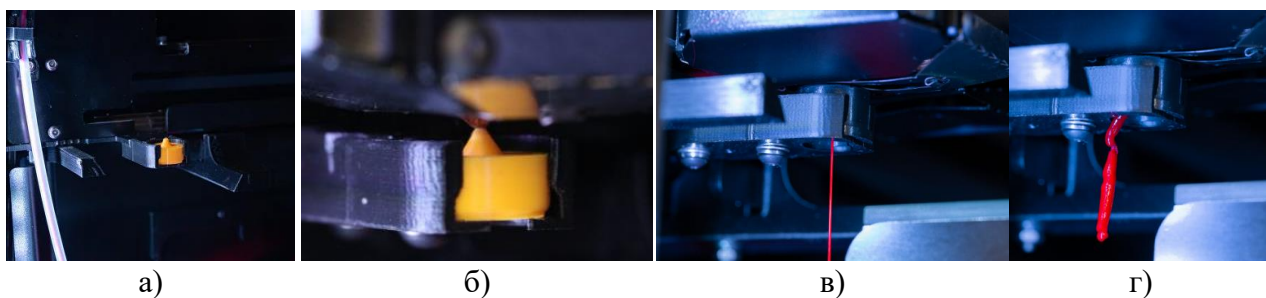


Рисунок 2.4 – Калибровка системы очистки ПГ

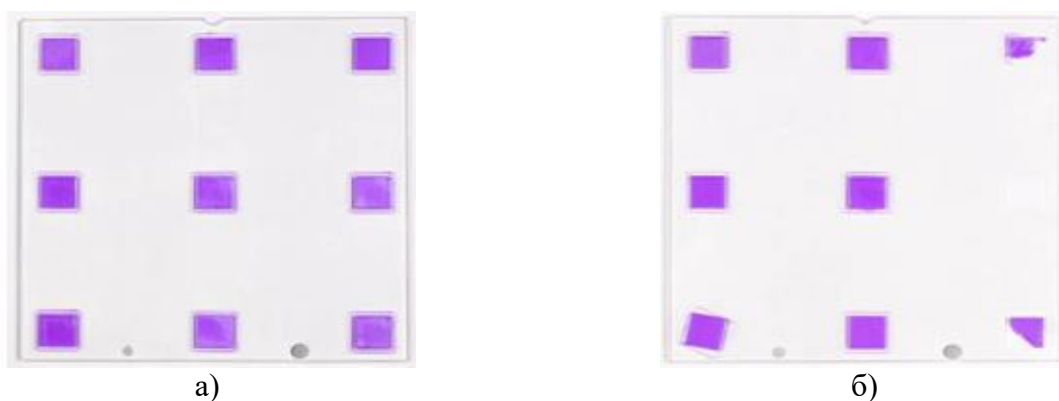
В меню «Сервис» выбрать «Калибровка системы очистки ПГ», затем «TEST» – принтер выполнит поиск нулей координат. Выбирается тест без прогрева и продавливания – печатающая головка перейдёт в положение над шаблоном. Проверить положение сопла относительно указателя шаблона. Если

положения не совпадают, повторить калибровку. Если совпадают, заменить шаблон на силиконовый очиститель.

Убедиться, что силиконовый очиститель надёжно установлен в держателе и выбрать в меню «Сервис» «Калибровка системы очистки ПГ», затем тест с прогревом и продавливанием прутка. Пластик будет выдавливаться через отверстие очистителя. Проконтролировать, что нить из-под очистителя выходит ровной тонкой (рисунок 2.4, в). Дождаться окончания теста и нажать на джойстик для завершения. Если материал скапливается под очистителем (рисунок 2.4, г), тянется за соплом или вовсе не выходит – повторить калибровку.

Для корректной печати на 3D-принтере критически важно обеспечить точное взаимное расположение сопла и рабочего стола. Это условие включает в себя два ключевых аспекта.

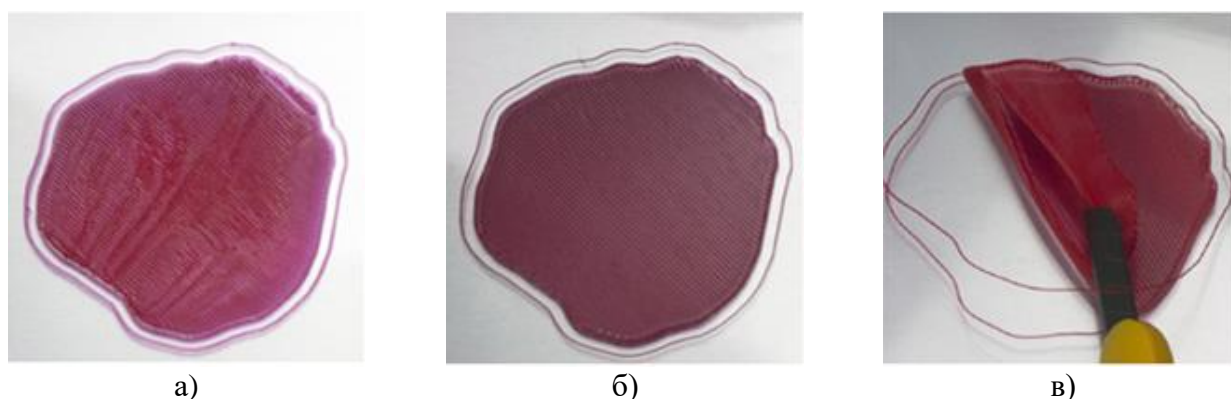
Во-первых, поверхность стола должна быть строго параллельна плоскости движения печатающей головки, то есть не иметь перекосов (рисунок 2.5).



а – платформа выровнена; б – платформа не выровнена

Рисунок 2.5 – Оценка выравнивания платформы по результатам печати тестового шаблона

Во-вторых, в момент нанесения первого слоя необходимо выставить оптимальный зазор (Z-offset) между соплом и поверхностью стола (рисунок 2.6).



а)

б)

в)

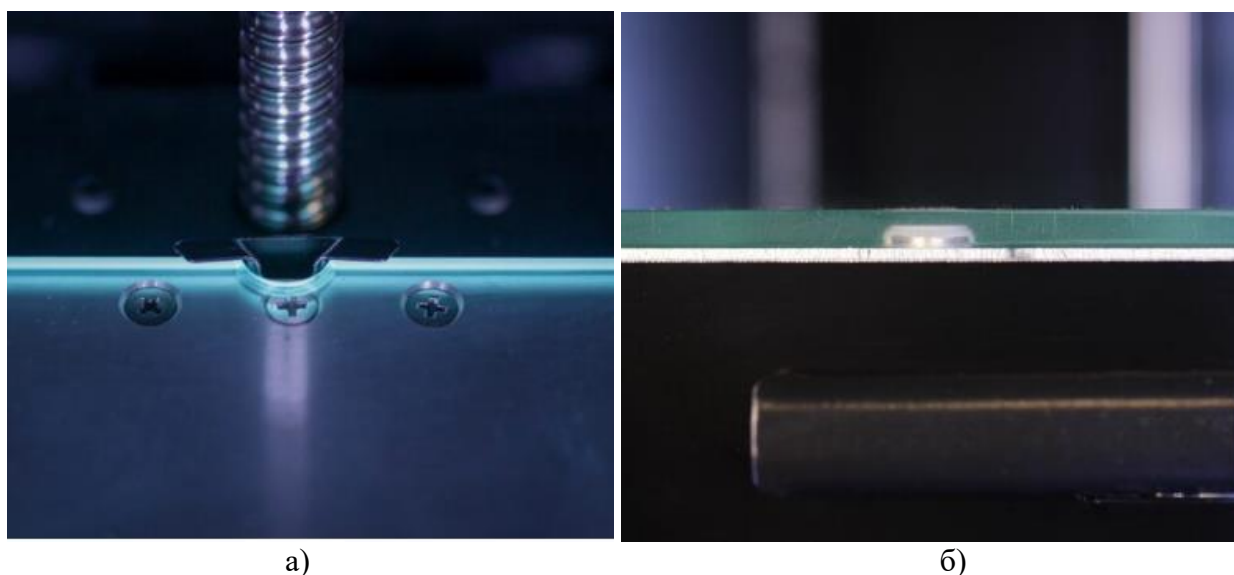
а – чрезмерный прижим, характеризующийся полупрозрачным первым слоем, волнистой поверхностью; б – оптимальный прижим, характеризующийся высокой адгезией к столу и равномерной поверхностью; в – слабый прижим, характеризующийся низкой адгезией филамента к столу, отсутствием сплавления соседних нитей

Рисунок 2.6 – Прижим сопла

Правильно откалиброванный стол обеспечивает равномерную адгезию материала по всей площади основания модели, предотвращая отрыв углов, а корректный зазор первого слоя – сцепление нити с платформой, препятствуя отрыву модели от платформы. Нарушение любого из этих параметров ведёт к дефектам: при большом зазоре – к отлипанию модели от платформы и дефектам печати, при малом – к засорению сопла, повреждениям стекла, некачественной печати.

При первом запуске, после транспортировки или возникновения описанных проблем при печати необходимо выполнить настройку стола, а при необходимости – настройку прижима сопла. Процесс выполняется следующим образом.

1. Проверить установку стола на стекле. Оно должно быть надёжно зафиксировано зажимом с дальней стороны стола (рисунок 2.7, а) и двумя магнитами – с ближней (рисунок 2.7, б). Между платформой и стеклом не должно быть зазоров и/или посторонних предметов.



а)

б)

а – сзади; б – спереди

Рисунок 2.7 – Фиксация стекла на столе принтера

2. В меню принтера выбрать «Сервис > Настройка стола». Принтер запустит алгоритм для выравнивания платформы с **предварительным нагревом платформы и сопел**. Выравнивание проводится по трём точкам: сзади по центру, спереди слева и спереди справа. Следуя инструкциям на экране принтера последовательно:

- а) ослабить средний фиксатор (рисунок 2.8, а);
- б) затянуть средний фиксатор и ослабить левый зажим (рисунок 2.8, б);
- в) затянуть левый зажим и ослабить правый зажим (рисунок 2.8, в);
- г) затянуть правый зажим.

