

3D-печать. От первой катушки до своей серии.

Материалы, хранение, подготовка моделей, печать на Bambu Lab P2S, обработка, сборка и контроль качества.

Грёзы (Лаб) · 28 сентября 2026 · версия 1.0

Учебные примеры и задания отделены от сведений производителя.

3D-печать: от первой катушки до собственной малой серии

Практический курс для «Грёзы (Лаб)». Основной принтер — **Bambu Lab P2S Combo с AMS 2 Pro**, технология — FDM/FFF, филамент 1,75 мм. Редакция 1.0, 28 сентября 2026 года.

Что получится после курса

Ты сможешь выбрать материал под задачу, хранить и сушить его, подготовить модель, объяснить настройки слайсера, напечатать и собрать изделие, найти причину дефекта и повторить результат небольшой партией. Отдельный результат — собственная библиотека образцов, проверенных профилей и технологических карт.

Курс написан под твой путь: красивые настольные игры и предметы, сначала как хобби, затем — возможный микробренд. Он также охватывает функциональные детали, чтобы выбор пластика не ограничивался внешним видом.

Как проходить

Читай главы по порядку, выполняй небольшие задания и сохраняй результат. Справочники материалов и обработки можно просматривать выборочно. Для старта достаточно одного обычного PLA, штатного сопла 0,4 мм и чистой подходящей пластины. Покупать все материалы и инструменты из справочников не требуется.

Предлагаемый темп — 4-8 недель. Это учебный план, а не обещание одинаковой скорости обучения: ориентир — 35-55 часов чтения, моделирования, измерений и ручной работы плюс время принтера. Переходи дальше по критериям результата, а не по календарю.

ЭТАП	УРОК И	ГЛАВНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ
Основа и первый запуск	01-04	Первый осмысленный одноцветный образец
Материалы	05-07	Понимание свойств, ограничений и декоративных эффектов
Хранение и выбор катушек	08-10	Паспорта материалов, сухое хранение, стартовая палитра
Подготовка печати	11-15	Проверенный проект Bambu Studio и контроль отходов
Модель, обработка и сборка	16-19	Деталь с подходящими допусками и выбранной отделкой
Обслуживание и диагностика	20-23	Повторяемый результат и понятная процедура поиска ошибок
Изделие и малая серия	24-28	Собственный набор, технологическая карта и себестоимость

Главы

1. [Начало: технология, рабочее место, P2S и софт.](#)
2. [Большой справочник материалов и применений.](#)
3. [Хранение, сушка, катушки и стартовая палитра.](#)
4. [Bambu Studio: настройки, калибровка и цвет.](#)
5. [Конструирование, обработка, клеи и фурнитура.](#)
6. [Обслуживание, дефекты и контроль качества.](#)
7. [Настольные игры, себестоимость, серия и переработка.](#)
8. [Словарь, контрольные вопросы и шаблоны.](#)

Учебная конфигурация и совместимость

Учебная конфигурация — P2S Combo, штатный закалённый хотенд 0,4 мм, дополнительный хотенд 0,2 мм из нержавеющей стали и текстурированная PEI-пластина. По официальной документации у P2S уже установлен закалённый хотенд 0,4 мм. **При покупке запасного хотенда проверяй выбранный артикул: стандартный хотенд A1 не совместим с P2S; нужен явно совместимый вариант P2S/H2.** Карточка магазина сама по себе не подтверждает выбранную модификацию. У новых универсальных серий совместимость может отличаться — проверяй точную модель, а не одно слово в названии. [Официальный FAQ P2S.](#)

Текстурированная пластина уже даёт отдельный вариант отделки нижней поверхности. Это не гладкая пластина: «зеркального» низа от неё ожидать не нужно. Совместимость покрытия с конкретным пластиком и температурой проверяется по инструкции изготовителя пластины.

Как читать рекомендации

Сведения производителя сопровождаются ссылкой на первичный источник. Числа для конкретной марки не переносятся автоматически на другие катушки. Документация и прошивки меняются; дата редакции указана выше.

Учебные настройки и задания — отправная точка для эксперимента, а не универсальные оптимальные параметры. **Списки изделий** — идеи применения: окончательная пригодность зависит от геометрии, нагрузки, среды, качества печати и испытаний. Собственные результаты печати в этой редакции не заявлены: их предстоит получить и записать.

Главный принцип курса: сначала зафиксировать задачу и исходные условия, затем изменить один параметр, оценить результат и сохранить удачный процесс. Хорошая покупка становится полезной, когда понятно, какую конкретную проблему она решает.

Часть 1. Начало: от идеи до первого образца

Урок 01. Как работает FDM и откуда берутся ограничения

Путь материала

Катушка отдаёт нить. Подающие шестерни экструдера проталкивают её в хотенд — узел нагрева и плавления. Через отверстие сопла выходит расплав. Головка раскладывает его линиями, линии формируют слой, следующий слой ложится на предыдущий. Стол удерживает деталь, а обдув помогает расплаву закрепить форму.

Экструдер и хотенд — разные узлы. Экструдер создаёт подачу; хотенд нагревает. Засор сопла, проскальзывание шестерён и застрявшая катушка способны дать похожий симптом — недостаток материала, но требуют разных действий.

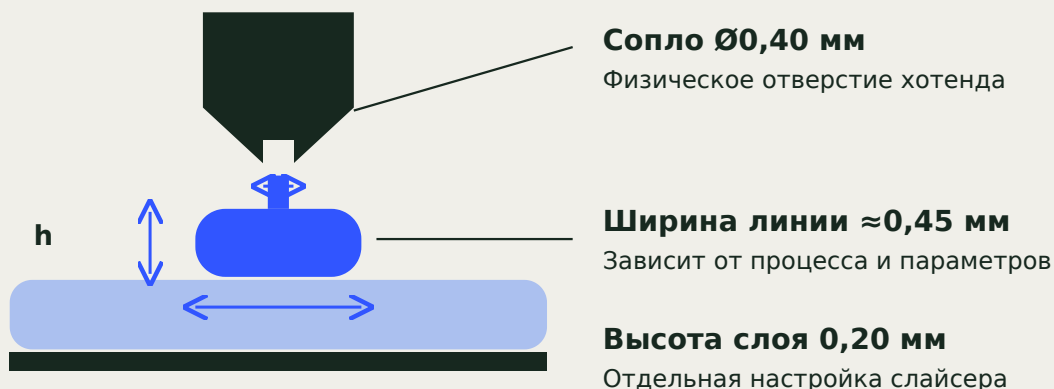
Слайсер переводит объёмную модель в траектории и команды принтера. Он определяет, где будут стенки, заполнение, поддержки, швы и смены материала. Принтер воспроизводит траектории; он не знает, какую часть изделия ты считаешь лицевой или какую нагрузку она должна выдержать.

Пять свойств, которые важно понять сразу

1. **Слоистость.** На наклонных поверхностях видны ступеньки. Меньший слой уменьшает их высоту, но увеличивает число проходов.
2. **Направление прочности.** Связь между слоями часто слабее непрерывных линий внутри слоя. Ориентация детали способна изменить результат сильнее, чем увеличение заполнения.
3. **Ограничение детализации.** Маленький элемент должен превратиться в реальную траекторию. Сопло 0,4 мм не означает, что все детали имеют точность ровно 0,4 мм; и не гарантирует печать любого штриха меньшей ширины.
4. **Нагрев и охлаждение.** Пластик меняет размеры при остывании. Тонкая высокая стенка и широкая плоская доска ведут себя по-разному.
5. **Нужна опора.** Линия не может произвольно висеть в воздухе. Свесы опираются на предыдущие слои, мосты — на края, сложные участки — на временные поддержки.

Высота слоя, ширина линии и диаметр сопла — три разных величины. Например, учебный профиль с соплом 0,4 мм и слоем 0,2 мм не меняет физический диаметр сопла. Переход на слой 0,12 мм улучшает вертикальную детализацию; для очень тонких символов может понадобиться сопло 0,2 мм.

Три разных размера



Учебный пример. Масштаб и форма сечения условные.

Что FDM особенно хорошо делает

Размерные прототипы, коробки и органайзеры, сменные вставки, фишки, корпуса, держатели, малые серии с вариантами размеров и цветов. Конструкция легко меняется между партиями. Сложная форма иногда получается без дорогой оснастки.

Для крупных гладких предметов приходится учитывать время, швы сборки и отделку. Прозрачность, сравнимая с полированным акрилом, не получается автоматически из прозрачной катушки. Печатная кость не становится сбалансированной только потому, что имеет форму куба. Отдельные отрасли — пищевые изделия, медицинские применения и детали, от которых зависит безопасность, — требуют дополнительных требований и проверок.

Фотополимерная печать — другая технология: жидкая смола, засветка, промывка и дозасветка. Её мелкая детализация полезна для миниатюр, но материалы, обработка и организация рабочего места отличаются. P2S работает с филаментом, смолу в него не загружают.

Практика

Выбери фишку, маленькую коробку и шахматную фигуру. Для каждой запиши лицевую поверхность, предполагаемую нагрузку, допустимость видимых слоёв, способ соединения и условия использования. Нарисуй предполагаемую ориентацию на столе.

Результат: ты можешь объяснить, почему одна и та же форма в разных ориентациях печатается и ломается по-разному.

Урок 02. Рабочее место, воздух, электричество и ручная работа

Раздели три процесса

У принтера — чистая зона печати, без шлифовальной пыли и аэрозолей. У рабочего коврика — сборка, измерения, клей и фурнитура. Для шлифования и окраски — отдельная организованная зона. Пыль от обработки не должна попадать на пластину, в вентиляторы и AMS.

Стол нужен устойчивый, с запасом места для открытия дверцы, доступа сзади и обслуживания. Посмотри на трассу кабеля и PTFE-трубок: они не должны натягиваться при движении и доступе к катушкам. Оставь пространство для отходов у места их выхода. Не перекрывай воздухозаборники декоративным кожухом.

Воздух — часть процесса

При FDM могут выделяться ультрамелкие частицы и летучие вещества; отсутствие заметного запаха не подтверждает отсутствие выделений. Для PLA тоже нужна продуманная вентиляция. Для ABS/ASA и материалов с выраженными выделениями особенно важен отвод загрязнений у источника. Закрытый корпус помогает удерживать процесс, но сам по себе не подтверждает безопасный воздух в помещении. HEPA рассчитан на частицы, активированный уголь — на часть газообразных загрязнений; эффективность зависит от устройства, ресурса и условий. [Руководство NIOSH для небольших мастерских](#).

Практический выбор для домашнего старта: место, где ты не спишь и не проводишь весь день рядом с работающим принтером, организованный воздухообмен и возможность улучшить отвод воздуха до перехода к ASA/ABS. Если планируется подключить вытяжку к P2S, сверяй конструкцию с [официальным комплектом внешней вытяжки](#); чрезмерное охлаждение камеры тоже влияет на печать.

Шлифование, аэрозольная окраска и работа с растворителями создают свои воздействия. Подбирай защиту и вентиляцию по паспорту конкретного вещества и операции. Противопылевой фильтр не заменяет защиту от паров растворителей. Обычная закрытая комната с открытой дверью не становится окрасочной камерой.

Электропитание

Нужны исправная заземлённая розетка, кабель и удлинитель с подходящей допустимой нагрузкой. Не соединяй несколько удлинителей цепочкой. Если в общей группе работают принтер, сушилка и мощный фен, учитывай их совместную нагрузку. В официальном FAQ для P2S указана максимальная мощность 1200 Вт при 220 В; обычная печать потребляет иначе, поэтому ИБП нельзя выбирать только по среднему расходу. [Потребление P2S](#).

ИБП выбирают под конкретный сценарий: пережить краткий провал или дать время остановить работу. Мощность в ваттах, показатель VA и ёмкость батареи — разные характеристики. Стабилизатор не содержит запас энергии и не заменяет ИБП. Функция

возобновления печати не гарантирует незаметного продолжения: деталь могла остыть, отлипнуть или получить шов.

Ручные операции

Дай пластине и детали остыть перед снятием. Острый инструмент направляй от себя; при откусывании поддержек надевай очки. При обслуживании электроники и разъёмов выключай питание и отсоединяй кабель. Операции, которым нужен нагрев, выполняй по отдельной инструкции, а не одновременно с разборкой проводки.

Магниты, обрезки, лезвия и мелкая фурнитура хранятся в закрытых подписанных коробках. Для наборов, которые могут попасть к детям, крепление магнитов и мелких деталей — задача конструкции, а не только выбора клея.

Практика

Составь план размещения трёх зон, проверь доступ к принтеру и кабелям, определи место хранения химии, место отходов и способ воздухообмена. Запиши, какие материалы допустимы в твоих текущих условиях.

Результат: мастерская готова к PLA, а переход к новым операциям требует конкретного изменения рабочего места, которое ты можешь назвать.

Урок 03. Твой P2S Combo: комплектация и первый запуск

Что полезно знать о машине

У P2S область печати 256 × 256 × 256 мм, сопло до 300 °C, стол до 110 °C, штатные сопло и шестерни — закалённые. Камера закрытая, но активного нагревателя камеры нет. Поддерживается автоматическая динамическая калибровка подачи. Закрытый корпус расширяет возможности, однако не делает любой технический пластик подходящим.

[Характеристики и ограничения P2S.](#)

Доска 400 × 400 мм целиком не помещается. Сначала проектируют разъёмную конструкцию, затем проверяют точность соединений и плоскостность. Даже модель 256 мм по ширине может потребовать уменьшения: юбка, brim, поддержки и размещение на пластине тоже занимают место.

AMS 2 Pro хранит и автоматически подаёт до четырёх катушек в одном модуле. Все цвета проходят через одно сопло. На смене материала остатки прежнего расплава нужно вытеснить; отсюда продувка и отходы. Разделение материала по слоям и деталям имеет экономическое значение.

Перед включением

Следуй [инструкции распаковки P2S](#): удали указанные транспортировочные фиксаторы, проверь крепления, комплектацию, кабели и трубки. Не угадывай по видео для P1S: внешняя похожесть не означает одинаковую процедуру.

Сохрани документы покупки, серийный номер, сведения о продавце и фотографии комплектации. Осмотри пластину на повреждения, хотенд — на правильную посадку и комплектность. Не начинай первый запуск с установки дополнительного сопла или сторонних модификаций: исходная конфигурация нужна для понятной проверки.

Последовательность первой печати

1. Заверши первичную настройку по официальной инструкции и запиши версии прошивки и Bambu Studio.
2. Выполни штатную калибровку, поставив принтер на постоянное место.
3. Установи подходящую чистую пластину. Не касайся поверхности печати пальцами.
4. Загрузи обычный PLA в один слот AMS; зафиксируй свободный конец остальных катушек.
5. Выбери P2S, фактическое сопло 0,4 мм, соответствующий тип пластины и точный либо подходящий базовый профиль филамента.
6. Напечатай небольшой одноцветный предмет без сложных поддержек. Наблюдай начало: линии должны держаться и складываться в цельный слой.

7. После охлаждения сними образец, измерь и сохрани фотографию, файл проекта и замечания.

[Официальный первый запуск печати.](#)

Сопла и пластины в твоём наборе

Штатное 0,4 мм — основное для первых уроков и большинства игр. 0,2 мм из нержавеющей стали пригодится для тонких символов из совместимого PLA. Под наполнители и абразивные материалы оно не является универсальным вариантом. В актуальной таблице Bambu совместимость зависит и от материала, и от диаметра; некоторые заполненные составы разрешены на закалённом 0,4 мм, для других разумнее 0,6 мм. [Матрица хотендов H2/P2S](#).

При покупке запасного 0,4 мм проверь выбранную модификацию: стандартная серия A1 отличается от P2S/H2. У новых универсальных серий сверяй точный артикул и список совместимости. Не устанавливай несовместимый узел силой. После смены сопла нужно изменить профиль принтера в слайсере и выполнить предусмотренные калибровки.

Nemesis PEI Textured добавляет фактуру на нижнюю сторону. Если уже в комплекте есть текстурированная пластина, дополнительная прежде всего даёт запас и возможность смены стола; новую разновидность поверхности она не создаёт. Для стороннего покрытия приоритет имеет инструкция его изготовителя.

Практика

Создай запись «Исходная конфигурация»: принтер, прошивка, версия слайсера, установленное сопло, пластина, катушка. Напечатай три одинаковых простых образца в двух отдельных запусках.

Результат: образцы держатся на столе, отсутствуют пропуски линий и явное коробление, а ты знаешь, из какого проекта можно повторить печать.

Урок 04. Софт, файлы и модель: что за что отвечает

Минимальная рабочая цепочка

Замысел и размеры → модель → Bambu Studio → предварительный просмотр → печать → измерение → исправление модели или процесса. Изменение формы делается в CAD или редакторе сетки. Изменение траекторий и распределения материала — в слайсере. Фотография помогает оценить внешний вид, но не заменяет измерения.

ИНСТРУМЕНТ	ДЛЯ ЧЕГО ИСПОЛЬЗОВАТЬ	ЧТО ОСВОИТЬ ПЕРВЫМ
Bambu Studio	Подготовка печати, профили, цвет, просмотр слоёв	Импорт, ориентация, размеры, профили, Slice, Preview, сохранение проекта
Bambu Handy	Связь с принтером и наблюдение с телефона	Статус, уведомления, камера; сложную подготовку делать на компьютере
FreeCAD	Размерные предметы, коробки, фишки, посадки, параметры	Эскиз, ограничения, выдавливание, карман, скругление, экспорт
Autodesk Fusion	Альтернативная среда размерного моделирования	Те же основные операции; заранее проверить условия лицензии
Blender	Скульптурные фигуры, органические формы и сетки	Масштаб, модификаторы, замкнутая сетка, подготовка экспорта
OpenSCAD	Параметрические предметы, задаваемые кодом	Переменные, простые тела, объединение и вычитание

Для начала выбери **один слайсер и одну программу моделирования**. Для твоих размерных игр хорошая учебная пара — Bambu Studio + FreeCAD. У FreeCAD параметрическая геометрия и эскизы с ограничениями: изменение диаметра фишки можно провести без полного построения заново. [Возможности FreeCAD](#). Fusion Personal предназначен для квалифицирующих личных некоммерческих проектов; переход к продажам требует проверки подходящей лицензии. [Условия Autodesk](#).

OrcaSlicer может быть полезен позже, когда появится конкретная задача калибровки или настройки. Не переносись между слайсерами во время поиска первого дефекта: это добавляет переменные и несовпадение профилей. Возможности подключения P2S проверяются по текущей документации выбранной программы.

Основные форматы

ФОРМАТ	ЧТО ОБЫЧНО ХРАНИТ	КАК ОБРАЩАТЬСЯ
Родной файл CAD	Параметры, эскизы, историю модели	Это главный редактируемый исходник; сохранить обязательно

ФОРМАТ	ЧТО ОБЫЧНО ХРАНИТ	КАК ОБРАЩАТЬСЯ
STEP	Геометрию твёрдого тела и сборки	Удобен для обмена CAD; история исходного проекта обычно не переносится
STL	Треугольную поверхность	Не хранит полноценный проект печати и стандартное описание единиц; проверять размер после импорта
OBJ	Сетку, иногда связанные материалы	Проверять размеры, состав объектов и пригодность для печати
3MF	Контейнер с геометрией; проект слайсера может включать настройки и цвета	Чужой проект может содержать настройки другого принтера; перед запуском пересмотреть всё
G-code / файл печати	Готовые команды и служебные данные	Генерировать под свою машину; чужой файл не равен универсальной модели
SVG	Двумерные контуры	Основа для надписей, орнаментов и выдавливания; проверить замкнутость контуров

STL изображает окружность многоугольниками. Слишком грубый экспорт оставляет гранёность, которую тонкий слой не устранил. Слишком тяжёлая сетка замедляет работу без заметной пользы. Проверь поверхность и размеры в слайсере. Для Blender дополнительно проверь единицы и масштаб экспорта. [Экспорт STL в Blender](#).

Как оценить скачанную модель

Проверь габариты, замкнутость объёма, толщину стенок, отдельные оболочки, возможность удалить поддержки, лицевые поверхности и крепления. Прочитай условия автора. На MakerWorld и Printables профили и комментарии полезны как исходная информация; качество чужой печати не подтверждает работу именно твоей комбинации материала и пластины.

Для продажи нужно право коммерческого использования модели и связанных элементов. Например, условие NC в Creative Commons ограничивает коммерческое использование. Лицензия на скачивание файла и подписка на сайт не равны автоматически праву продавать распечатки. Сохраняй автора, ссылку, текст лицензии, дату и разрешение, если оно получено отдельно. [Разъяснения Creative Commons](#).

Практика

Создай структуру проекта: `source`, `export`, `print`, `photos`, `notes`. Импортируй простую модель, проверь её размер, выбери правильные профили, нарежь и посмотри первые, средние и верхние слои. Сохрани проект 3MF, не ограничиваясь экспортом STL.

Результат: ты различаешь изменение модели и изменение печати, можешь восстановить исходник и объяснить, какие параметры попадут в следующий запуск.

Часть 2. Большой справочник материалов

Урок 05. Как выбирать пластик по свойствам

Семейство, рецепт и результат печати

Название полимера — начало выбора. PLA двух производителей может отличаться добавками, пигментом, текучестью и поведением при обработке. PLA Basic, Matte, Silk и PLA+ нельзя считать одним материалом с разными этикетками. «Плюс», «Pro», «Tough», «High Speed» и «Marble» не являются единым стандартом свойств.

Материал детали определяется сразу тремя уровнями: химическим составом, условиями изготовления и геометрией. Хорошая катушка не исправляет слабый узкий участок модели, а правильная геометрия не делает PLA устойчивым к любому нагреву.

Свойства, которые часто путают

СВОЙСТВО	ЧТО ОЗНАЧАЕТ	ПРИМЕР ВОПРОСА ДЛЯ ТВОЕГО ИЗДЕЛИЯ
Жёсткость	Насколько деталь сопротивляется упругому изгибу	Прогибается ли крышка между опорами?
Прочность	Какую нагрузку выдерживает до выбранного предела	Не треснет ли крепление петли?
Ударная вязкость	Способность пережить удар без разрушения	Что будет, если фигура упадёт со стола?
Твёрдость	Сопротивление локальному вдавливанию	Не останется ли след от шайбы?
Износостойкость	Поведение при трении и многократном использовании	Стираются ли края фишки?
Ползучесть	Изменение формы со временем под нагрузкой	Не ослабнет ли постоянно нагруженный зажим?
Теплостойкость	Сохранение формы и свойств при нагреве в заданных условиях	Переживёт ли набор летнюю перевозку?
УФ-стойкость	Сохранение свойств на свету	Выцветет ли уличная табличка?
Химическая стойкость	Реакция на конкретное вещество	Можно ли протереть изделие выбранным очистителем?
Гигроскопичность	Поглощение влаги	Нужна ли сушка перед печатью и подача из сухого бокса?
Усадка и коробление	Изменение размеров и формы при охлаждении	Сойдутся ли две половины доски?

СВОЙСТВО	ЧТО ОЗНАЧАЕТ	ПРИМЕР ВОПРОСА ДЛЯ ТВОЕГО ИЗДЕЛИЯ
Сцепление между слоями	Надёжность соединения линий разных слоёв	Где вероятен излом у вертикальной ножки?

Теплостойкость — не температура сопла. В техпаспорте могут быть Tg, температура плавления и HDT при определённой нагрузке. Эти величины отвечают на разные вопросы. Одна цифра в карточке магазина не подтверждает работу сложной детали при такой температуре.

Что читать в документах

TDS — технический паспорт: свойства, методы испытаний, рекомендованные параметры.

SDS — паспорт безопасности: состав в необходимом объёме, воздействия, обращение и хранение. Ещё нужна инструкция печати конкретного филамента.

Проверь, относятся ли прочностные числа к печатным образцам или литьевому сырью; в каком направлении напечатан образец, как его кондиционировали и при какой нагрузке измеряли нагрев. Сравнивать цифры разных методик напрямую часто бессмысленно.

Алгоритм выбора

1. Определи условия: помещение или улица, нагрев, вода, удар, нагрузка, химия.
2. Реши, нужна ли жёсткость, упругость или декоративный эффект.
3. Проверь возможности принтера, сопла, пластины, сушки и рабочего места.
4. Выбери семейство, затем конкретный рецепт и профиль.
5. Напечатай образец с геометрией, близкой к изделию, и испытай его по своей задаче.

Если фишка лежит дома и важен цвет, обычный PLA может оказаться разумнее дорогого инженерного состава. Если крепление должно постоянно держать нагрузку в нагретом месте, одной красивой поверхности недостаточно. Здесь нужна проверка материала, ориентации и конструкции.

Практика: для фишки, коробки, застёжки и уличной таблички выбери три приоритетных свойства. Объясни, почему у предметов разный выбор материала.

Результат: ты различаешь свойства материала, формулируешь условия работы предмета и можешь объяснить выбор подходящего семейства.

Урок 06. Семейства: различия и подробные списки применений

Далее перечислены **идеи для проектирования**, а не подтверждённые разрешения на любое использование. Под «корпусом электроники» здесь понимается прототип или несилевой корпус с оценкой условий; под «прокладкой» — бытовая некритичная деталь. Нагрузочные, герметичные, электрозащитные и пищевые применения требуют отдельных проверок.

1. PLA — базовый материал для начала

Обычно легко печатается, мало коробится, хорошо подходит для размерных и декоративных предметов. Жёсткость полезна для геометрии, но тонкие элементы могут ломаться при ударе. Теплостойкость ограничена: горячая машина и близость источника тепла — плохие условия для обычного PLA. [Справка Prusa о PLA](#).

Идеи: шашки; фишки нарда; фигуры шахмат; домино; маджонг; крестики-нолики; элементы «4 в ряд»; игровые жетоны; счётчики; подставки для карт; лотки для компонентов; вставки в коробки; декоративные коробочки; макеты; масштабные архитектурные модели; таблички для помещений; фотоподставки; органайзеры; шаблоны для разметки; нефункциональный реквизит.

Для твоей мастерской: первый эталонный материал, цветовые образцы и первые игровые наборы. Для защёлок, тонких петель и нагруженных крючков проверяй более вязкий состав или другое семейство. Матовый рецепт выбирается ради поверхности, а не как автоматическое улучшение механики.

2. PLA+, Tough PLA и модифицированный PLA

Это группа рецептов с обещанными изменениями свойств. Составы могут давать лучшую ударную стойкость, другое течение и иную отделку, но одинаковое слово «PLA+» не гарантирует одинаковый результат. Покупку обосновывай TDS и испытанием, а профиль обычного PLA используй только как проверяемую отправную точку.