После выполнения каждого из действий следует нажимать на джойстик. Ослабление фиксатора и зажимов будет приводить к поднятию сторон стола, а печатающая головка будет перемещать их вниз до нулевой позиции, после чего, в соответствии с указанной последовательностью, необходимо фиксировать

установленной положение соответствующим элементом и ослаблять следующий фиксатор. По завершению указанных действий печатная головка вернется в парковочную позицию.

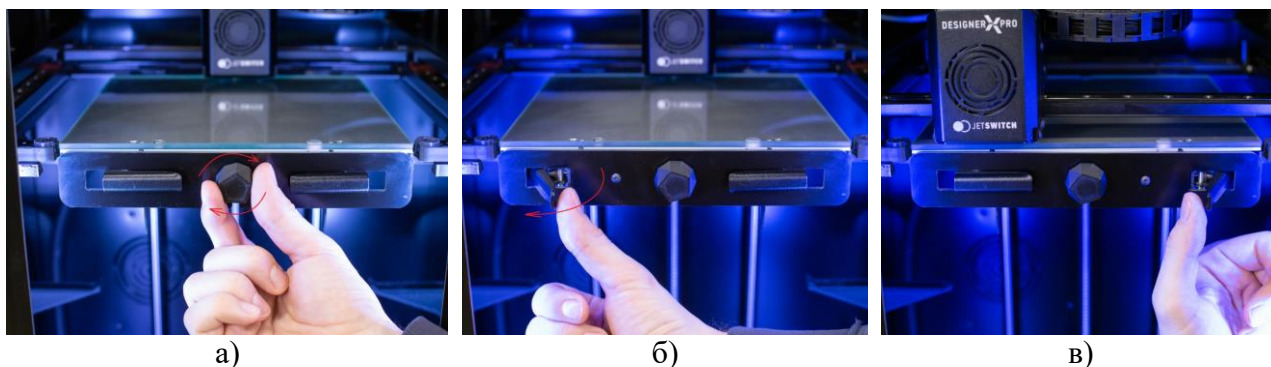


Рисунок 2.8 – Порядок настройки стола

В некоторых случаях указанный алгоритм не приводит к требуемому выравниванию платформы. В таком случае необходимо проверить затяжку фиксаторов, поочередно надавив сверху на передние углы платформы. Если при нажатии угол продавливается, то необходимо подтянуть винт в боковом фиксаторе шестигранником 2,5 мм. После того, как углы платформы перестают опускаться под нажимом, необходимо проверить подвижность платформы при ослаблении фиксаторов. Если платформа при ослаблении фиксаторов и нажиме сверху продавливается с заеданиями, то винты фиксаторов перетянуты и их необходимо ослабить. После окончательной регулировки запустить выполнение стандартной процедуры настройки стола и напечатается тестовый шаблон.

Если и эта процедура не привела к приведению платформы в нормальное положение, то выполняется настройка положения стола пружинами (данная операция не входит в содержание лабораторной работы).

Designer X PRO определяет положение платформы по высоте за счёт датчика, встроенного в конструкцию платформы. Когда платформа поднимается и достигает сопла – две платы, из которых состоит датчик, размыкаются, что сигнализирует системе управления принтера о достижении нулевой координаты по оси Z. Настройка датчика положения стола необходима, чтобы датчик срабатывал в нужный момент – при касании сопла платформой. Некорректная работа датчика приводит к упиранию сопла в стол принтера, что, во время печати, проявляется в виде сильной вибрации. При возникновении явления необходимо немедленно прекратить печать, опустить платформу и приступить к настройке датчика стола.

Для настройки датчика поочередно ослабить 2 регулировочных винта, открутив каждый из них на 5-6 оборотов (рисунок 2.9, а). Надавить сверху на платформу так, чтобы платы датчика разомкнулись. Затянуть первый винт до момента, когда сомкнутся платы датчика. После чего ослабить этот винт на 1 оборот. Повторить те же действия со вторым винтом. Поочередно ослабить оба винта ещё на 2 оборота. Проверить, размыкаются ли платы датчика при

надавливании на платформу (рисунок 2.9, б). Выполнить стандартную настройку стола.

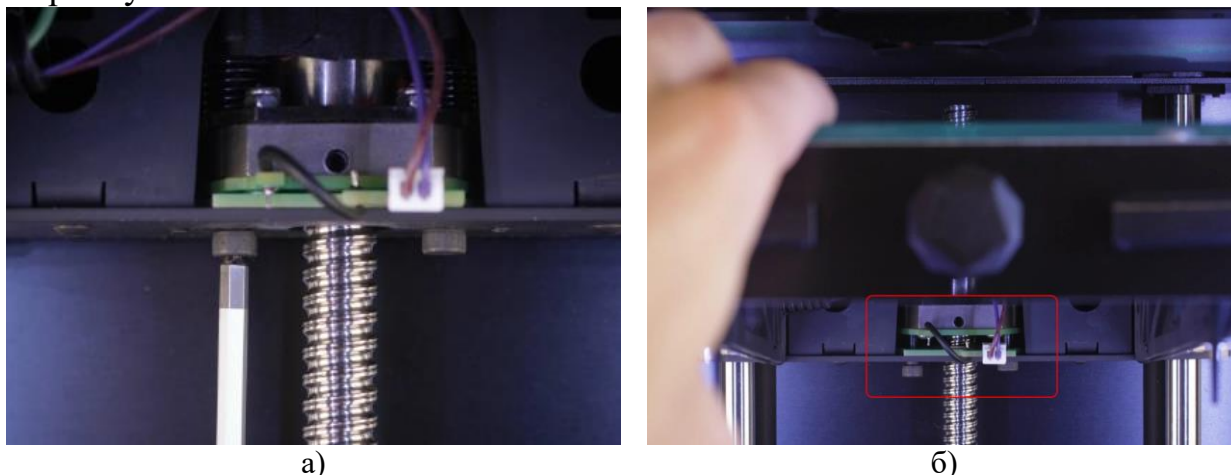


Рисунок 2.9 – Порядок настройки датчика положения стола

При печати материалами из разных сопел возможно возникновение смещений, что вызвано некорректной настройкой положения одного сопла относительно другого. Смещение сопел могло произойти в результате их замены (а тем более действий, предусматривающих разборку ПГ); корректоры могли быть сброшены в ходе сброса настроек принтера или обновления ПО.

Для совмещения сопел в меню «Сервис» доступны автоматический и ручной режимы. Автосовмещение запускает последовательность действий, по завершению которых необходимо подтвердить предложенные принтером настройки.

В случае ручного совмещения осуществляется печать шаблона, для чего необходимо заправить ПГ двумя катушками одинакового пластика одного производителя разных цветов. Шаблон содержит 2 линейки, параллельные осям X и Y, для грубой настройки, а также скрещенные ряды колец для тонкой настройки (рисунок 2.10, а). Положить линейки совпали в положении «+4» по оси X и «-2» по оси Y (рисунок 2.10, б). В активном меню необходимо назначить $X = 4,000$, $Y = -2,000$. Далее необходимо повторить печать шаблона и, если линейки совпали в нулевых делениях, выполнить настройку по кольцам (шаг переключения 0,25).

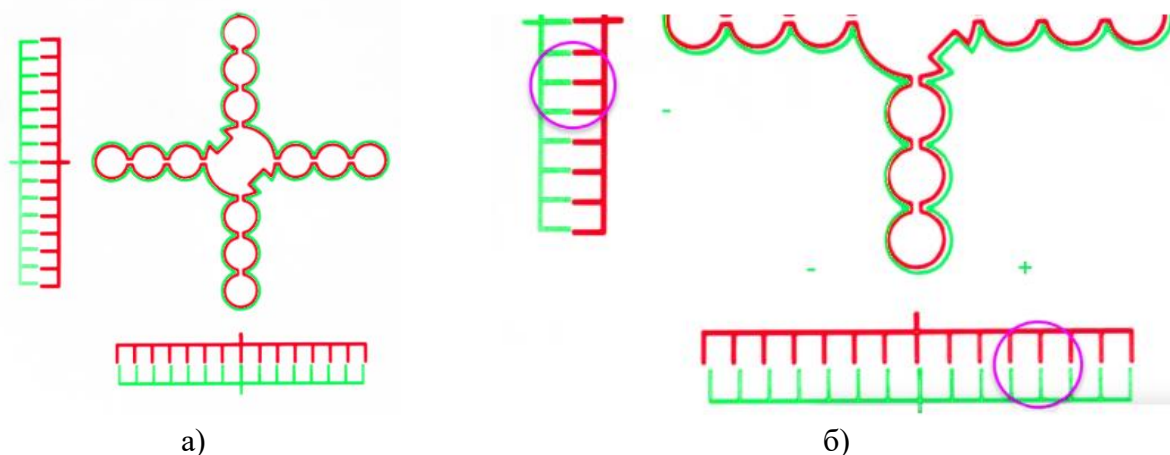


Рисунок 2.10 – Ручное совмещение сопел

Порядок выполнения работы.

1. Включить принтер.
2. Проверить корректную установку стекла на столе принтера.
3. Установить сопла.
4. Заправить зелёный PLA пластик в сопло № 1, белый – в сопло № 2.
5. Выполнить настройку стола.
6. Откалибровать систему очистки печатной головки.
7. Нанести адгезив на стекло.
8. Распечатать тест прижима сопла и отрегулировать прижим. Если в процессе печати платформа с вибрацией упирается в сопло, не доезжает до него или не поднимается вовсе – выполнить настройку датчика стола.
9. Распечатать тест выравнивания платформы. Если результаты печати сходны с рисунком 2.1, б – выполнить необходимые действия для придания платформе корректной ориентации.
10. Выполнить автосовмещение сопел.
11. Распечатать тестовую модель (рисунок 2.11).