Идеи: более живучие игровые фигуры; крупные буквы; настольные органайзеры; учебные механизмы; прототипы рукояток; сборные коробки; фиксаторы для бытовых предметов; подставки; демонстрационные корпуса; модели с тонкими выступами; декоративные панели; тестовые приспособления.

Как проверить: сравни две одинаковые тонкие детали из Basic и Tough при одинаковой ориентации, затем повтори проверку на готовой геометрии. Увеличение ударной стойкости не означает устранения ползучести или роста теплостойкости.

3. PETG — второй основной материал

Обычно более вязкий, чем базовый PLA, с хорошим сцеплением слоёв и умеренной теплостойкостью. Часто даёт нити и более блестящую поверхность. При слишком сильном сцеплении с гладкой PEI можно повредить покрытие: поверхность и

разделительный слой выбирают по инструкции пластины. [Справка Prusa о PETG](#).

Идеи: коробки для хранения; прочные лотки; корпуса прототипов; держатели проводов; бытовые крючки с испытанной нагрузкой; упругие фиксаторы; направляющие; подставки; защитные колпачки; детали органайзеров; держатели инструментов; полупрозрачные игровые элементы; крышки; элементы конструктора; небольшие садовые маркеры; детали для влажного помещения без специальных требований.

Для твоей мастерской: проверка прозрачных эффектов и практичных коробок. Нельзя заранее обещать герметичность, пищевую безопасность или пригодность для посудомойки. Обычный PETG и PETG HF — разные рецепты; профиль скорости должен соответствовать катушке.

4. PCTG и другие сополиэфиры

PCTG близок по рабочему смыслу к PETG, но конкретные рецепты могут отличаться ударной стойкостью и прозрачностью. Например, Fiberlogy описывает свой PCTG как более ударостойкий и прозрачный по сравнению со своим ориентиром PET-G. Это не универсальное сравнение всех брендов. [PCTG Fiberlogy](#).

Идеи: ударостойкие коробки; защитные кожухи; крупные игровые элементы; держатели; прозрачные декоративные вставки; демонстрационные макеты; корпуса прототипов; бытовые зажимы; витринные подставки; лотки; детали реквизита; пробные шарнирные узлы.

CPE — название группы сополиэфиров и торговых составов. Например, Fillamentum CPE HG100 имеет собственные рекомендации печати; его нельзя автоматически приравнять к любому PETG. [Материал CPE HG100](#).

Когда изучать: когда PLA/PETG уже освоены и есть конкретная причина искать другой баланс свойств. Проверить допустимые температуры, сушку и наличие рабочего профиля для P2S.

5. ABS — технический пластик с требованиями к процессу

Может быть полезен для вязких деталей с большей теплостойкостью, чем обычный PLA. Склонен к усадке и короблению; нужны контроль тепловых условий и вентиляция. На улице УФ-стойкость обычно уступает ASA. [Справка Prusa об ABS](#).

Идеи: корпуса прототипов; внутренние детали бытовых устройств; рукоятки; установочные рамки; кронштейны после испытаний; детали учебных механизмов; коробки, требующие большей теплостойкости; стыковочные элементы; реквизит; сборочные приспособления; защитные кожухи; небольшие технические макеты.

Для P2S: закрытый корпус полезен, но большие плоские детали остаются сложными. Начинать с малой детали и корректного профиля. Известная возможность обработки растворителем не означает, что её следует включать в домашнюю работу без отдельного безопасного оборудования.

6. ASA — кандидат для улицы

Обычно выбирают ради атмосферной и УФ-стойкости при свойствах, близких по задачам к ABS. Коробление и выделения всё равно нужно учитывать. [Справка Prusa об ASA](#).

Идеи: наружные таблички; садовые маркеры; корпуса уличных прототипов; крепления лёгких датчиков; наклейки; защитные колпачки; декоративные элементы на балконе; детали наружных органайзеров; малые погодные экраны; ручки; держатели; реквизит для съёмки на улице.

Как проверить: напечатай контрольную деталь, проверь размеры, сборку и поверхность. Для наружной серии добавь длительное наблюдение на солнце и под осадками. «Уличный пластик» не даёт гарантии любой нагрузки, срока службы и любого цвета.

7. TPU, TPE и TPEE — гибкие материалы

TPU относится к термопластичным эластомерам; TPE — широкая группа, в которой есть разные химические семейства. Мягкость обозначают шкалами Shore. A и D — разные шкалы, их числа напрямую не сравниваются. Чем мягче нить, тем труднее стабильная подача; печать обычно медленнее, свесы и поддержки сложнее. [Справка о гибких материалах](#).

Идеи: ножки коробок; нескользящие наклейки; мягкие игровые фишки; защитные бамперы; кабельные вводы; ремешки; эластичные петли; демпфирующие вставки; бытовые уплотняющие детали без критичных требований; колёса игрушечных моделей; мягкие держатели; прокладки между твёрдыми частями; защитные колпачки; элементы костюмов.

Для P2S: обычный мягкий TPU не следует отправлять через AMS по профилю PLA. Используй внешнюю подачу и официальную схему для конкретного TPU. Исключение — материалы, явно заявленные для AMS, например Bambu TPU for AMS; они имеют собственный профиль и ощущения по жёсткости. [Bambu TPU for AMS](#).

Жёсткость готового изделия зависит также от толщины стенок и заполнения. Толстая деталь из «гибкого» состава может гнуться гораздо меньше тонкой из того же материала.

8. PA: полиамиды, или nylon

PA6, PA12, PA11 и другие рецепты различаются. Полиамиды полезны для износостойких технических деталей, но чувствительны к влаге; нужна подходящая сушка и сухая подача. Незаполненный PA может сильно коробиться. [Справка Prusa о полиамиде](#).

Идеи: втулки для малых механизмов; шестерни учебных конструкций; направляющие; трущиеся вставки; гибкие крепёжные элементы; небольшие рычаги; шарнирные детали; приспособления для сборки; кабельные зажимы; модели механических узлов; детали радиоуправляемых моделей; износостойкие прототипы.

Что проверить: точное семейство, температуру печати, требования к камере и сушке, поверхность стола, изменение размеров после поглощения влаги. AMS 2 Pro с пределом 65 °C не заменяет сушилку, если конкретному PA нужна более высокая температура. Для

первых игровых наборов PA обычно добавляет сложность без нужной выгоды.

9. PC и PC Blend — для сложных технических задач

Поликарбонатные составы интересны теплостойкостью и механикой, но требуют высоких температур и контроля усадки. PC Blend одного производителя не равен чистому PC другого. [Справка Prusa о PC](#).

Идеи: технические корпуса; термонагруженные прототипы в пределах испытанного режима; сборочные приспособления; прочные монтажные детали; испытательные рычаги; рамки; защитные кожухи; крепления для оборудования; рабочие макеты; инструменты для позиционирования; детали механизмов; прозрачные технические образцы, если рецепт допускает.

Для P2S: возможность зависит от рецепта и размера детали. Сравни требования катушки с пределами хотенда, стола и отсутствием активного нагрева камеры. Большая деталь способна оказаться непрактичной даже при допустимой температуре сопла. Сначала тестировать малую геометрию, затем реальную деталь.

10. PP — полипропилен

Полезен малой плотностью, химической стойкостью и способностью отдельных конструкций к многократному изгибу. Сложности — коробление, сцепление со столом и склеивание. Свойства конкретной печатной петли всё равно требуют испытания. [Справка Prusa о PP](#).

Идеи: опытные крышки с гибкой перемычкой; контейнеры технического назначения; химически стойкие прототипы; лёгкие вставки; повторно изгибаемые язычки; защитные кожухи; органайзеры; лабораторные макеты без специального допуска; детали для влажной среды; лёгкие ремешковые фиксаторы; тестовые шарниры; плавающие демонстрационные детали.

Что нужно сверх катушки: подходящая печатная поверхность, профиль и процедура крепления. Обычный суперклей часто не решает соединение PP. Для стартовой эстетической линейки PLA проще; PP изучается под конкретную конструкцию.

11. PET и PET-композиты

PET и PETG не взаимозаменяемы. PET-филамент может быть незаполненным или, например, PET-CF с иными требованиями. Общее происхождение названия с бутылочным пластиком не означает, что измельчённая бутылка прямо пригодна для загрузки в P2S.

Идеи: технические вставки; жёсткие сборочные приспособления; держатели; направляющие; монтажные рамки; малые корпуса; позиционирующие шаблоны; проверяемые нагруженные прототипы; геометрически стабильные детали; технологические лотки.

Рецепт выбирают по TDS. В матрице Bambu отдельно перечисляются PET и PET-CF; совместимость одного варианта нельзя распространить на все марки. [Руководство Bambu по филаментам](#).

12. HIPS — отдельный материал и специальные поддержки

HIPS — ударопрочный полистирол. Помимо моделей и макетов может использоваться как растворяемая поддержка при совместимой комбинации материалов. Растворение лимоненом — отдельная химическая операция; запах цитруса не является подтверждением безопасного обращения. [Справка Prusa о HIPS](#).

Идеи: лёгкие макеты; модели для покраски; демонстрационные корпуса; декоративные оболочки; реквизит; опытные поддержки для сложной геометрии; испытательные образцы; масштабные модели.

Для старта: обычно не нужен. Сначала освоить обычные поддержки и проектирование под печать, затем оценить, действительно ли растворяемая поддержка решает задачу лучше разборной модели.

13. PVA и BVON — водорастворимые поддержки

Это специальные материалы для поддержек, чувствительные к влаге. Совместимость по температуре, сцеплению и подаче проверяется для выбранной пары. В одном сопле особенно важна достаточная очистка между материалами. [Справка Prusa о PVA/BVON](#).

Идеи: сложные нависающие формы; внутренние геометрии с доступом воды; прототипы органических моделей; малые инженерные макеты; художественные детали со сложной нижней поверхностью; опытные печати, где обычные поддержки трудно удалить.

Доступ воды внутрь модели и возможность удалить остатки должны быть предусмотрены заранее. «Support for PLA» не обязательно растворяется в воде: есть отделяемые поддержки. Не используйте название категории как инструкцию по удалению.

14. PVB — декоративные детали с особой обработкой

Отдельный полимер; Prusament PVB допускает сглаживание IPA, даёт интересные полупрозрачные поверхности, но имеет ограничения по нагреву и влаге. Сглаживание округляет кромки и уменьшает мелкую детализацию. [Материал Prusament PVB](#).

Идеи: декоративные вазы со вставкой для воды; рассеиватели для маломощного холодного LED после проверки температуры; световые объекты; украшения; реквизит; полупрозрачные оболочки; арт-предметы; декоративные крышки; витринные элементы.

IPA как растворитель PVB одновременно объясняет, почему не стоит протирать такую готовую деталь спиртом по привычке. До химической обработки полезно оценить, достаточно ли удачной ориентации и механической отделки.

15. Композиты CF/GF: основа плюс короткие волокна

CF — углеродные, GF — стеклянные волокна. PLA-CF, PETG-CF, PA-CF, PC-CF — разные материалы: свойства основы сохраняют значение. Волокна могут повысить жёсткость и стабильность размеров, но не гарантируют лучшую ударную стойкость или связь слоёв. Это не непрерывный углепластик. Нужны подходящее износостойкое сопло и контроль обработки. [Справка о волокнистых композитах](#).

Идеи: жёсткие шаблоны; сборочные приспособления; рамки; технические корпуса; держатели; позиционирующие опоры; детали учебных механизмов; декоративные технические поверхности; прототипы инструментов; небольшие конструкционные элементы после испытаний.

Для открытых игровых поверхностей, которые постоянно трогают, сначала проверь фактуру, износ и отсутствие неприятных выступающих волокон. Обрабатывать волокнистые детали следует с контролем пыли. На 0,2 мм такие материалы не являются разумным стартом; размер и совместимость сопла смотрят по конкретной марке.

16. Специальные функциональные рецепты

ГРУППА	ЧТО МЕНЯЕТСЯ	ИДЕИ ПРИМЕНЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЕ
ESD / dissipative	Электрическое сопротивление поверхности	Оснастка для электроники; требует измерения и подтверждённых условий
Conductive	Возможность проводить ток в ограниченном режиме	Эксперименты с датчиками и проводящими геометриями; не замена медной проводки
FR / flame retardant	Поведение в огневом испытании конкретного состава	Специальные корпуса по требованиям проекта; сертификат сырья не подтверждает любое изделие
LW / foaming	Вспенивание и снижение плотности	Лёгкие модели, реквизит, радиоуправляемые аппараты; нужен отдельный профиль
Magnetic-filled	Магнитные или ферромагнитные наполнители	Декоративные и исследовательские образцы; не равнозначны неодимовому магниту
Metal-filled decorative	Металлический порошок в связующем	Тяжёлые декоративные фигуры и медальоны; изделие остаётся композитом
Metal FFF for debinding/sintering	Печатная заготовка с металлическим наполнителем	Отдельный промышленный процесс удаления связующего и спекания

Вспенивающийся colorFabb LW-PLA увеличивает объём расплава в зависимости от температуры: простая подстановка обычного PLA-профиля нарушает подачу и размеры. [Объяснение производителя LW-PLA.](#)

Эти группы включены для понимания рынка. Выбирай их, когда можешь сформулировать измеряемый эффект: массу, сопротивление, поведение под нагревом. Маркетингового обещания для этого недостаточно.

17. POM и высокотемпературные PEEK/PEKK/PEI/PPS

POM интересен трением и размерными техническими применениями, но сложен по адгезии и тепловому процессу; для домашнего старта он не нужен. Высокотемпературные PEEK, PEKK и PEI требуют другой категории оборудования.

Например, PEI 1010 у 3DXTECH требует высокотемпературного хотенда и нагретой камеры, выходящих за возможности P2S. [Требования PEI 1010](#).

Идеи для понимания области: высокотемпературная оснастка; специальные технические компоненты; промышленное прототипирование; детали с подтверждённой химической стойкостью. Их присутствие в каталоге не делает их подходящей покупкой для этой мастерской.

Не смешивай PEI-филамент с PEI-покрытием пластины: название полимера одно, назначение совершенно разное. Для PPS/PPA и заполненных рецептов проверяются требования конкретного производителя; нельзя заключить совместимость только по наличию закалённого сопла.

Практика по семействам

Составь четыре карточки задач: домашняя игра, прозрачный декоративный объект, гибкая ножка коробки, наружная табличка. Выбери материал-кандидат, альтернативу и испытание, которое поможет сравнить их.

Результат: выбранные семейства связаны с условиями работы предмета. Ты умеешь отказаться от дорогого материала, если его преимущество не относится к задаче.

Урок 07. Декоративные составы: фактура, цвет и ощущение предмета

Декоративный эффект накладывается на свойства основы. Мраморный PLA сохраняет ограничения PLA по нагреву; прозрачный PETG сохраняет требования PETG к печати. Слова «камень», «шёлк» и «металл» часто описывают внешний вид, а не материал в обычном бытовом смысле.

РАЗНОВИДНОСТЬ	ВНЕШНИЙ ЭФФЕКТ	ИДЕИ ПРИМЕНЕНИЯ	ЧТО ПРОВЕРИТЬ
PLA Basic, однотонный	Ровный цвет, заметная структура линий	Фишки, вставки, корпуса, контрастные символы, макеты	Стабильность оттенка и поверхности в выбранном профиле
PLA Matte	Приглушённые блики, мягкое визуальное впечатление	Шашки, домино, маджонг, шахматы, коробки, настольные аксессуары	Прочность тонких выступов, следы касания и шлифовки
Silk / Silk+	Сильный направленный блеск	Декоративные фигуры, фишки нард, медальоны, ручки, орнаменты	Поверхность при выбранной скорости, шов, связь слоёв
Pearl / перламутр	Мягкий перелив	Светлые игровые фигуры, украшения, декоративные крышки, акцентные вставки	Является ли это отдельной рецептурой или названием оттенка Silk
Marble / мрамор	Крапинки и имитация камня	Шахматные фигуры, фишки, подставки, мини-вазы, крышки	Наполнитель, минимальное сопло, вид мелких символов
Stone / granite / rock	Каменная фактура разной выраженности	Лотки, таблички, подставки, декоративные коробки, крупные фигуры	Состав и износ, а не только фотографию товара
Wood-filled	Древесный наполнитель и соответствующая поверхность	Крышки, ручки, рамки, декоративные панели, корпуса игр	Совместимость с соплом и AMS, засоры, отделку пробником
Cork-filled	Пробковый декоративный композит	Обложки, тактильные вставки, подставки, декор, пробные панели	Реальную упругость и плотность; не считать обычной пробкой
Metallic-colored	Цвет металла без большой доли металлического порошка	Орнаменты, фигуры, надписи, декоративные шайбы, реквизит	Отличить пигментированный пластик от metal-filled
Bronze/copper/brass/steel-filled	Настоящий металлический порошок в полимере, возможна полировка	Статуэтки, медальоны, премиальные фишки, ручки, арт-объекты	Массу, износ оборудования, способ обработки и стоимость

РАЗНОВИДНОСТЬ	ВНЕШНИЙ ЭФФЕКТ	ИДЕИ ПРИМЕНЕНИЯ	ЧТО ПРОВЕРИТЬ
Glitter / Sparkle	Мелкие отражающие частицы	Фишки, украшения, праздничный декор, крышки, буквы	Частицы и минимальный диаметр сопла
Galaxy	Цветная или блестящая неоднородность	Большие фигуры, подставки, декоративные корпуса, жетоны, вазы	Рецепт: название не задаёт единый состав
Glow-in-the-dark	Послесвечение после освещения	Маркеры, игровые акценты, декоративные звёзды, таблички, фигурки	Абразивность, яркость и длительность эффекта на образце
Fluorescent / neon	Яркая реакция на освещение, иногда УФ	Акцентные фишки, декоративные буквы, реквизит, вставки, выставочные модели	Это не обязательно послесвечение в темноте
Translucent / transparent	Светопропускание с видимой структурой	Крестики-нолики, крупные жетоны, крышки, световые объекты, декоративные блоки	Толщину, пузырьки, заполнение, оттенок на реальной детали
Rainbow / gradient	Последовательная смена цвета по длине нити	Высокие вазы, крупные фигуры, арт-объекты, серии жетонов, декоративные панели	Расход до перехода: маленькая деталь может остаться одноцветной
Dual / tri-color coextrusion	Несколько цветов в поперечном сечении нити	Вазы, шахматные фигуры, орнаменты, игрушечные модели, подвески	Зависимость вида от ориентации и положения катушки
Temperature / UV color-change	Изменение цвета при воздействии	Демонстрационные образцы, игровые акценты, макеты, декор	Порог, ресурс и повторяемость; не считать измерительным прибором
Foaming / LW	Вспененная матовая поверхность и меньшая плотность	Лёгкий реквизит, макеты, декоративные оболочки, модели, арт-объекты	Специальный режим подачи и фактические размеры

Три эффекта, которые лучше изучать небольшими образцами

Матовый. На текстурированной пластине нижняя сторона получит ещё одну фактуру. Верхняя, боковая и нижняя поверхности будут различаться даже при одном цвете. Оценивать катушку стоит на фишке реального размера, а не только на тонком образце.

Шёлковый. Блики подчёркивают направление линий и неодинаковую скорость на разных участках. На округлой фигуре эффект может быть красивым, а на плоской крышке — неравномерным. Не повышай температуру только ради блеска без проверки диапазона производителя и качества геометрии. Отдельно испытай тонкую шейку фигуры.

Полупрозрачный. Материал пропускает свет, но межлинейные границы, воздушные пустоты, пузырьки и заполнение рассеивают его. Увеличение числа стенок изменяет и цвет, и светопропускание. Сравни плашки разной толщины и затем реальную форму. Для

светового объекта дополнительно измеряют нагрев от выбранного LED и проверяют конструкцию; свечу или горячую лампу рядом с обычным PLA/PETG не планируют.

Наполнители и оборудование

Не каждый материал, названный «мраморным», одинаково абразивен, и не каждый декоративный рецепт требует одинакового диаметра. Например, у Bambu PLA Marble есть собственная таблица совместимости, а у Bambu PLA Wood — другая; решение принимают по конкретному SKU. [PLA Marble Bambu](#), [PLA Wood Bambu](#).

У Bambu PLA Glow рекомендовано закалённое сопло. Износ может касаться не только отверстия сопла, поэтому оценивай весь тракт и указания по AMS. [PLA Glow Bambu](#).

Metal-filled декоративные пластики могут давать вес и полируемую поверхность. ColorFabb описывает отдельные методы обработки bronzeFill/copperFill/brassFill/steelFill. Не переносить их автоматически на просто «золотой» Silk. [Обработка металлических композитов colorFabb](#).

Восемь идей под твои игры

1. Шашки: матовые контрастные цвета, фаска, приятный низ, одинаковый вес.
2. Нарды: Matte для основной линейки; Marble или Pearl для экспериментальной пары; вставки поля отдельно.
3. Домино: ровный однотонный корпус, контрастные точки с минимальным числом смен.
4. Маджонг: светлая основа, цветные символы сверху либо отдельная аккуратная вставка; читаемость важнее количества цветов.
5. Шахматы: матовая палитра, устойчивое основание, закреплённый груз, фетр; Marble как отдельная проба.
6. Крестики-нолики: PLA для геометричного набора; полупрозрачный PETG как отдельный эффект с проверкой толщины.
7. «4 в ряд»: корпус из пригодного жёсткого материала, диски разных цветов отдельными партиями; проверить плавность прохода через пазы.
8. Дженга: одинаковые размеры и трение всех брусков, скруглённые кромки. Красивый цвет не устраняет проблемы скольжения и массы.

Практика: библиотека физических образцов

Для каждого состава напечатай один одинаковый образец с плоскостью, скруглением, рельефным текстом и участком нижней поверхности. Запиши цвет, бренд, семейство, партию, профиль, слой и дату. Фотографируй при одном освещении рядом с нейтральной картой. Сравни образец сразу и после нескольких дней обычного обращения.

Результат: ты выбираешь пластик по своему образцу, понимаешь цену эффекта в сложности процесса и можешь показать разницу между поверхностями одного изделия.

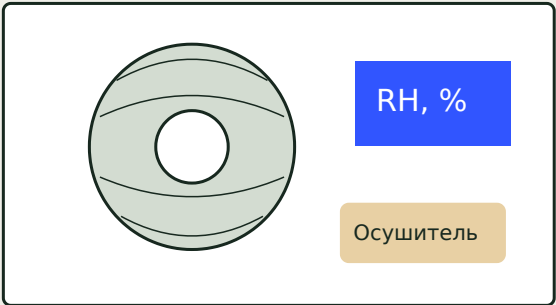
Часть 3. Филамент: покупка, хранение, сушка и учёт

Урок 08. Влажность: что происходит и как организовать хранение

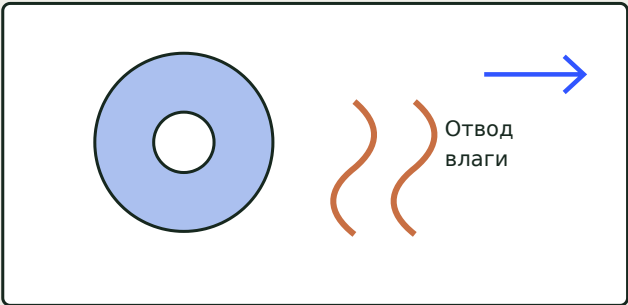
Четыре разных состояния

Новая запечатанная катушка ещё не означает сухой материал. **Низкая влажность воздуха** не сообщает точное содержание воды внутри полимера. **Сухой бокс** сдерживает новое увлажнение. **Активная сушка** удаляет влагу из материала в подходящем температурном режиме. Эти задачи связаны, но не взаимозаменяемы.

Хранение и сушка решают разные задачи



Сдерживает новое увлажнение
Датчик показывает состояние воздуха



Сушит материал в заданном режиме
Температура и время — для точного SKU

Влага способна вызывать пузырьки, шероховатость, нестабильное течение, нити и ухудшение свойств детали. Однако одни нити не доказывают влажность: причины бывают в температуре, подаче и траекториях. Нужна проверка, а не автоматическое повышение ретракта.

Важна чувствительность конкретного состава. Для PLA условия обычно менее требовательны, чем для водорастворимых поддержек или многих полиамидов, но декоративные добавки тоже меняют поведение. Состав, время хранения, влажность помещения и состояние упаковки определяют, как часто потребуется сушка.

Система хранения для небольшого набора

ГДЕ НАХОДИТСЯ МАТЕРИАЛ	КАК ХРАНИТЬ	ЧТО КОНТРОЛИРОВАТЬ
Неоткрытый запас	Сухой шкаф, целая заводская упаковка	Повреждение пакета, маркировку, дату покупки
Открытый PLA/PETG	Закрытый пакет или бокс с уплотнением и осушителем	Состояние шва/клапана, воздух внутри, фиксацию конца

ГДЕ НАХОДИТСЯ МАТЕРИАЛ	КАК ХРАНИТЬ	ЧТО КОНТРОЛИРОВАТЬ
Четыре рабочих цвета	Закрытый AMS с исправным осушителем	Влажность, остаток на катушке, свободное вращение
Чувствительный материал при печати	Подходящая сушилка или сухой бокс с подачей	Сухость материала и отсутствие лишнего сопротивления
Неидентифицированные остатки	Отдельно до выяснения состава	Не смешивать с известными материалами и рециклом

Герметичный контейнер: ищи уплотнение по периметру, равномерный прижим крышки и достаточные внутренние размеры. Например, у серии IRIS WeatherPro есть контейнеры с прокладками в крышках. Это пример конструкции, а не проверенная цена или доступность в РФ. [IRIS WeatherPro](#).

Пакеты: выбирай достаточно прочный пакет, который вмещает катушку без натяжения клапана. Вакуум удобен для компактного хранения и оценки протечки, но сам по себе не заменяет сушку полимера. Обычные застёгивающиеся пакеты тоже имеют ресурс: проверяй, не образовалась ли дырка у края катушки.

Осушитель: хранить в закрытой воздухопроницаемой ёмкости или пакете, чтобы гранулы не попадали в подающий тракт. Индикатор показывает состояние осушителя, но не измеряет воду в филаменте. Способ регенерации выбирается по паспорту осушителя; контейнер из PLA нельзя вместе с гранулами бездумно ставить на высокую температуру.

Гигрометр: показывает воздух. У простых датчиков ограничены точность и работа на низких значениях. Сравни два датчика рядом перед использованием; не воспринимай разницу 1–2 процентных пункта как доказанное изменение материала.

Для сухого хранения Bambu PLA Matte изготовитель указывает влажность ниже 20% RH. Это ориентир для выбранной катушки и среды хранения, а не универсальная граница, после которой любой полимер немедленно портится. [Условия PLA Matte](#).