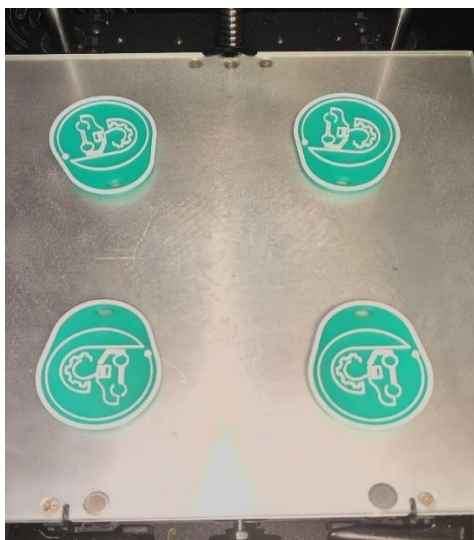


Рисунок 2.11 – Тестовая модель

12. Осмотреть результаты печати. При необходимости, осуществить ручное совмещение сопел и повторить печать тестовой модели. При возникновении проблем, описанных в теоретических основах выполнения работы, устранить неполадки предложенными способами.

13. Извлечь пластик и выключить принтер.

14. Подготовить отчёт о выполненной работе.

Отчёт о выполненной работе оформляется в электронном виде. В отчёте перечисляются выполненные действия (1-12), сопровождаемые фотографиями этих действий (кроме первого). Работа описывается в полном объёме, без пропуска неудачных действий. Указываются предположительные причины неудовлетворительных результатов выполнения операций. Работа выполняется коллективом студентов от 2 до 3 человек.

3 Лабораторная работа № 2. Работа в слайсере Polygon X. Подготовка задания и печать модели

Цель работы: освоение комплекса практических навыков по подготовке цифровой 3D-модели к печати в специализированном слайсере Polygon X, управлению заданиями и настройке параметров, влияющих на качество и скорость изготовления изделия на 3D-принтере Picaso Designer X Pro.

Оборудование и материалы: 3D-принтер Picaso Designer X Pro, стекло стола Designer X Pro, кусачки, нож канцелярский, usb-flash накопитель с тестовыми моделями, клей для печати (спрей), 2 катушки PLA пластика разных цветов, персональный компьютер или ноутбук с установленным Polygon X.

Теоретические основы выполнения работы.

Polygon X – программа для подготовки заданий на печать, разработанная специально для работы с 3D принтерами PICASO. Весь функционал доступен только при работе с файлами заданий «.plgx», подготовленными в Polygon X.

Открыв Polygon X, выбрать модель принтера (в данном случае – Designer X Pro, зона внимания на рисунке 3.1 выделена красным). В рабочем окне скорректируется область, демонстрирующая доступное поле печати.

Для подготовки управляющей программы загрузить в Polygon X 3D модель в одном из форматов: «.stl», «.obj», «.3ds» или «.amf». Открыть модель можно перетаскиванием внутрь рабочего окна, нажав «+» в меню «Список моделей» (зона внимания на рисунке 3.1 выделена зелёным), используя последовательность «Файл – открыть» или сочетание клавиш «ctrl+O».

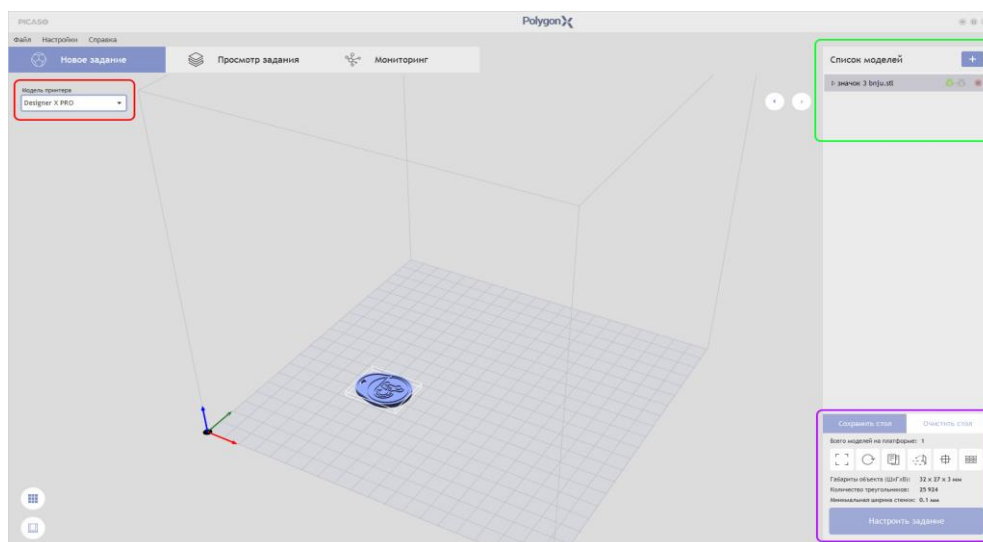


Рисунок 3.1 – Рабочее окно Polygon X

В процессе подготовки к печати модель можно перемещать по столу, удерживая правую кнопку мыши (зажатие левой кнопки мыши поворачивает область печати). Доступны опции масштабирования, поворота и копирования модели; модель может быть положена на заданную плоскость, размещена по

центру стола; при выделении группы моделей становится активной опция авторазмещения (зона внимания на рисунке 3.1 выделена фиолетовым). Изменение ориентации и масштаба производится для той модели, которая является активной в списке. Нажатие правой кнопкой мыши на модели в списке приводит к появлению дополнительных опций, в т. ч. смещения по высоте и отражения. Если необходимо прервать подготовку к печати на этапе размещения моделей – сохраните стол в формате «.amf» (тогда с моделями можно будет работать отдельно).

После завершения размещения моделей необходимо перейти к настройке задания. Polygon X предлагает несколько вариантов процесса настройки.

Базовый режим (рисунок 3.2) предлагает почти полностью поручить задание параметров печати программе. Необходимо указать диаметры отверстий применяемых сопел, настроить детализацию (толщину слоя), качественно задать прочностные характеристики, выбрав «прототип» или «прочность», активировать и выбрать тип поддержек.

Настройка задания

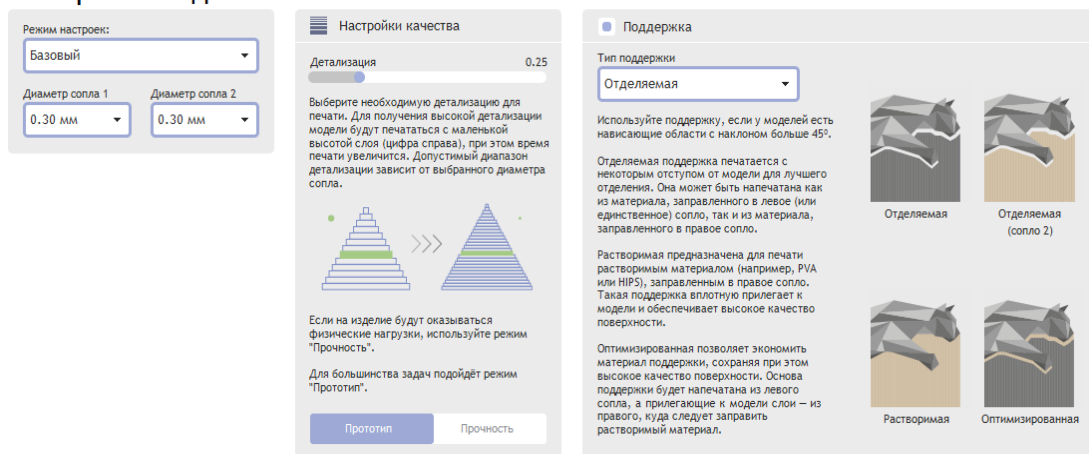


Рисунок 3.2 – Базовый режим подготовки задания

На рисунке 3.3 можно ознакомиться с различными сочетаниями выбранных решений: а – прототип, растворимая поддержка, высота слоя 0,25 мм (общий вид); б – то же, в разрезе; в – прочность, оптимизированная поддержка, высота слоя 0,05 мм (общий вид); г – то же, в разрезе.

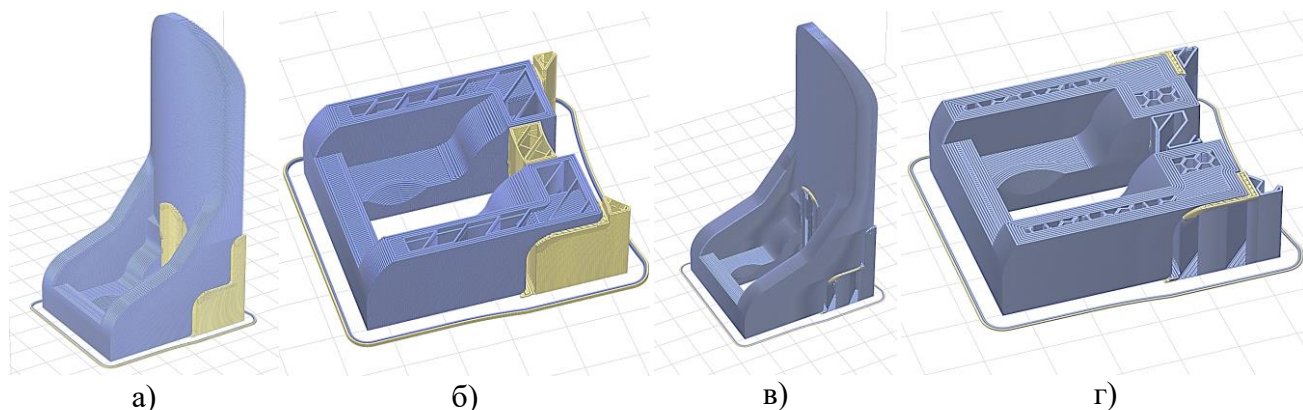


Рисунок 3.3 – Нарезка модели с применением опций базового режима настройки

Polygon X рассчитывает теоретическое время печати и расход филамента. Так, для первой модели длительность печати составит 3 часа 18 минут; второй – 18 часов 20 минут (режим стандартного качества). Расход основного пластика – 21 см³ против 29,2 см³, а вспомогательного – 2,61 см³ против 0,27 см³.

Увеличение времени печати примерно соответствует увеличению количества слоёв, вызванному изменением их толщины. Увеличение расхода основного пластика связано с увеличением количества внешних слоёв и повышением плотности заполнения. Снижение расхода материала поддержки – с изменением модели заполнения. Применение оптимизированного заполнения является обоснованным решением стороны времени печати (меньше переключений), а также может повлечь снижение расходов на материалы (материал поддержки может быть дороже; например, PVA дороже PLA от 6 до 8 раз).