Когда открываешь катушку

1. Сверь семейство, бренд, название цвета, диаметр 1,75 мм и номер партии.
2. Запиши дату открытия и исходную массу, если ведёшь учёт.
3. Осмотри намотку, повреждения обода и свободный конец.
4. Не отпускай конец нити: сразу фиксируй в отверстии катушки или подходящей клипсе.
5. Сохрани упаковку, документы и рекомендацию сушки.
6. Назначь постоянное место хранения и подпиши катушку.

Частая механическая ошибка — свободный конец проходит под соседним витком. Внешне катушка может выглядеть аккуратно, а при печати образуется затяжка. Это отличается от «плохого профиля».

Практика

Подготовь один бокс и два пакета. Положи сухой осушитель, проверь закрытие, сравни датчики и наблюдай показания после нескольких открываний. Не пытайся по этим данным вычислить точную влажность пластика.

Результат: каждая открытая катушка имеет известное место хранения, фиксированный конец и запись с датой.

Урок 09. Активная сушка и возможности AMS 2 Pro

Что уже умеет твой комплект

AMS 2 Pro сушит до 65 °C. На P2S один модуль может сушить от питания принтера в простое. Для одновременной печати и сушки требуется отдельное питание AMS; поддержка P2S указана с прошивки 01.02.00.00. При одновременной работе температура сушки автоматически ограничивается. Для полноценного более горячего цикла нужно убрать материалы, которые могут размягчиться, например PLA при сушке PETG.

[Официальная инструкция сушки AMS 2 Pro.](#)

Из этого следует решение для старта: **отдельная сушилка не обязательна только потому, что куплен P2S Combo**. Сначала попробуй встроенную сушку в простое. Дополнительная сушилка полезна, если принтер занят, катушек больше четырёх, нужно сушить другую группу отдельно или требуется режим выше возможностей AMS.

Проверяй фактическую прошивку, комплектацию адаптером и доступные режимы. Даже внешний адаптер не означает, что в смешанном наборе можно одновременно сушить все материалы на максимуме. Режим с вращением катушек имеет отдельные требования к загрузке нити — следуй инструкции, не вращай вручную катушку с натянутой подачей.

Сушка по конкретной марке

КАТУШКА-ПРИМЕР	РЕЖИМ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ	ЧТО ЭТО ОЗНАЧАЕТ ДЛЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ
Bambu PLA Matte	55 °C, 8 часов	Температурно доступно AMS 2 Pro; проверить ограничения катушки и режима
Bambu PETG Translucent	65 °C, 8 часов	У верхней границы AMS 2 Pro; не держать вместе с PLA в полном цикле
Другой PLA/PETG	По инструкции выбранного SKU	Не переносить режим только по совпадению семейства
TPU	По инструкции выбранного SKU	Помимо сушки нужна совместимая схема подачи
PA/PC и композиты	По TDS/инструкции конкретного рецепта	Если требуемая температура выше 65 °C, AMS 2 Pro не выполнит этот режим
PVA/BVOH	По инструкции и с сухой подачей	Особо тщательно ограничивать увлажнение между операциями

[Рекомендации PLA Matte](#), [рекомендации PETG Translucent](#).

Это примеры точных марок. Их числа не являются таблицей оптимальной сушки всех полимеров. Сушка нужна не для получения самой низкой цифры на датчике, а для стабилизации материала без перегрева и деформации катушки.

Почему важна конструкция сушилки

Проверь достижимую температуру, равномерность прогрева, циркуляцию и удаление влажного воздуха, допустимые размеры катушек, работу таймера и возможность подачи. Нагрев закрытого воздуха без понятного отвода влаги ещё не подтверждает хорошую сушку всей катушки. Изучай инструкцию конкретного прибора.

Примеры категорий: SUNLU FilaDryer S4 рассчитан на четыре катушки и температуру до 70 °C; Creality Space Pi Plus — двухкатушечный вариант того же температурного класса. Они не заменяют высокотемпературную сушилку для состава, которому нужен более горячий цикл. [SUNLU S4](#), [сравнение сушилок Creality](#).

Бытовая духовка может перегревать и неравномерно поддерживать низкую температуру; её показание не подтверждает температуру катушки. В учебном процессе выбирай предназначенное для филамента устройство. Температуру и совместимость корпуса катушки проверяют отдельно от температуры самого материала.

Процедура проверяемой сушки

1. Сохрани небольшой печатный образец до сушки и его проект.
2. Выбери режим производителя; проверь, что устройство и катушка его допускают.
3. Суши по инструкции, не меняя одновременно рецептуру профиля.
4. Перенеси катушку в сухое хранение или сразу напечатай тот же образец.
5. Сравни поверхность, нити, стабильность подачи и звук экструзии.
6. Запиши режим и результат. Если улучшения нет, продолжи диагностику остальных причин.

Взвешивание до и после сушки может быть дополнительным наблюдением, но домашние весы, остатки на катушке и небольшая потеря массы часто не позволяют уверенно измерить воду. Не заменяй этим весь контроль.

Результат: ты отличаешь хранение от сушки и можешь доказательно решить, нужна ли отдельная сушилка сейчас.

Урок 10. Катушки, AMS, палитра и разумная первая покупка

Совместимость состоит из двух частей

Пластик может быть пригоден для сопла, а катушка — неудобна для AMS. Проверяй наружный диаметр, ширину, состояние обода, массу, тип материала катушки и рекомендации AMS. Слишком широкая катушка или деформированный край способны помешать вращению.

Картонные катушки отличаются. Некоторые дают пыль или повреждаются роликами; другие имеют подходящую обработку края. Кольцо-адаптер увеличивает диаметр и не всегда решает проблему. Если нужна перемотка, сохрани натяжение и контроль свободного конца; ошибочная перемотка создаёт новую неисправность.

RFID у совместимого Bambu-филамента упрощает определение катушки. Это не измерение влажности, не гарантия точности расхода и не доказательство качества любой выбранной настройки. При материале другого бренда указывай тип и цвет вручную и используй его собственный либо проверяемый подходящий профиль.

Поэтапная палитра для «Грёзы»

Первая ступень — 1-2 кг: одна катушка обычного PLA для освоения процесса; ещё одна контрастного цвета для первых цветных деталей. Можно сразу учиться на PLA Matte с соответствующим профилем. Basic пригодится как сравнительный образец, но не является обязательной отдельной покупкой.

Вторая ступень — до 4-6 рабочих цветов: нейтральные светлый и тёмный плюс две цветовые пары. Покупать запас по 2-3 катушки каждого оттенка разумно после первых повторяемых образцов.

Пример одной линейки Bambu PLA Matte: Ivory White 11100, Charcoal 11101, Sakura Pink 11201, Scarlet Red 11200, Ice Blue 11601, Mandarin Orange 11300. Это вариант палитры, а не проверенная сегодня корзина российских продавцов. [Официальная палитра PLA Matte](#).

Пары для эксперимента: молочный + графит; розовый + красный; голубой + оранжевый. Позже — оливковый + кремовый и бордовый + голубой, если найдётся подходящий рецепт и оттенок. В AMS помещаются четыре катушки одновременно, но запас палитры может быть шире.

Третья ступень — небольшие специальные пробы: Marble, Silk/Pearl, полупрозрачный PETG. Проверяй их по очереди. Wood, Glow и CF/GF добавляй после понимания сопел, трактов и причины покупки. Большой склад пластика для обучения не нужен.

Как покупать без накопления случайных катушек

Сначала выбери линейку, стабильный источник поставки и конкретные цвета. Проверь вес **самого филамента**, диаметр, тип катушки, полный артикул, профиль, TDS и инструкцию. Дешёвая упаковка 500 г может выглядеть как выгодная цена за 1 кг. Для пары цветов сравни физические образцы при дневном и вечернем освещении.

Большой заказ цветов для изделия лучше делать после теста. Сохраняй партии: одинаковое название оттенка не гарантирует неразличимость разных поставок. При замене бренда заново проверяются не только цвет, но и усадка, трение, посадки и отделка.

Паспорт катушки

ПОЛЕ	ПРИМЕР ЗАПИСИ
Идентификатор	PLA-MATTE-IVORY-001
Бренд / семейство / SKU	Bambu / PLA Matte / 11100
Партия и источник	С этикетки и заказа
Дата открытия	Дата первого использования
Масса катушки пустой / текущая	В граммах; неизвестную тару не придумывать
Сушка	Дата, прибор, температура, продолжительность
Хранение	AMS или подписанный бокс
Профиль	Название и версия проверенного профиля
Образцы и ограничения	Ссылки на фотографии и заметки

Практика

Собери план из двух первых катушек и списка следующей ступени. Для каждой укажи, какой учебный образец или изделие она нужна напечатать. Создай паспорта без выдуманных масс и неподтверждённых режимов.

Результат: покупка привязана к заданиям, AMS получает механически совместимые катушки, а остатки можно найти и учесть.

Часть 4. Печать в Bambu Studio: настройки и проверяемый процесс

Урок 11. Подготовка проекта и первый слой

Четыре набора данных

Принтер задаёт машину и сопло. **Пластина** задаёт соответствующую поверхность и связанные условия. **Филамент** описывает материал, температуры, охлаждение и ограничения подачи. **Процесс** описывает слои, стенки, заполнение, поддержки и другие условия печати.

Ошибка в одном из наборов способна испортить результат, даже если остальные выглядят правильно. Выбранный красивый цвет в интерфейсе не подтверждает тип физической катушки. После установки сопла 0,2 мм физическая машина и выбранный профиль должны совпадать.

От импорта до запуска

1. Создай новый проект; выбери P2S и фактическое сопло.
2. Укажи соответствующий тип пластины. Для сторонней поверхности проверь, какой профиль рекомендует её изготовитель.
3. Импортируй модель. Проверь габариты и число частей.
4. Разверни модель с учётом лицевой поверхности, нагрузки и поддержек.
5. Добавь материалы проекта, назначь их объектам или частям.
6. Выбери готовый профиль процесса для первого сравнения. Сохрани изменения отдельным пользовательским профилем.
7. Выполни нарезку. Просмотри траектории по слоям, типам линий и цветам.
8. Проверь первые слои, верх, тонкие символы, мосты, поддержки, размещение башни и запас места.
9. Сверь время, массу модели, поддержки и продувку. Сохрани проект 3MF.
10. При отправке проверь соответствие виртуальных материалов фактическим слотам AMS.

[Общее руководство Bambu Studio.](#)

Проверка первого слоя

Хороший слой состоит из закреплённых линий без крупных зазоров и выступающих борозд. Если материал собирается клубком вокруг сопла, запуск лучше остановить и выяснить причину. Подходящий первый слой — основа; заполнение 100% не исправит грязную поверхность.

Порядок проверки: правильная пластина → очистка по её инструкции → правильный материал и температура → нормальная подача → штатная калибровка → оценка геометрии. На P2S не начинай со случайного изменения Z-offset по чужому видео. Сначала используй процедуру своей модели принтера. [Оптимизация первого слоя P2S](#).

Для совместимого PEI регулярная мойка подходящим средством с тщательным смыванием может лучше удалить жир, чем растирание его спиртом. Пластина должна высохнуть. Не используй ацетон, абразивную губку или агрессивный очиститель без разрешения её производителя. Для сторонней Nemesis инструкция покрытия особенно важна.

Клей для стола иногда повышает удержание, иногда служит разделительным слоем для материала, который держится чрезмерно сильно. Не путай его с клеем для сборки деталей. Не наноси универсально на каждую печать, если профиль и поверхность этого не требуют.

Практика

Создай в слайсере или CAD простую плашку 30 × 30 × 2 мм. Это учебная геометрия, которую можно сделать примитивом. Напечатай одну плашку, затем три в разных частях стола без других изменений. Оцени низ, края и верх.

Результат: у тебя есть сохранённый проект; первый слой держится, а различия поверхности можно связать с положением или процессом.

Урок 12. Главные настройки: смысл, эффект и компромиссы

Высота слоя и сопло

Меньший слой помогает наклонным поверхностям и вертикальному рельефу, но увеличивает число слоёв и потенциальных смен материала. Для плоской фишки уменьшение слоя иногда даёт меньше пользы, чем правильный верх или низ. Для округлой шахматной фигуры эффект заметнее.

Пример учебных сравнений на сопле 0,4 мм: штатные профили 0,20 и 0,12 мм, если доступны для твоей конфигурации. Не вводи произвольную высоту вне поддерживаемого диапазона профиля. Переменная высота слоя позволяет уделить больше проходов сложным участкам, сохранив более крупный слой на простых стенках.

Сопло 0,2 мм уменьшает возможную ширину мелких траекторий. Оно может помочь буквам и символам маджонга, но увеличивает число линий и чувствительность к загрязнению. Сопло 0,6 мм полезно для крупных деталей и ряда наполненных составов; прирост скорости зависит от хотенда, материала, геометрии и ограничения расхода. Универсальных множителей времени для диаметров нет.

Стенки, заполнение, верх и низ

ПАРАМЕТР	НА ЧТО ВЛИЯЕТ	КАК ВЫБИРАТЬ
Wall loops / число стенок	Оболочка, прочность, отверстия, герметичность в сочетании с другими условиями	Сначала оценить геометрию и реальную толщину оболочки
Infill density	Внутренние опоры, масса, время	Увеличивать ради конкретной функции, а не по привычке
Infill pattern	Направления и характер внутренних траекторий	Сравнить поддержку верхнего слоя, время и нагрузку
Top layers / thickness	Сплошная верхняя поверхность	Нужна достаточная толщина над заполнением
Bottom layers / thickness	Нижняя оболочка	Учитывать нагрузку, низ и возможную фурнитуру
Line width	Геометрия линий, тонкие элементы, оболочки	Начать со штатных значений выбранного сопла

Условная учебная коробочка может стартовать со слоя 0,20 мм, трёх стенок, заполнения 15%, пяти верхних и четырёх нижних слоёв. Это **пример для эксперимента на обычном PLA**, не рецепт всех коробок. Маленькая фишка из-за размера может почти целиком состоять из оболочки: процент заполнения тогда мало меняет массу.