Расширенный режим (рисунок 3.4) предлагает большой набор настроек печати, предлагая самостоятельно установить высоту слоёв, настроить внутреннее заполнение и расположение шва, задать количество периметров, тип адгезии и прочее. Вместе с тем, существенная часть настроек все также устанавливается алгоритмами Polygon X без участия пользователя. Заданные пользователем параметры можно сохранить как пресет для дальнейшего использования. Выбирая в списке моделей на платформе конкретную вместо пункта «все модели на платформе», можно перенастроить внешние периметры, заполнение и некоторые другие параметры.

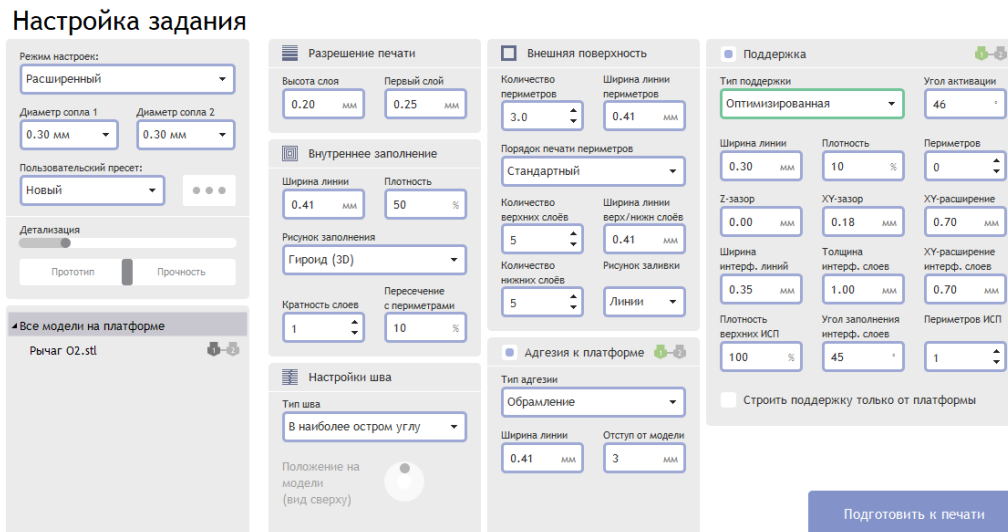


Рисунок 3.4 – Расширенный режим подготовки задания для печати

Профессиональный режим (рисунок 3.5) даёт пользователю максимальный набор настроек и реализован с применением двух алгоритмов – классическом и «Arachne».

В обоих случаях пользователю предлагается 4 вкладки с настройками.

1. «Разрешение печати» содержит параметры высоты слоев, заполнения, периметров и шва. Линиям заполнения и периметров могут быть назначены различные сопла.

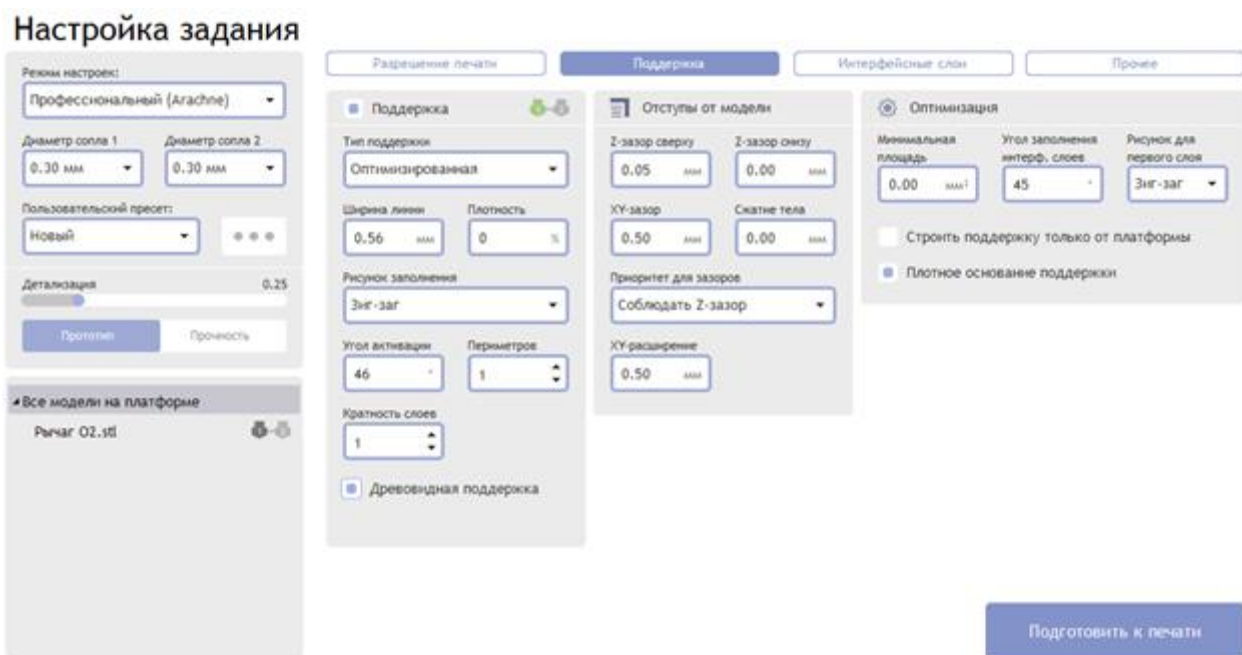


Рисунок 3.5 – Профессиональный режим подготовки задания для печати

2. «Поддержка» содержит выбор типа поддержки, ширины линии, рисунка и плотности заполнения, угла активации и количества периметров, отступы, параметры оптимизации. Появляется возможность выполнить древовидную поддержку.

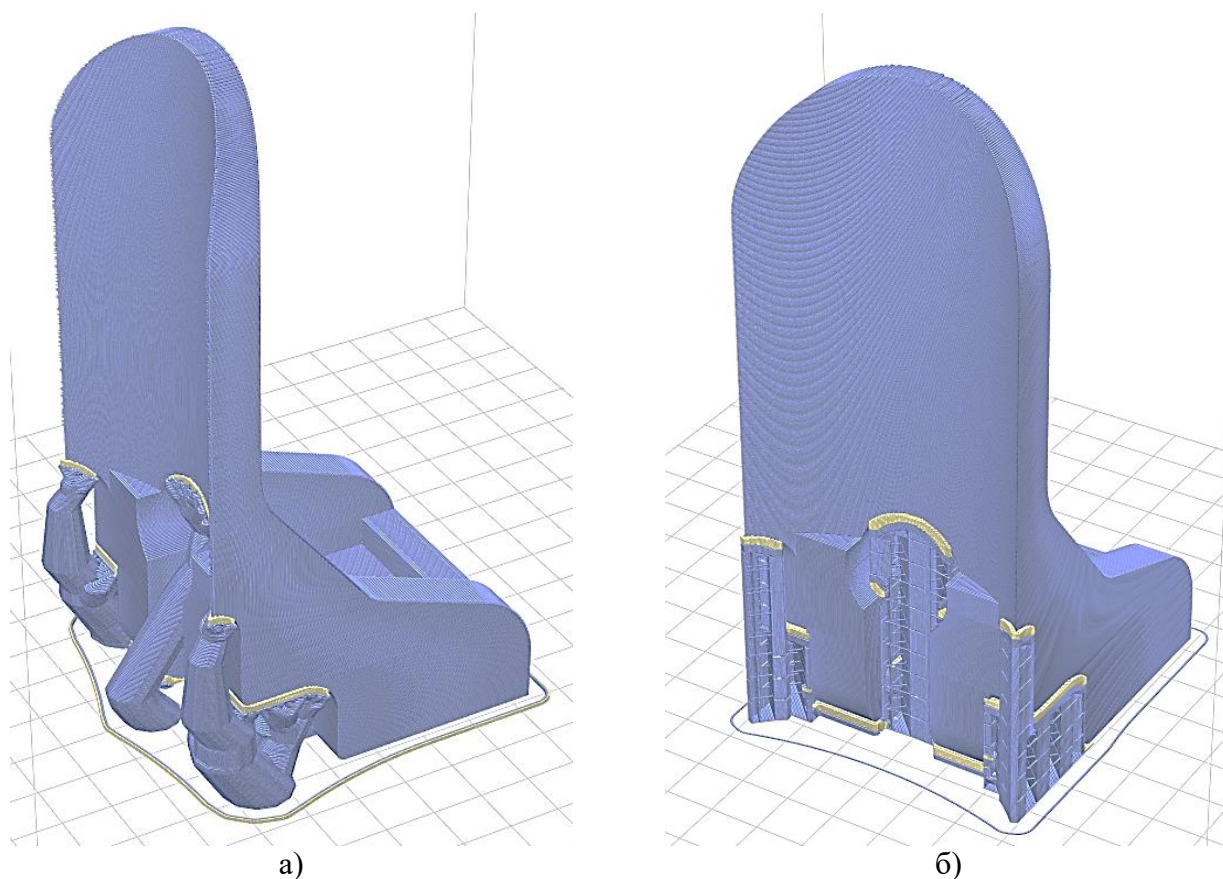
3. «Интерфейсные слои» позволяют задать параметры сопрягаемых с моделью слоёв поддержек.

4. «Прочее» содержит настройки адгезии к платформе, позволяет включать особые режимы печати, определить логику печати наклонных поверхностей, напечатать вокруг детали щит и т. д.

В отличие от классической печати, когда ширина всех линий печати одинакова (могут быть исключения при печати первого слоя), алгоритм «Arachne» варьирует ширину линии во время печати, позволяя повысить качество печати мелкогабаритных моделей, а в ряде случаев добиваться повышения механических свойств за счёт более однородного заполнения без зазоров между линиями возле острых элементов.

Время печати на 3D принтере, как правило, существенно превосходит время подготовки управляющей программы, в связи с чем выбор базового режима настройки не является оптимальным. При печати простых моделей рекомендуется использовать расширенный режим, как предоставляющий возможности точного управления качеством, прочностью и расходом пластика.