100% заполнение не убирает слоистость и не гарантирует максимальную надёжность. Для премиального ощущения иногда выгоднее предусмотренный груз, чем печать массивного объёма. Внешний рисунок может просвечивать через тонкую оболочку — это особенно заметно у светлых и полупрозрачных материалов.

Скорость и объёмный расход

Скорость перемещения головки в мм/с — не объём пластика. Приблизённо:

расход, мм³/с $\approx$ ширина линии, мм $\times$ высота слоя, мм $\times$ скорость, мм/с.

Для линии 0,45 мм, слоя 0,20 мм и скорости 100 мм/с получается около 9 мм³/с. Это упрощённая оценка сечения линии. При удвоении слоя на той же скорости требуется примерно вдвое больший поток. Ограничение максимального объёмного расхода в профиле материала помогает не требовать от хотенда слишком многого.

Время также зависит от ускорений, малых элементов, охлаждения, поддержек и смен материала. Высокая цифра скорости на коробке принтера не описывает время готового игрового набора. Для первых работ оставь штатный режим скорости, прежде чем пробовать ускоренные режимы.

Температура, охлаждение и время слоя

Низкая температура может ухудшить течение и сцепление; слишком высокая — изменить форму, вызвать вытекание и ухудшить отдельные поверхности. Увеличение температуры без проверки диапазона материала не является универсальным способом исправить скорость.

Обдув помогает сохранять форму, особенно на маленьких элементах и мостах. При этом охлаждение и межслойное соединение должны быть сбалансированы. Начни с точного профиля материала. Маленькая верхушка фигуры может не успеть остыть: полезны управление минимальным временем слоя и одновременная печать нескольких подобных деталей.

Для PLA/PETG/ASA воздушный режим различается. Не переноси указания по двери и крышке с P1S на P2S автоматически: у P2S собственная система переключения воздушного потока. Учитывай инструкцию принтера и материалы в текущем проекте.

Шов и верхняя поверхность

Шов возникает там, где начинается или заканчивается замкнутый контур. Случайный шов рассеивает заметные точки, но делает их видимыми на всей поверхности. Размещённый шов можно увести на заднюю сторону фигуры или в конструктивный угол. Результат проверяется в Preview и на детали.

Рисунок верхних линий, их направление и скорость меняют блики. Ironing — дополнительный проход с малой подачей для сглаживания верхних поверхностей; он добавляет время и требует настройки, иногда ухудшая вид. На Silk это особенно стоит проверять образцом. [Механика ironing в документации OrcaSlicer](#).

Fuzzy skin создаёт намеренную шероховатость стенок. Он влияет на размеры и посадки; не включай его на пазах, символах и соединениях без оценки. Для красивого игрового предмета управляемая фактура часто полезнее случайных следов недонастройки.

Практика: таблица сравнения

Напечатай одну и ту же фишку с двумя штатными высотами слоя. Затем сравни два варианта числа стенок при прежнем слое. Для каждого запиши время, массу, вид шва, верх, низ и ощущение в руке. Между запусками не меняй материал и температуру.

Результат: ты можешь выбрать настройку и объяснить, какой конкретный эффект оправдывает дополнительное время.

Урок 13. Калибровка: что измеряется и когда она нужна

Не смешивай три настройки подачи

Flow ratio корректирует общий объём экструзии: недолив даёт зазоры, избыток — выступающие линии и накопление материала. Это настройка материала и процесса, а не средство подгонки каждого отверстия. [Калибровка Flow Rate в Bambu Studio](#).

Flow dynamics / pressure advance компенсирует изменение давления при ускорении и замедлении. Проявления часто заметны на углах и переходах. Параметр K нельзя брать как универсальную константу «для всего PLA». Он относится к комбинации оборудования, материала и условий. Bambu отдельно предупреждает о сложностях автоматической калибровки на сопле 0,2 мм. [Калибровка Flow Dynamics](#).

Maximum volumetric speed ограничивает максимальный поток. Изменение Flow Ratio не увеличивает физическую способность хотенда плавить материал. Если поверхность ухудшается только на быстрых объёмных проходах, проверь расход, а не только общий множитель.

Рекомендуемый порядок

1. Исправный тракт и подходящая сухая катушка.
2. Чистая пластина и нормальный первый слой.
3. Правильные готовые профили машины, сопла и материала.
4. Штатная калибровка принтера после установки или перемещения, когда этого требует инструкция.
5. Автоматическая динамическая калибровка, если доступна для текущей конфигурации.
6. Оценка тестовой детали; при необходимости ручная калибровка Flow Ratio.
7. Проверка динамики подачи и скорости под конкретную задачу.
8. Отдельные испытания отверстий и сопряжений.

Автоматическая динамическая калибровка P2S не означает автоматическое измерение всех свойств материала и всех допусков модели. Сохраняй собственные проверенные профили с понятными названиями. Не калибруй влажную катушку или частично забитое сопло, чтобы затем компенсировать неисправность профилем.

Когда возвращаться к проверке

Новый бренд или рецепт; заметно другой оттенок с изменившимся поведением; другое сопло; изменение температуры или расхода; устойчивый дефект при нормальных исходных условиях. После обновления программ сначала сравни сохранённый

контрольный проект, если результат изменился. Не проводи полную калибровку перед каждой обычной фишкой без причины.

Как фиксировать эксперимент

Гипотеза: «Верх плашки имеет зазоры из-за недостаточной подачи». Исходные условия: сухой материал, проверенная пластина, тот же профиль. Изменение: один диапазон Flow Ratio штатной процедурой. Критерий: отсутствие зазоров без выступающих гребней. Подтверждение: повторная печать реальной детали, а не только калибровочной плашки.

Если отверстие стало меньше после изменения подачи, это полезное наблюдение, но не доказательство универсальной точности. Посадки проверяют отдельным образцом и исправляют геометрию или подходящую компенсацию.

Практика

Возьми удачный PLA-профиль. Сохрани контрольную плашку, затем при необходимости проведи штатную ручную калибровку Flow Ratio и напечатай плашку снова. Если исходник уже хорош, документируй это и переходи дальше: создавать проблему ради упражнения не требуется.

Результат: ты объясняешь различие общего объёма, динамики давления и предельного потока; можешь восстановить исходный профиль.

Урок 14. Ориентация, поддержки и сложные поверхности

Ориентация — решение по нескольким критериям

Сравни лицевую сторону, направление нагрузки, площадь контакта со столом, количество поддержек, время и доступность обработки. Самая низкая по высоте ориентация не всегда лучше. Сторона на пластине наследует её фактуру; сторона на поддержках получает следы контакта.

Для фишки можно сделать красивый текстурированный низ без ручной обработки. Для фигурки иногда выгоднее разделить основание и верхнюю часть, чем удалять поддержки с тонких выступов. Для большой крышки важны плоскостность и усадка. Отверстие, ориентированное горизонтально, может отличаться по форме от вертикального.

Мост, свес и поддержка

Мост соединяет два края. Свес расширяется относительно предыдущего слоя. Поддержка — временная конструкция под участком, который иначе не удаётся воспроизвести. «45 градусов» не является универсальным пределом: результат зависит от материала, геометрии, обдува, слоя и направления линий.

РЕШЕНИЕ	КОГДА ПОЛЕЗНО	ЧТО МОЖЕТ УХУДШИТЬ
Повернуть модель	Есть менее важная поверхность для контакта	Нагрузочное направление и размеры
Разделить модель	Можно спрятать стык и удобно собрать части	Время сборки, точность сопряжений
Добавить фаску вместо нижнего скругления	Нужно уменьшить зависающий участок	Меняет дизайн
Обычные поддержки	Широкие или регулярные контактные участки	Расход и следы на поверхности
Tree/organic-поддержки	Разрозненные свесы и сложные формы	Иногда не подходят большой плоской нижней поверхности
Поддержки только от стола	Нужен доступ и меньше контактов с моделью	Не все участки получают опору
Ручная окраска зон поддержек	Автоматическая генерация захватывает лишнее	Нужно внимательно проверить Preview
Другой материал интерфейса	Нужна более чистая отделяемая поверхность	Смены, продувка, совместимость и загрязнение основного материала

Контакт поддержки с деталью

Расстояние по Z и плотность интерфейса определяют компромисс между качеством нижней поверхности и удалением. Для того же материала слишком плотный контакт может приварить поддержку. При использовании совместимого отдельного материала интерфейса режим может отличаться. Не ставь расстояние в ноль по чужому рецепту без проверки пары материалов. [Поддержки в Bambu Studio](#).

PLA и PETG иногда применяют как отделяемый интерфейс друг для друга, но в одном сопле остаток второго материала способен ослабить основной объём. Для начала лучше отдельный проверенный support-материал или разборная конструкция. Смена вещества требует большей осторожности, чем смена цвета внутри одной PLA-линейки.

Brim, skirt и raft

Skirt — контур рядом с моделью; сам не держит её. **Brim** — дополнительная кайма, связанная с краем детали и увеличивающая удержание. **Raft** — подложка под модель; добавляет материал и меняет низ. Начни с правильной поверхности и профиля. Кайма не исправляет любой источник коробления.

Для тонких высоких предметов brim может быть полезен; после удаления оцени кромку. Для большой доски стоит ещё проверить материал, тепловые условия и конструкцию. Иногда разумнее разделить её на секции, чем бороться с усадкой широкой пластины.

Практика

Возьми модель с заметным свесом. Сравни три предварительных просмотра: исходная ориентация, поворот, разделение на части. Для каждого запиши расход, доступ к поддержкам и важные поверхности. Напечатай небольшой участок или уменьшенный учебный вариант, если уменьшение не уничтожает проверяемую геометрию.

Результат: выбранная ориентация обоснована, поддержки можно реально удалить, а следы не оказываются случайно на лицевой стороне.

Урок 15. Цвет, AMS и расход материала

Четыре способа получить несколько цветов

1. **Отдельные одноцветные детали.** Партия светлых фишек, затем тёмных. AMS для этого не обязателен.
2. **Отдельные вставки.** Корпус, символы и треугольники печатаются отдельно, затем собираются.
3. **Смена по высоте.** После основной детали печатается другой цвет. Возможна автоматическая смена; для подходящей задачи бывает достаточно предусмотренной паузы и ручной смены.
4. **Несколько цветов на одном слое.** Принтер многократно меняет подачу и очищает сопло. Здесь преимущество AMS в автоматизации особенно заметно, а отходы могут быть велики.

Поэтому число цветов — неполная характеристика. Двухцветная модель со сменой на сотнях слоёв может требовать больше времени и продувки, чем четырёхцветная с небольшим числом цветных слоёв.

Два цвета — три разных процесса

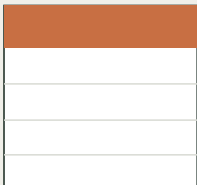
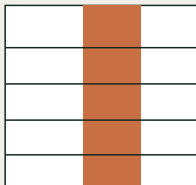
Отдельные детали	Смена по высоте	Цвет на каждом слое
		
Каждая партия одного цвета AMS не обязателен	Немного переходов Проверить укрывистость	Повторные смены и очистка Расход и время — в Preview

Схема условная; конкретное число смен определяется нарезкой и порядком траекторий.

Как назначить цвета

Если модель состоит из отдельных частей, назначай материал каждой части — это легче повторить и изменить. Для единой сетки есть инструменты окраски поверхностей. Для смены по высоте используй предусмотренную функцию слайсера и проверь слой перехода. Сам цвет в интерфейсе служит для назначения; оттенок физической катушки определяет результат. [Многоцветная печать Bambu Studio](#).

Покраска поверхности не означает, что символ имеет заданную механическую толщину. Посмотри, сколько реальных слоёв и траекторий занимает цвет. Если слой 0,20 мм, акцент толщиной 0,40 мм номинально занимает два слоя, но положение границ и нарезка требуют проверки.

Продувка и башня

Продувка вытесняет остаток прежнего материала. После смены также важно восстановить устойчивую подачу; для этого используется prime tower, если она предусмотрена проектом. Эти расходы нужно смотреть отдельно от массы самого предмета. Удаление башни или резкое снижение продувки ради цифры в смете может дать загрязнение цвета и дефекты.

Тёмный пигмент в светлой основе особенно заметен, поэтому переходы имеют направление: тёмный → светлый и светлый → тёмный не обязательно требуют одинаковой очистки. Подбирай объёмы по образцам и актуальным рекомендациям слайсера, а не общим множителем «всегда 0,3».

Продувка в заполнение может сократить внешние отходы, но тёмный материал способен просвечивать сквозь светлую оболочку. Для прозрачных деталей и изделий, где цвет критичен, это плохой компромисс. Использование отходов в другом объекте тоже имеет смысл только при проверенной совместимости материалов и качества этого объекта.

Пример: три конструкции домино

Выступающие чёрные точки над белым корпусом: основная часть печатается белой, после неё только чёрный рельеф. Смена по высоте может быть очень простой, но тактильное ощущение отличается от гладкого домино.