Выбор в пользу профессионального режима печати «Arachne» следует отдавать в случае присутствия большого количества мелкогабаритных элементов, стабильной реакции полимера на динамическое изменение потока, уверенности в способности принтера точно и своевременно регулировать поток в режиме реального времени. Применение алгоритма «Arachne» в Polygon X – единственная возможность использования древовидных поддержек (рисунок 3.6).



а – древовидные; б – стандартные
 Рисунок 3.6 – Оптимизированные поддержки

Помимо этого, теоретическое время печати и расход материала поддержки при использовании алгоритма «Arachne» и древовидных поддержек оказались ниже на 7 % и 30 % соответственно, чем у классической режима с обычными поддержками. Вместе с тем, изменился и расход основного материала (у Arachne на 2 % меньше), однако возможность достоверно установить на что конкретно уменьшился расход пластика на момент подготовки материалов отсутствовала.

Designer X Pro может использовать второе сопло как для печати поддержек, так и для двухцветной печати.

Для реализации многоцветной печати необходимо при подготовке модели разделить её на части для каждого из цветов (рисунок 3.7, а). В ряде случаев это может оказаться недостаточным и потребуются, например, осуществить микроперемещение одной части от другой. После передачи модели в Polygon X необходимо выбрать рабочее сопло для каждой из частей (рисунок 3.7, б). Элементы, окрашенные синим, будут печататься пластиком из левого сопла, жёлтым – из правого (рисунок 3.7, в).

Вместе с тем, Polygon X обладает собственной логикой разделения сборной модели на отдельные элементы, не всегда соответствующей исходной модели. Так, экспорт из T-Flex CAD модели (рисунок 3.7, а), в которой основание и рисунок брелока – различные тела, привело к объединению «ободка» рисунка с телом основания (рисунок 3.8, сверху).

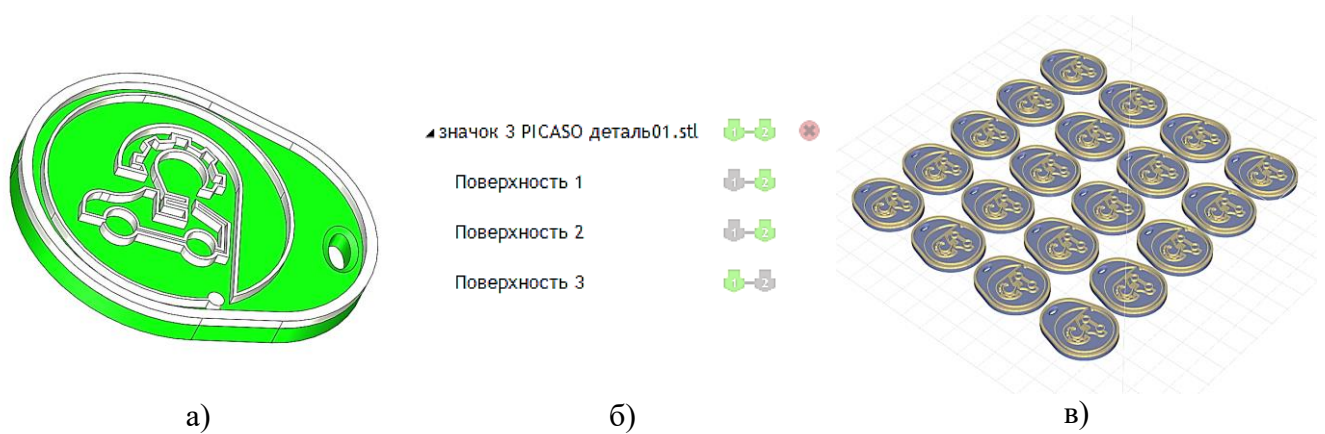


Рисунок 3.7 – Многоцветная печать

При отдалении в модели основания и рисунка на 5 мкм рисунок разделился на 2 части и модель стала трёхсоставной (рисунок 3.8, снизу).

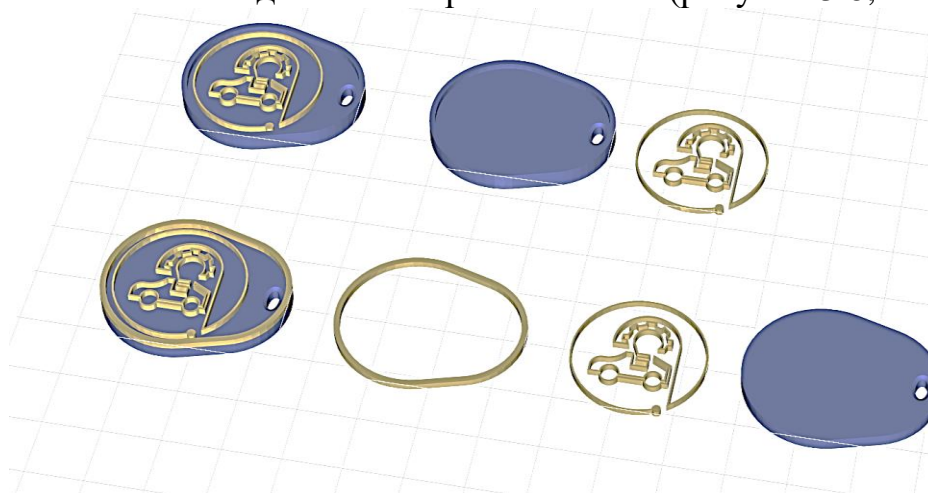


Рисунок 3.8 – Особенности подготовки многоцветной печати

Рассмотрим настройку задания в профессиональном режиме (classic).

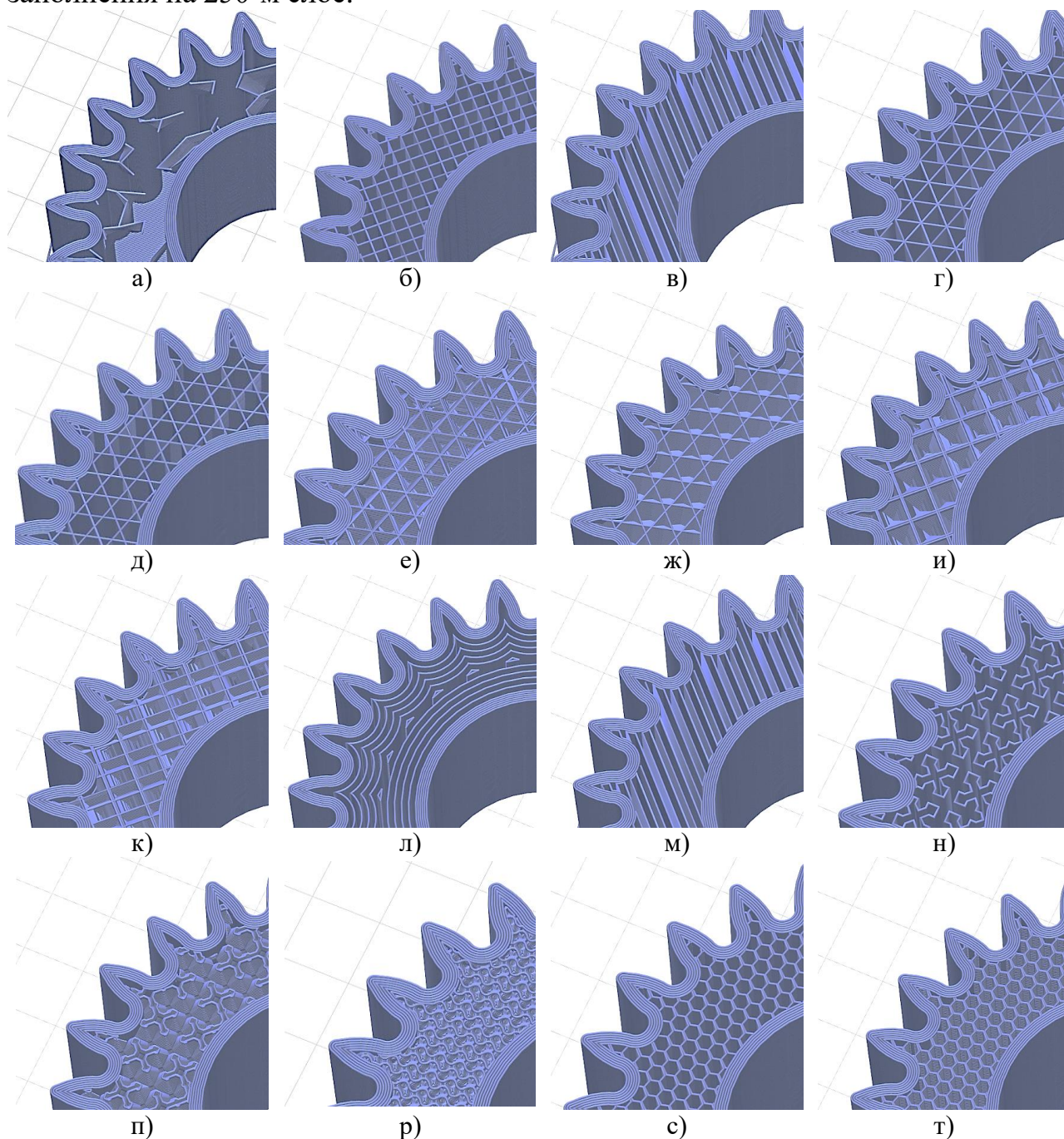
После выбора режима настройки проверить соответствие указанных диаметров сопел установленным в принтере. Далее осуществляется задание параметров на странице «Разрешение печати».

Необходимо задать базовую высоту слоя печати, а также высоту первого слоя. Высоту первого слоя, если задана высокая детализация печати, следует назначать больше, чем высоту остальных слоёв, что повысит адгезию.

Настройки внутреннего заполнения содержат параметры ширины линии (не менее диаметра сопла и не более двух диаметров), плотности заполнения (выше плотность – выше прочность, расход материала и время печати), коэффициентов пересечения с периметрами и оболочкой (нахлест линий заполнения и верхних/нижних слоёв на периметры), кратность слоёв (раз в сколько слоёв печатается заполнение, для моделей без требований к прочности и с назначенным 2D заполнением возможно установление значений больше единицы, что несколько снизит время печати), выбор сопла для печати заполнения (применимо, например, для экономии пластика, которым печатаются внешние слои). В Polygon X для сочетаний «диаметр сопла –

детализация» предлагает рекомендованные значения ширины линий, для чего необходимо переместить ползунок детализации в требуемое положение.