Точки заподлицо: в верхнем участке одновременно есть белый фон и чёрные точки. Цветные слои требуют нескольких подач; глубина цвета должна обеспечивать укрывистость. Два тонких слоя не всегда скрывают прежний оттенок.

Отдельные вставки: белый корпус с гнездами и чёрные точки отдельной партией. Смен меньше, но появляются допуски, крепление и время сборки. Проверяется не только внешний вид, но и удержание вставок.

Лицевая сторона вниз позволяет формировать цвет в первых слоях и получить фактуру пластины. Это может быть выгодно, но требует качественного первого слоя и геометрии без нежелательных свесов. Сначала сравни две ориентации одного элемента.

Партия и время

Если на одном слое сразу печатаются 16 одинаковых цветных фишек, число смен может остаться близким к одному образцу, а продувка распределяется на большее число изделий. Это нужно проверить Preview: число слоёв и геометрия тоже меняются. Большая партия увеличивает последствия сбоя и требует понятного снятия со стола.

Последовательная печать объектов имеет ограничения по столкновению головки с уже готовыми деталями. Пользуйся проверкой слайсера и не размещай предметы вручную «на глаз» ради экономии.

Практика

Нарежь одну модель в трёх исполнениях: одноцветная с отдельным акцентом, цвет только на небольшом верхнем участке, цвет по всей высоте. Затем сравни один экземпляр и небольшую партию. Запиши число смен, время, массу модели, башни, поддержек и продувки. Напечатай выбранный малый образец.

Результат: ты выбираешь конструкцию, которая даёт нужный вид с понятной ценой цвета в материале и времени.

Часть 5. Конструирование, обработка и сборка

Урок 16. Модель, которая хорошо печатается и собирается

Начни с размеров и функции

Для фишки определи диаметр, высоту, форму кромки, низ, массу и возможность складывания. Для домино — размеры, пропорции, способ нанесения точек, читаемость, устойчивость и упаковку. Для коробки — внутреннее пространство с реальными компонентами, механизм крышки, зазор, крепления и способ сборки.

Создай параметры с понятными именами. Изменение `chip_diameter` должно менять геометрию фишки предсказуемо. Не делай десятки независимых размеров, которые потом трудно согласовать. Первое хорошее изделие должно быть удобно менять, а не только один раз красиво напечатать.

Учебное построение в FreeCAD: фишка

Названия команд могут отличаться в локализации; ниже указаны типовые операции, а не привязка к конкретной версии интерфейса.

1. Создай документ и тело в Part Design.
2. Создай эскиз на плоскости XY.
3. Нарисуй окружность с центром в начале координат.
4. Задай диаметр 30 мм размерным ограничением; проверь, что положение центра также определено.
5. Выполни Pad / выдавливание на 8 мм.
6. Добавь небольшую фаску, например 0,5 мм, на выбранных краях. Это учебный размер, который затем оценивают тактильно.
7. Сохрани родной файл, экспортируй STL с достаточной детализацией окружности.
8. В Bambu Studio проверь размер 30 × 30 × 8 мм, ориентацию и траектории.
9. Напечатай, измерь диаметр, высоту и низ, оцени кромки пальцами.
10. Измени один параметр и сохрани новую версию вместо перезаписи единственного исходника.

Далее добавь собственный рельеф или углублённый знак. Проверь его в Preview: контур, который видно в CAD, может оказаться слишком тонким для выбранного сопла. Для первых попыток лучше крупный простой знак, чем текст высотой 2 мм.

Допуски: номинальный размер не равен посадке

Штифт диаметром 6,00 мм и отверстие диаметром 6,00 мм не обязаны соединяться после печати. Влияют фактическая геометрия линий, усадка, ориентация, первая кромка и шероховатость. Зазор должен быть задан осмысленно.

Учебная серия: штифт 6,00 мм и отверстия 6,10 / 6,20 / 6,30 / 6,40 / 6,50 мм. Это **разница диаметров:** при отверстии 6,30 мм номинальный зазор на сторону равен 0,15 мм, а не 0,30 мм. Эти размеры служат для эксперимента, а не универсальной таблицей посадок P2S.

Для крышки можно сделать отдельные короткие фрагменты направляющих с несколькими зазорами. Не печатай всю большую коробку, чтобы проверить только 20 мм её стыка. Испытай в той же ориентации, материале и профиле, которые будут у изделия.

СОЕДИНЕНИЕ	ЧТО ПРОЕКТИРОВАТЬ	ЧТО ПРОВЕРЯТЬ
Свободный вкладыш	Достаточный зазор и доступ пальцами	Не застревает ли после покраски
Скользкая крышка	Направляющие, упоры, фаски входа	Трение, перекося, ход после нескольких циклов
Вставка под клей	Зазор для клея, площадь контакта	Посадку до клея и следы после сборки
Запрессовка	Контролируемое натяжение и поддержка стенки	Трещины, усилие, удержание со временем
Защёлка	Направление изгиба, радиусы, ограничение хода	Усталость, материал, межслойный излом
Винт с термовставкой	Гнездо по чертежу вставки и запас пластика	Вырыв, проворачивание, перекося
Штифт/гайка	Фиксацию от выпадения и доступ инструмента	Сборку и обслуживание

Конструкция под прочность и отделку

Добавляй скругления у перехода тонкой ножки к основанию; избегай острых внутренних углов у нагруженных мест. Предусмотри более широкое крепление петли и достаточную оболочку вокруг магнита. Маленькое количество пластика вокруг тяжёлой шайбы ограничивает надёжность всей фигуры.

Планируй шов сборки как часть дизайна: линия рамки, смена фактуры, отдельная цветная вставка. Большой плоский предмет можно разделить на модули с понятным позиционированием. Для доски важны одинаковая высота секций и возможность снять напряжения усадки.

Если будет грунт и краска, оставь запас на покрытия; не окрашивай посадки, которые должны оставаться точными, без отдельного теста. На поверхности под фетр не нужен тот же идеальный внешний вид, что на лицевой стороне.

Практика

Создай фишку и образец сопряжения. Выбери зазор по испытанию, добавь фаску входа и запиши удачную комбинацию «материал + ориентация + профиль + размер».

Результат: деталь собирается без подгонки каждой копии; удачная посадка может быть перенесена в полноценную модель с последующей проверкой.

Урок 17. Механическая обработка и инструменты

Сначала выбрать требуемую поверхность

Оставить печатную фактуру: удалить дефекты и заусенцы, аккуратно оформить кромку. **Подготовить под окраску:** убрать рельеф, заполнить нежелательные следы, загрунтовать. **Декоративно полировать:** материал должен допускать ожидаемый эффект. Эти процессы имеют разное время и результат.

Матовый PLA после местной шлифовки может получить пятно другого блеска. Прозрачный материал после царапания рассеивает свет. Поэтому перед обработкой всего набора испытай один образец. Небольшой след иногда лучше устранить настройкой следующей печати, чем шлифовать каждую деталь.

Снятие и очистка

1. Дождись охлаждения пластины до условий безопасного снятия.
2. Сними деталь подходящим способом, не повреждая покрытие острым металлическим инструментом.
3. Отдели brim и поддержки небольшими участками. Не используй тонкий выступ модели как рычаг.
4. Подрежь остатки, поддерживая деталь на коврике. Проверь острые кромки.
5. Измерь нужные размеры **до** шлифования, затем после — так видно, сколько снято.

Если поддержка не снимается без разрушения, сначала исправь контакт или ориентацию следующей печати. Силовое выламывание не является обязательным этапом качественного производства.

Шлифование

Ручной брусок помогает сохранить плоскость; губка удобна на округлых формах. Слишком грубое зерно быстро повреждает кромки и символы. Пример последовательности для небольшого дефекта: P240 → P400 → P600; для дальнейшей тонкой подготовки — P800/P1000 и выше по нужному покрытию. Начинать можно с более мелкого зерна, если крупное не требуется.

Используй абразив нужного типа; обозначение P относится к конкретной системе зернистости. Переходить на следующее зерно стоит после удаления следов предыдущего. Сохраняй контрольную деталь: слишком долгое шлифование незаметно меняет геометрию.

Мокрая обработка может уменьшить пыль и локальный нагрев, если материал и последующие покрытия её допускают. После неё деталь должна очиститься и высохнуть, включая полости. Подготовка стыка под клей и полировка лицевой поверхности — разные задачи.

Электроинструменты и нагрев

Гравер удобен для доступной локальной зоны, но легко перегревает и вырывает материал. Для первых игровых деталей ручной контроль обычно проще. Фен способен деформировать кромки и изменить блеск; он не является универсальным средством «сделать премиально». Удаляй нити настройкой и аккуратной механической обработкой, прежде чем использовать нагрев.

Сверление может уточнить отверстие, но тонкая стенка способна треснуть или расплавиться. Используй зафиксированную деталь и подходящий инструмент, не держи маленькую фишку пальцами рядом со сверлом. Посадка, которую требуется рассверливать у каждой копии, должна учитываться во времени серии.

Подробный список инструментов

ИНСТРУМЕНТ	НАЗНАЧЕНИЕ	КОГДА НУЖЕН
Цифровой или механический штангенциркуль	Диаметры, толщина, посадки	С первых размерных образцов; проверить ноль и повторяемость
Металлическая линейка	Габариты и разметка	Сразу
Весы для катушек, шаг около 1 г	Остаток и суммарный расход	Для учёта материала
Малые весы, шаг около 0,1 г	Сравнение массы фишек и фурнитуры	Когда масса имеет значение; шаг не равен гарантированной точности
Бокорезы для пластика	Поддержки и хвосты	Сразу; не резать ими стальные шайбы
Пинцет прямой и изогнутый	Мелкие остатки, детали сборки	Сразу
Нож/скальпель со сменными лезвиями	Локальная подрезка	С ковриком и безопасным упором
Коврик для резки	Защита стола и контроль ножа	Сразу
Гратосниматель	Кромки и некоторые отверстия	После первых тестов; может снимать слишком много
Пластиковый скребок	Снятие разрешённых остатков	По инструкции пластины
Наждачная бумага разных номеров	Поверхности и кромки	Небольшой набор, расширять по задаче
Шлифовальный брусок	Сохранение плоскости	Подготовка плоских поверхностей
Абразивные губки	Скругления и сложные поверхности	Отделка декоративных деталей
Малые надфили	Углы и локальные посадки	По необходимости

ИНСТРУМЕНТ	НАЗНАЧЕНИЕ	КОГДА НУЖЕН
Набор шестигранников подходящих размеров	Обслуживание и сборка	Проверить комплект принтера и крепёж
Отвёртки под фактические головки	Винты и петли	По выбранной фурнитуре
Мини-струбцины, прищепки с накладками	Фиксация клеевых соединений	Первые составные модели
Угольник и направляющая сборки	Контроль перпендикулярности	Коробки, доски и вставки
Малярная лента	Маскировка и временная фиксация	Сборка и окраска
Регулируемый паяльник с подходящей насадкой	Термовставки	После проектирования резьбовых соединений
Подставка для паяльника	Организация горячего инструмента	Вместе с паяльником
Держатель детали / установка для вставок	Вертикальность и повторяемость	Когда вставок много
Ручной держатель сверла / сверлильное приспособление	Уточнение отверстий	По необходимости
Гравер	Локальная механическая обработка	Позже, если ручной метод недостаточен
Термофен	Отдельные проверенные операции	Позже; не обязательный стартовый инструмент
Кисти, палитра, держатели	Окраска и заполнение символов	Если выбран этот способ отделки
Аэрограф с компрессором	Управляемая окраска	После организации зоны и освоения покрытия
Гигрометры	Воздух боксов	Система хранения
Безворсовые салфетки	Очистка и обслуживание	Сразу; разделить салфетки для стола и механики
Очки	Защита при откусывании и обработке	Сразу
Защита рук и дыхания под операцию	Работа с веществами и пылью	По SDS и выбранному процессу
Закрытые лотки для деталей	Не потерять магниты, вставки, крепёж	С первых сборок

Минимальный комплект

Штангенциркуль, линейка, бокорезы, пинцет, нож с ковриком, небольшое количество абразива, очки, подходящие средства очистки и безворсовые салфетки. Для первого простого соединения — небольшой клей, фиксация и пробные детали. Паяльник, аэрограф и гравёр выбираются после появления соответствующей операции.

Практика

Напечатай три одинаковые плашки. Одну оставь как контроль, вторую обработай только по кромке, третью подготовь под покрытие. Запиши размеры до и после, время и изменение цвета/блеска.

Результат: выбранная отделка даёт нужную поверхность без случайного изменения посадок и без обязательной обработки каждой стороны.

Урок 18. Клеи, очистители и средства: выбрать под соединение

Сначала конструкция соединения

Большая площадь нахлёста обычно полезнее узкого стыка торец к торцу. Штифт или направляющая упрощает позиционирование; механическая фиксация может защитить соединение от отрыва. Клей выбирают под два материала, размер зазора, нагрузку, видимую поверхность, время сборки и доступ для нанесения.

Склеивать две плотно сидящие детали и заливать металлический груз в полость — разные задачи. Цианоакрилат жидкий, эпоксидный состав заполняет зазор иначе; «универсальный» на упаковке не означает одинаковую работу на PLA, PP, металле и фетре.