На рисунке 3.9 представлены в разрезе скриншоты вариантов форм заполнения на 250-м слое.



а – молниевидный; б – сетка; в – линия; г – треугольники; д – тригексагоны; е – кубический; ж – кубический с градиентом; и – октаэдры; к – кубический со смещением; л – концентрический; м – зиг-заг; н – кресты; п – кресты 3D; р – гироид; с – обычные соты; т – прочные соты

Рисунок 3.9 – Рисунки заполнений

Polygon X предлагает 16 вариантов форм заполнения модели, применение которых зависит от назначения изготавливаемой модели. Их описание дано в таблице 3.1. Для всех формовочных рисунков была задана плотность

заполнения 30 %, 6 внешних периметров, 5 сплошных слоёв сверху и снизу. Данные о расходе пластика и времени печати – теоретические (рассчитаны слайсером). Объём модели – 121,54 см³. Время указано для стандартного профиля печати.

Таблица 3.1 – Рисунки заполнения

Название рисунка заполнения	Время печати, ч,мин	Расход пластика, см ³	Примечание
Молниевидный	10,46	48,01	Молниевидное заполнение позволяет максимально сократить время печати и расход пластика. Заполнение выполняет исключительно роль поддержки нависающих структур и не играет существенной роли в повышении механических свойств модели (параметр процента заполнения не учитывается и не влияет на результат).
Сетка	14,21	72,43	Классический вариант заполнения, баланс между скоростью и прочностью печати
Линия	14,15	72,38	Выраженные анизотропные механические свойства модели
Треугольники	14,21	72,82	Распределяют нагрузки лучше, чем сетка
Тригексагоны	14,15	72,99	
Кубический	14,11	72,49	3D-рисунки переменного профиля с большей изотропностью прочностных свойств
Кубический с градиентом	14,40	64,97	
Октаэдры	14,19	72,57	
Кубический со смещением	14,17	72,41	
Концентрический	13,41	66,59	При 100 % заполнении – один из лучших вариантов по прочности. Частичное заполнение может быть использовано при печати гибких изделий из эластичных материалов
Зиг-заг	14,21	71,46	Существенно анизотропные механические свойства модели. Вместе с тем, линии объединены в единый контур, что снижает количество ретрактов.
Кресты	15,30	66,87	Декоративное назначение, либо применение при печати гибких изделий из эластичных материалов
Кресты 3D	15,19	65,84	Декоративное назначение
Гироид	14,44	72,17	Равномерно сопротивляется сжимающим нагрузкам вне зависимости от направления, но малый контакт скрещивающихся слоев заполнения обуславливает низкую прочность на разрыв
Обычные соты	17,39	75,91	Высокое сопротивление нагрузкам, но длительная печать. Рисунок «прочные соты» предпочтительнее в связи с послойными изменениями направления печати.
Прочные соты	17,35	75,94	

Выбор рисунка заполнения зависит от назначения модели. При отсутствии механических воздействий и декоративного назначения модели молниевидное заполнение может позволить снизить время печати и расход пластика (что будет особенно заметно при печати высоких моделей). Вместе с тем, сетчатое заполнение плотностью от 10 % до 15 %, незначительно увеличив время печати и расход пластика, сделает модель более прочной. Применение сотовых структур, кубического и сходных с ним вариантов заполнения позволяет изготавливать прочные модели с меньшими временными и материальными затратами.

Лучших механических характеристик позволяет добиться сплошное концентрическое заполнение. Вместе с тем, решение задачи изготовления высокопрочной модели выходит за рамки выбора рисунка формы и плотности заполнения – анизотропия механических свойств напечатанных моделей может вызывать необходимость изменения ориентации модели (рисунок 3.10) при печати с выполнением развитой структуры поддержки.

Параметры внешней поверхности включают в себя:

- количество периметров, образующих контур модели (чем больше, тем выше прочность модели);
- порядок печати периметров (изменение порядка может привести к повышению качества наклонных поверхностей в некоторых случаях);
- ширину линий периметров (внешнего, второго и остальных) и сопла для их печати;
- ширину линии верхних и нижних слоёв;
- сопло для печати верхних и нижних слоёв, а также отдельно для печати самого верхнего слоя (не влияет на периметры верхнего слоя);
- рисунок заливки верхнего слоя.

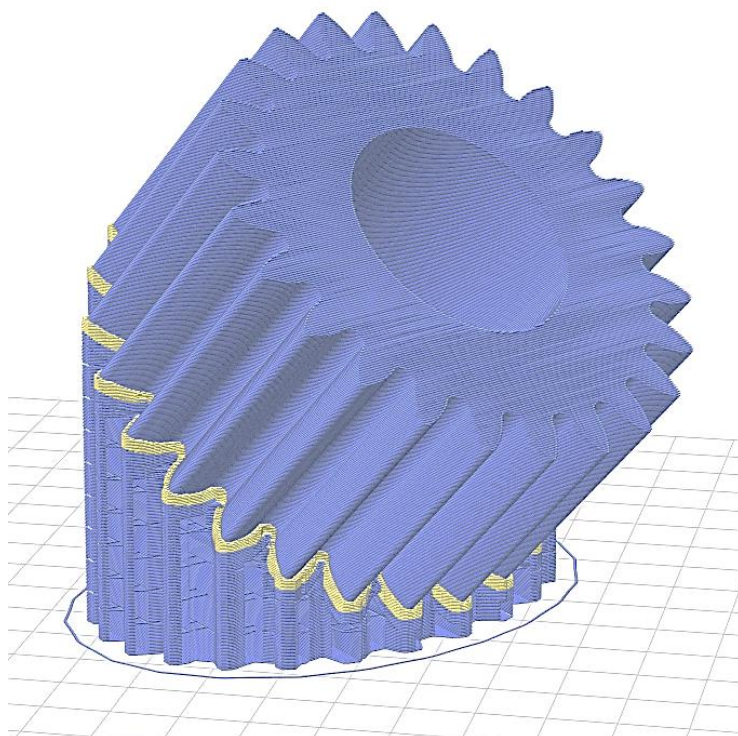


Рисунок 3.10 – Пример размещения модели

Настройки шва позволяют задать ему определённое расположение, положение ближайшее к выходу сопла, случайное или в наиболее остром углу. Доступны настройки скрытия шва в теле модели.

Настройка задания продолжается на вкладке «Поддержка».

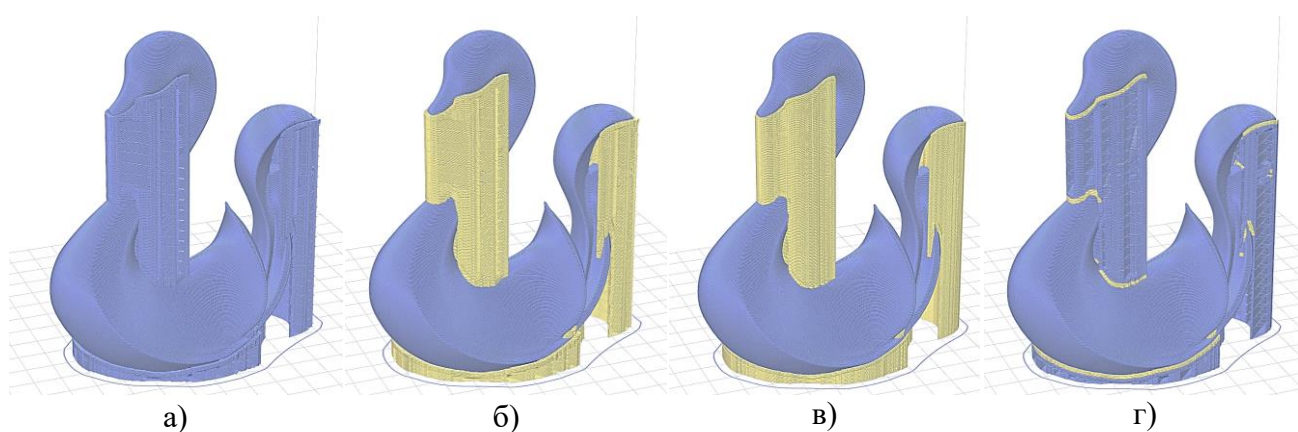
Вкладка содержит возможность:

- отключения построения поддержек;
- выбора сопла для печати поддержки;
- задания типа поддержки;
- ширины линии, плотности и рисунка заполнения поддержки;
- задания угла активации поддержки (по умолчанию – 46° , однако возможна печать без поддержек и при больших углах нависания);
- задания количества периметров поддержки и кратности слоёв (по аналогии с заполнением).

Выбор типа поддержки автоматически изменяет параметры отступов, XY-расширение и численные параметры оптимизации. Во многих случаях предложенные значения позволяют успешно изготовить модель, вместе с тем может потребоваться, например, ручное изменение XY-расширения или повышение допустимой площади нависания, связанные с особенностями отделения поддержки от моделей с тонкими формами.

Доступны следующие типы поддержки (рисунок 3.11):

- 1) «отделяемая» (печатается левым соплом вне зависимости от того, каким соплом печаталась модель);
- 2) «отделяемая (сопло 2)» (аналогично, но правым соплом);
- 3) «растворимая» (печатается вторым соплом и предполагает использование PVA/HIPS или аналогичных по назначению пластиков);
- 4) «оптимизированная» (слои поддержки между интерфейсными слоями будут напечатаны материалом из левого сопла, что может снизить стоимость печати).



а – отделяемая; б – отделяемая (сопло 2); в – растворимая; г – оптимизированная

Рисунок 3.11 – Поддержки

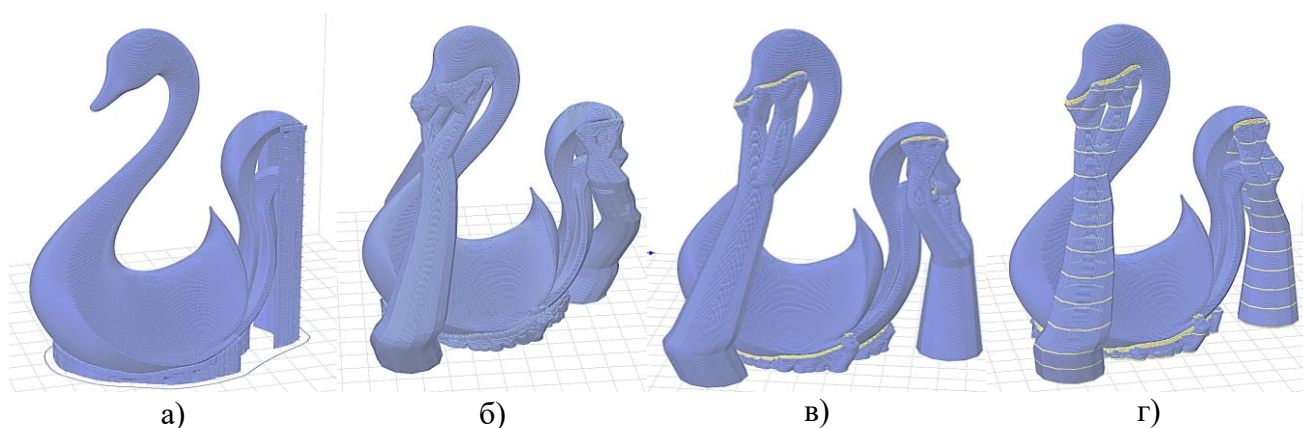
Polygon X не блокирует возможность смены сопла для построения поддержки при выборе типа поддержки, хотя и информирует о некорректном назначении. При принудительном некорректном задании сопла сначала будет

использовано указанное пользователем, вместе с тем интерфейсные слои распечатываются корректно.

Доступны опции печати поддержек только от платформы, древовидная поддержка (только при использовании алгоритма Arachne).

Очевидно, что печать декоративных моделей с элементами, нависающими над другими частями модели без применения растворимого пластика (как на рисунках 3.11, а и б) сопряжена с возникновением дефектов поверхности. Вместе с тем, активация опции «строить поддержку только от платформы» обрабатывает задание некорректно (рисунок 3.12, а) – модель не сможет напечататься предложенным Polygon X образом.

В таком случае необходимо переключиться на режим настройки задания «профессиональный (Arachne)» и воспользоваться древовидной поддержкой, которая будет построена от стола и не будет контактировать с ненависающими поверхностями (рисунок 3.12, б). Наличие растворимого пластика позволит дополнительно упростить постобработку и повысить качество поддерживаемых поверхностей (рисунок 3.12, в).



а – отделяемая (в классическом режиме настроек); б – отделяемая (активна опция «древовидная поддержка» в режиме Arachne); в – оптимизированная (активна опция «древовидная поддержка» в режиме Arachne); г – комбинированная

Рисунок 3.12 – Построение поддержек только от платформы

Помимо указанных ранее, использование алгоритма Arachne позволяет использовать комбинированный тип поддержки (рисунок 3.12, г), при использовании которого материал печати поддержки чередуется, что может упростить отделение модели.

Вкладка «Интерфейсные слои» предоставляет возможность редактирования параметров печати сопрягаемых слоёв поддержек. Поддержка (рисунок 3.13) состоит из:

- 1 – верхнего интерфейсного слоя;
- 2 – нижнего интерфейсного слоя;
- 3 – верхнего субинтерфейсного слоя;
- 4 – нижнего субинтерфейсного слоя;
- 5 – тела поддержки.

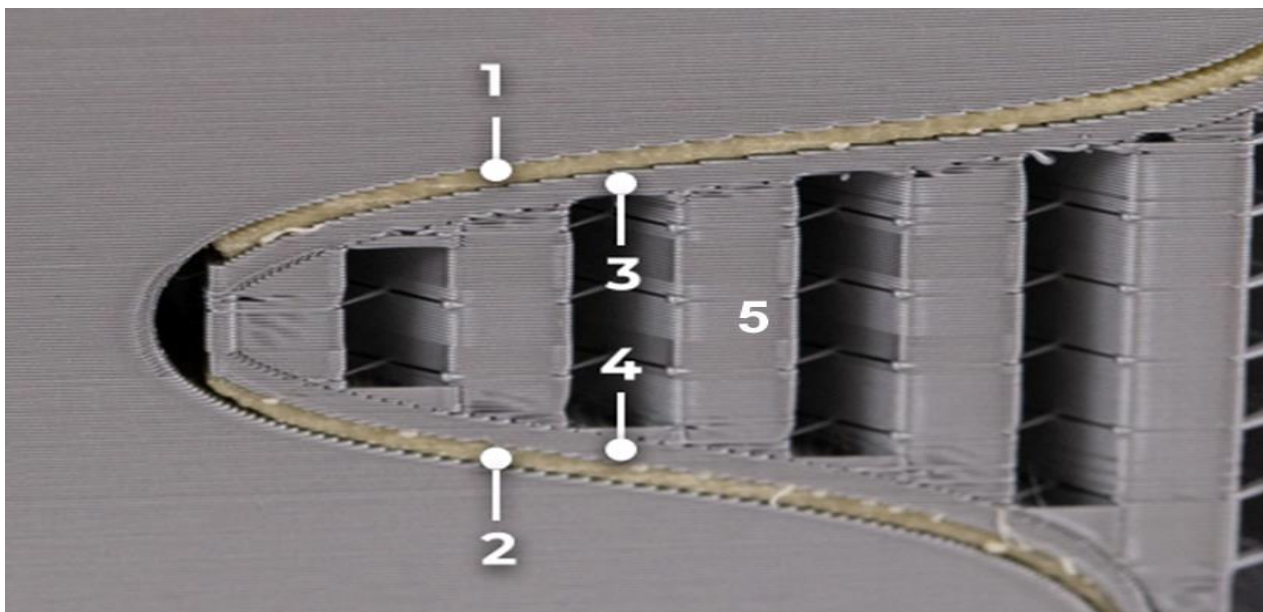


Рисунок 3.13 – Структура поддержки

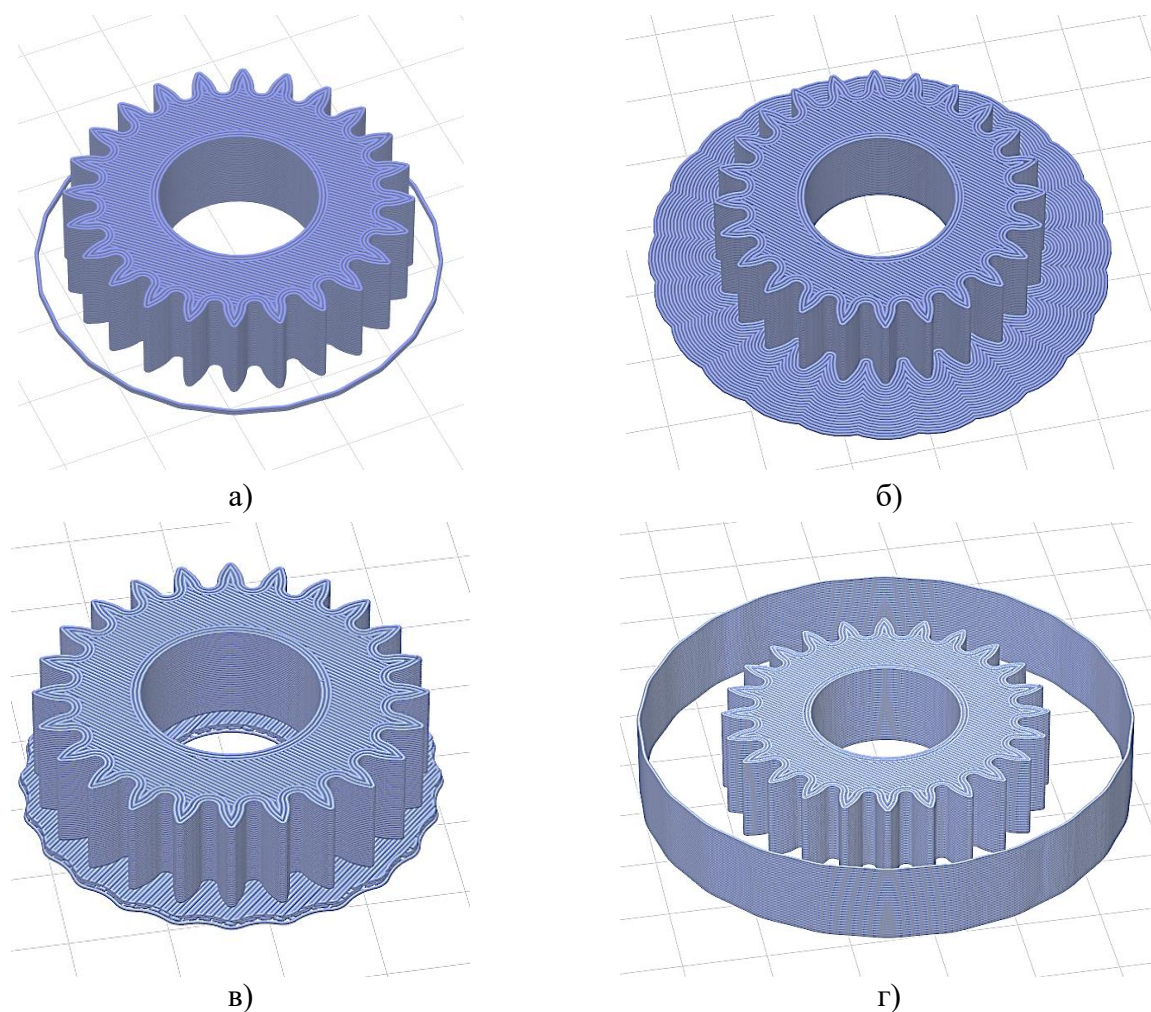
Интерфейсные слои поддержки позволяют сохранить качество поверхности модели над структурой поддержки и обеспечивают надёжный фундамент для поддержек, строящихся от модели вверх. Они представляют собой плотные слои и печатаются либо на некотором расстоянии от модели (в случае отделяемой поддержки), либо вплотную (растворимая или оптимизированная поддержка).

В свою очередь, субинтерфейсные слои выполняют аналогичную функцию для интерфейсных слоёв и являются ключевым инструментом при построении оптимизированных поддержек.

Интерфейсные слои поддержки могут быть выполнены с плотностью менее 100 %, что актуально при печати поддержки тем же материалом, что и модели. Помимо этого, интерфейсные слои поддержки могут выступать за границы модели (но не больше XY расширения тела поддержки).

Вкладка «Прочее» содержит существенно различные по назначению настройки. Включение опции «Сглаживание» может увеличить качество печати верхнего слоя.

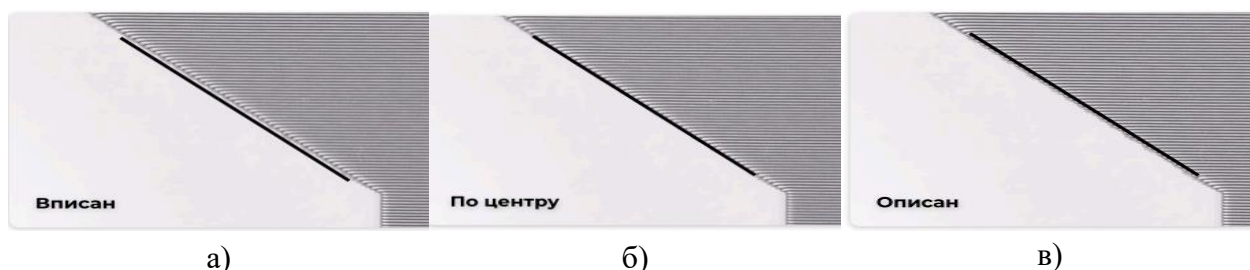
Пользователем может быть активировано усиление адгезии к платформе обрамлением, усилением контакта или подложкой (рисунок 3.14, а-в) с настройкой зависимых параметров. Обрамление позволит гарантировано начать печать с заполненным соплом, усиление контакта применимо в случае моделей с малой площадью контактной поверхности. При выборе подложки под моделью будет напечатано 4 дополнительных расширенных слоя. Вокруг модели может быть изготовлен щит (рисунок 3.14, г), который может улучшить условия при печати материалами с высокой усадной.



а – обрамление; б – усиление контакта; в – подложка; г – щит
 Рисунок 3.14 – Усиление адгезии модели к платформе

Пользователь может задать внешний периметр при нарезке, что повлияет на размеры наклонных поверхностей (рисунок 3.15).

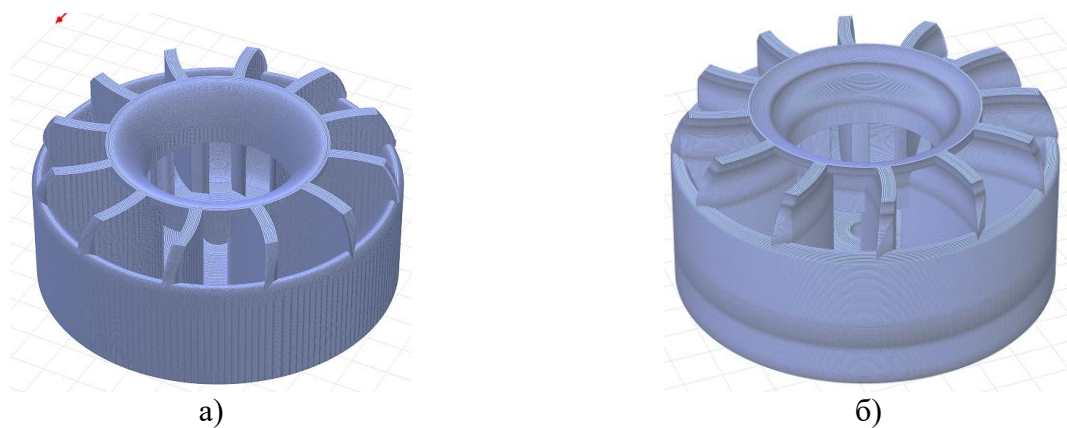
Пользователь может задать порядок печати в рамках слоя: «сначала модель» (по умолчанию) или «сначала поддержка».



а – вписан, т. е. слой будет наиболее выступающей частью касаться габарита модели;
 б – по центру (режим по умолчанию); в – описан, т. е. слой будет наименее выступающей частью касаться габарита модели

Рисунок 3.15 – Задание внешнего периметра при нарезке слоёв

Оптимизация времени печати при изготовлении детализированных моделей возможна с использованием адаптации высоты слоя (рисунок 3.16).



а)

б)

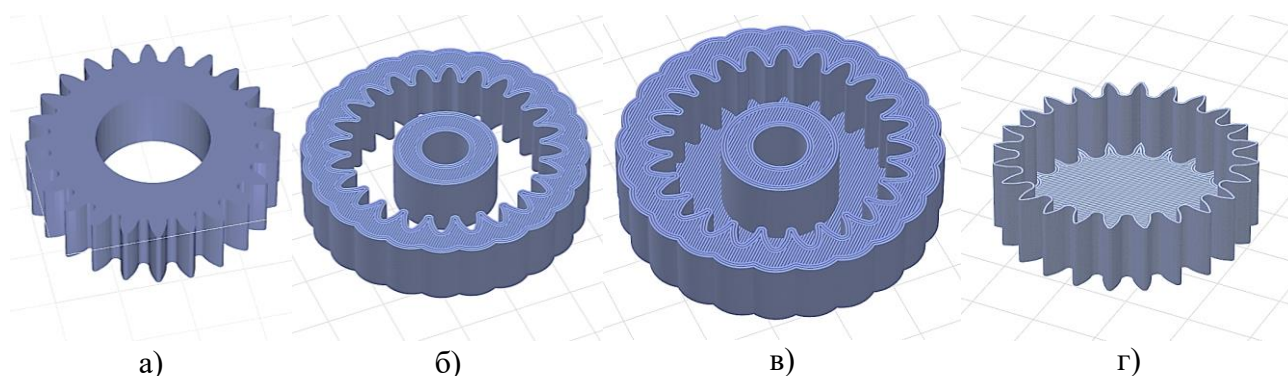
а – выключена, б – включена

Рисунок 3.16 – Адаптация высоты слоя

Крыльчатка, представленная на рисунке 3.16 имеет сложнопрофильный участок внутренней поверхности, который, исходя из назначения модели, должен быть максимально гладким. Однако, толстое дно крыльчатки, а также прямой участок корпуса не имеет смысла печатать с высокой детализацией. При выключенной адаптации высоты слоя и заданном значении высоты в 0,05 мм время печати составит 26,5 ч (800 слоёв). Включенная адаптация с разрешением повышать толщину слоя вплоть до максимально доступной снизила время печати до 12,04 ч (253 слоя). Вместе с тем, изменение толщины слоя может привести к некоторому изменению размеров модели.

Polygon X обладает функционалом подготовки реверсивной модели (рисунок 3.17, а-в), что может быть использовано при подготовке формы для литья (могут потребоваться дополнительные действия со стороны оператора).

Опция «Ваза» позволит построить оболочковое тело с толщиной стенки в 1 периметр с укладкой пластика по спирали, а не слоями. Данный режим может быть использован при изготовлении художественных моделей.



а)

б)

в)

г)

а – модель; б – реверсивная модель; в – реверсивная модель при смещенной вверх модели; г – режим «Ваза»

Рисунок 3.17 – Подготовка реверсивной модели (а-в) и оболочковой модели (г)

По завершении настройки печати необходимо нажать кнопку «Подготовить к печати». Слайсер подготовит управляющую программу,

которую будет необходимо сохранить на флеш-накопитель и запустить на печать.

Порядок выполнения работы.

1. Получить у преподавателя цифровую модель (или задание на её разработку) и условия эксплуатации изделия.

2. Используя профессиональный режим настройки задания установить целесообразные значения параметров, руководствуясь теоретическим материалом, и подготовить управляющую программу.

3. Загрузить файл управляющей программы на usb-flash накопитель и подключить его к принтеру.

4. Исходя из условий эксплуатации изделия выбрать подходящие филаменты и заправить принтер. В случае, если в памяти принтера отсутствует требуемый профиль пластика – установить его перед заправкой.

5. Очистить стол принтера и обработать его адгезивом.

6. Запустить печать модели. Проконтролировать печать минимум двух первых слоёв. В случае возникновения проблем при печати использовать инструкции первой лабораторной работы. При отлипании модели попробовать скорректировать режимы печати вручную, используя теоретический материал лекций.

7. Извлечь модель из принтера и очистить стол.

Отчёт о выполненной работе оформляется в электронном виде. В отчёте привести обоснование заданных параметров печати, выбранных материалов. Разместить в отчёте фотографии первого слоя, модели в процессе печати, готовой модели. В случае внесения корректив в процессе печати описать какие параметры меняли и почему. Работа выполняется каждым студентом самостоятельно по индивидуальному заданию.

Библиографический список

1. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники : учебник для вузов / А.Л. Галиновский, Е.С. Голубев, Н.В. Коберник, А.С. Филимонов; под общей редакцией А.Л. Галиновского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 145 с.
2. Руководство пользователя DesignerX Pro // Центр поддержки Picaso URL: <https://helpcenter.picaso-3d.ru/designer-xpro>.
3. Проверка и устранение неисправностей // Центр поддержки Picaso URL: <https://helpcenter.picaso-3d.ru/designer-xpro/troubleshooting>.
4. Обслуживание и сервисные операции // Центр поддержки Picaso URL: <https://helpcenter.picaso-3d.ru/designer-xpro/maintenance>.
5. Polygon X. Инструкция // Центр поддержки Picaso URL: <https://helpcenter.picaso-3d.ru/polygon-x/manual>.

Приложение А

Титульный лист лабораторной работы

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Рязанский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт»

Лабораторная работа № ___

по дисциплине «Технология аддитивного производства»

Тема: «Подготовка 3D-принтера Picaso Designer X Pro к работе, устранение частых неисправностей и печать тестовой модели»

Выполнил:

Студент группы № _____

(ФИО студента)

Проверил:

(должность, ФИО преподавателя)

(оценка)

(дата)

(подпись)

Рязань
202__

Учебное издание

Аверин Николай Витальевич
Паршин Александр Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания по
выполнению лабораторных работ

Подписано в печать _____. Тираж 5 экз.
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53