Справочник по типам

тип	для чего рассматривать	ограничение и пример
Жидкий цианоакрилат, СА	Мелкие близкие по размеру поверхности, быстрые соединения	Затекает в щели; нужен малый зазор. Пример LOCTITE 406
СА-гель	Точечная сборка с контролем растекания	Не заменяет конструкционный заполнитель больших зазоров. Пример Loctite Super Glue Gel Control
Низкобелящий СА	Видимые небольшие соединения	Конкретный состав выбирается по паспорту; испытать белёсый налёт на тёмном образце
Активатор СА	Ускорение фиксации совместимого клея	Это отдельное средство; может изменить поверхность и свойства шва
Двухкомпонентный эпоксидный	Зазоры, крепление металла в полости, составная жёсткая деталь	Точное смешивание, время работы и полное отверждение. Примеры LOCTITE EA 3430, UHU Plus Schnellfest
Контактный клей	Некоторые сочетания фетра, ткани и твёрдой основы	Проверить растворитель, совместимость и отсутствие пятен
Эластичный PU/MS-клей	Соединение, которому нужна податливость	Состав и сцепление с пластиком различаются; обычно не первый выбор для маленькой точной вставки
Нейтральный силиконовый состав	Некоторые уплотняющие и гибкие соединения	Не считать прочным универсальным клеем для жёсткой фигуры
Термоклей	Макеты, временная фиксация, некритичная сборка	Объёмный шов, температура нанесения и возможное размягчение

ТИП	ДЛЯ ЧЕГО РАССМАТРИВАТЬ	ОГРАНИЧЕНИЕ И ПРИМЕР
ПВА / столярный	Бумага, дерево и некоторые пористые материалы	Не основной структурный клей для гладкого PLA/PETG; не путать с разделительным составом на столе
Двусторонняя лента / adhesive transfer	Фетр, декоративные панели, небольшие плоские соединения	Нужны площадь, подготовка и подходящая марка; края могут отслаиваться
Система с праймером для PP/PE	Трудносклеиваемые пластики	Выбранный праймер и клей должны работать вместе; отдельная технология
Сварка растворителем	Некоторые совместимые термопласты	Может повредить вид, размеры и слой; не универсальна для PLA/PETG

LOCTITE 406 — низковязкий СА для пластмасс и резины; Henkel предусматривает сочетание с SF 770 для ряда трудносклеиваемых материалов. Это пример системы, а не обещание любого соединения без подготовки. [Паспорт LOCTITE 406](#).

Loctite Super Glue Gel Control имеет собственные ограничения: например, изготовитель не рекомендует его для PP, PE, PTFE и силиконовой резины. Проверка списка важнее слова «пластик» в описании. [Инструкция Gel Control](#).

Эпоксидный клей: три времени

Время работы — сколько можно смешивать, наносить и позиционировать. **Время фиксации** — когда соединение можно осторожно перемещать в условиях производителя. **Полное отверждение** — когда достигнуты требуемые свойства. Они не равны. У LOCTITE EA 3430 приведены отдельные значения рабочего времени и фиксации; полное развитие свойств оценивается по техпаспорту. [TDS EA 3430](#), [UHU Plus Schnellfest](#).

Пропорция по объёму не обязательно совпадает с пропорцией по массе. Двойной шприц облегчает дозирование, но требуется равномерное смешивание. Готовь небольшой объём и следуй TDS; толстая заливка ведёт себя иначе, чем тонкий шов, в том числе по нагреву при реакции. Не добавляй растворитель и лишний отвердитель для «ускорения».

Очистка и подготовка

СРЕДСТВО	РОЛЬ	ЧТО УЧИТЫВАТЬ
Вода и подходящее мягкое моющее средство	Смыть грязь и часть жиров	Тщательно смыть остаток и высушить; применять на допускающем это материале
IPA	Некоторые задачи обезжиривания и очистки	Проверять совместимость полимера, краски и покрытия; для PVB это растворитель
Безворсовая салфетка	Удалить загрязнение без волокон	Отдельная чистая салфетка, не переносить смазку со станка

СРЕДСТВО	РОЛЬ	ЧТО УЧИТЫВАТЬ
Мелкий абразив	Создать подходящую поверхность под конкретный клей	Не уничтожать посадку; очистить пыль
Праймер адгезии	Подготовка низкоэнергетической поверхности	Под точный состав клея или ленты; не путать с грунтом для окраски
Активатор	Изменить скорость отверждения совместимого СА	Наносить по инструкции, испытать следы на пробнике
Средство удаления клея	Локально устранить след или ошибку	Может повредить пластик и краску; сначала на скрытой зоне

Для клеевых лент подготовка, давление при нанесении и время развития сцепления тоже важны. У 3М есть отдельное руководство применения VHB; выбор серии зависит от материалов. Толстая вспененная лента не заменяет точное механическое соединение.

[Подготовка и применение VHB.](#)

Небольшой клеевой тест вместо угадывания

1. Сделай несколько пар одинаковых образцов из выбранных материалов.
2. Определи площадь соединения и зазор, близкие к реальному изделию.
3. Подготовь поверхности одинаковым способом.
4. Сравни два подходящих типа клея, меняя только систему соединения.
5. Зафиксируй положение без чрезмерного выдавливания всего клея.
6. Выдержи полное время по инструкции и условиям.
7. Проверь вид, отслаивание, реакцию на обычное обращение, затем разрушение контрольного образца.
8. Запиши, где сломалось: по клею, по границе или внутри печатного пластика.

Испытание, при котором разрушается тонкая стенка, показывает предел конструкции. Оно не делает клей подходящим для всех размеров. Не оценивай окончательную прочность через минуту только потому, что деталь уже держится.

Обращение со средствами

Работай по SDS, с подходящей вентиляцией, защитой глаз и защитой рук для конкретного состава. Не используй пищевую посуду для смешивания. У цианоакрилатов контакт с некоторыми волокнистыми материалами может сопровождаться сильным нагревом; не вытирай свежий клей случайной тканью. Вещества хранятся в оригинальной подписанной упаковке.

Нагрев растворителя, «паровая баня» из случайной банки и распыление агрессивной химии рядом с работающим принтером не входят в базовый процесс курса. Химическое сглаживание изучается как отдельная оборудованная операция с требованиями производителя материала.

Практика

Сделай тест соединения PLA-PLA и PLA-металл либо PLA-фетр — выбери то, что нужно первому изделию. Сравни вид, время работы и удержание после полного отверждения.

Результат: выбран точный клей или лента, способ подготовки и время выдержки; ты можешь повторить сборку без случайных следов.

Урок 19. Окраска, покрытия и фурнитура

Три уровня отделки

Печатная поверхность: подходящая катушка, ориентация, аккуратная кромка и отсутствие дефектов. **Локальные акценты:** окраска углублённых символов, вставки, фетр и металл. **Полная окраска:** подготовленная поверхность, грунт, цвет и защитное покрытие. Для игр первая или вторая схема часто сокращает ручную работу, сохраняя характер материала.

Общая цепочка «сборка → подготовка поверхности → заполнение нежелательных следов → грунт → цвет → покрытие» применима к окрашиваемым декоративным моделям. Переходы между этапами требуют высыхания и проверки совместимости. [Обзор постобработки Prusa.](#)

Чем пользоваться

КАТЕГОРИЯ	ПРИМЕР ВЫБОРА	РОЛЬ И ОГРАНИЧЕНИЕ
Шпатлёвка/заполнитель	Подходящий моделистский или двухкомпонентный состав	Устранить шов и дефект; материал и толщину проверить на образце
Адгезионный грунт	Состав, разрешённый для выбранного пластика	Помочь следующему покрытию; не обязательно заполнит линии
Грунт-наполнитель	Совместимый заполняющий грунт	Уменьшить мелкий рельеф; толстое покрытие скрывает детали
Акриловая краска для моделизма	Водная система выбранного производителя	Кисть или подходящий аэрограф; стойкость зависит от подготовки и выдержки
Аэрозольная эмаль/лак	Только совместимая система	Нужна организованная зона распыления; растворитель может повредить пластик
Прозрачный матовый/сатиновый/глянцевый лак	Совместимый с краской и пластиком	Изменить блеск и износостойкость; не подтверждает безопасность контакта с пищей
Маскировочная лента	Лента под деликатную поверхность	Чёткие границы; проверять, не снимает ли прежний слой
Паста для полировки	Под конкретный материал	Декоративный эффект на совместимой поверхности; не возвращает прозрачность автоматически

Пример продукта категории — Rust-Oleum Plastic Primer. Производитель прямо рекомендует тест совместимости для некоторых последующих покрытий. Название «грунт по пластику» не подтверждает, что любая PLA-деталь и любой финиш образуют удачную систему. [Инструкция Plastic Primer.](#)

Процедура локальной окраски символов

Напечатай углублённый знак с достаточной читаемой шириной. Очисти, проверь краску на пробнике, нанеси её тонким подходящим инструментом. Избыток убирай способом, который не портит фон. Выдержи по инструкции; проверь истирание и загрязнение пальцев на контрольном образце. При необходимости добавь совместимый защитный слой, учитывая изменение фактуры.

Для маджонга полезно сравнить окраску, AMS и вставку на одном размере символа. Суммарное время человека и качество повторения могут дать другой выбор, чем одна стоимость пластика.

Фурнитура для ощущения качества

позиция	ЧТО ДОБАВЛЯЕТ	ЧТО ЗАЛОЖИТЬ В МОДЕЛЬ И ИСПЫТАНИЕ
Неодимовые магниты 6×2, 8×3, 10×3 мм как примеры размеров	Закрывание и удержание	Полярность, фактический размер, посадка, механическое удержание
Стальные шайбы/шарики	Массу и устойчивость	Полость, фиксацию от движения, толщину оболочки, центр тяжести
Самоклеящийся фетр, листы или кружки	Мягкий низ, меньше шума и царапин	Толщину, край, удержание и одинаковость всех фигур
Мини-петли	Понятное открывание кейса	Стенку, крепёж, ось, полный ход и выступающие края
Винты M2/M3 с соответствующими гайками	Разборную сборку	Доступ инструмента, ограничение длины, отсутствие острых выступов
Латунные термовставки	Повторно используемую резьбу	Гнездо по чертежу вставки, запас материала и испытание вырыва
Стальные оси/штифты	Шарнир и позиционирование	Фиксацию конца, зазор и способ замены
TPU-ножки	Трение и защита поверхности	Крепление и устойчивость коробки
Мешочки и ложементы	Защиту и хранение	Размеры, ворс, удобство доставания

Цвет покрытия магнита и марка N52 не гарантируют качество конкретного товара. Для кейса важны сила удержания через толщину стенки и реальная удобная сила открывания. Перед вклеиванием отметь полярность пар; ошибку затем сложно исправить.

Магнит или груз лучше предусмотреть с механическим удержанием: закрывающая деталь, достаточная оболочка, конструктивный упор. Если для вставки делается пауза печати, заранее проверь, что она не выступает в траекторию головки. В базовом проекте проще сборка после печати с контролируемым закрытием полости.

Термовставки: порядок

Выбери **вставку для термоустановки в пластик** с чертежом. Диаметр посадки не равен резьбе М3: наружные насечки значительно шире. Сначала сделай пробник гнезда. Используй подходящую насадку и регулируемый нагрев, держи вставку по оси, не дави на тонкую стенку. Дай пластику остыть перед закручиванием. [Руководство EPFL по гнёздам и установке](#).

Температура и время зависят от полимера, вставки и инструмента. Нагрев паяльника не назначается по одному универсальному числу для всех материалов. Сначала отработай посадку на пробнике, затем проверь момент затяжки и вырыв на контрольной детали. Не заполняй резьбу клеем или краской.

Испытание отделки и сборки

Проверь: острые края; трещины у вставок; люфт; открывание; выпадение груза; следы клея; белёсость; липкость покрытия; перенос краски; отслоение фетра; дребезг; устойчивость на столе. Через несколько дней повтори обычное обращение. Для серии нужен эталон принятого вида и список допустимых дефектов.

Практика: сделай один полностью завершённый предмет — например, фишку с грузом и фетром или мини-коробку со вставкой. Сравни с необработанным образцом и запиши всё ручное время.

Результат: качество можно описать и повторить; масса, поверхность и фурнитура согласованы с конструкцией и себестоимостью.

Часть 6. Обслуживание, диагностика и контроль качества

Урок 20. Обслуживание P2S и расходные части

Плановое обслуживание и ремонт

Обслуживание сохраняет нормальную работу: очистка, осмотр, смазка разрешённых узлов, проверка расходников. Ремонт устраняет конкретную неисправность. Не требуется разбирать исправный экструдер после каждой катушки или менять весь хотенд при любой нити на поверхности.

Сервисная запись содержит дату, часы/катушки как ориентир нагрузки, наблюдение, операцию, заменённый артикул и результат контрольной печати. Чёткая запись помогает понять, связано ли изменение качества с материалом, механикой или обслуживанием.

Важное отличие P2S

Для P2S не подходит привычное правило из некоторых инструкций других Bambu «ось X никогда не смазывать». У него собственная конструкция и схема ухода. Официальная инструкция предусматривает масло на направляющих X/Y, масло на указанных направляющих Z и пластичную смазку на ходовых винтах Z. Масло и пластичная смазка используются в разных местах; не наносить их на ремни и поверхность печати. [Смазка осей P2S](#).

СРЕДНЯЯ ЕЖЕДНЕВНАЯ ПЕЧАТЬ	ОРИЕНТИР УХОДА X/Y	ОРИЕНТИР ГЛУБОКОГО УХОДА Z
От 5 часов	Раз в месяц	Раз в 3 месяца
От 1 до менее 5 часов	Раз в 2 месяца	Раз в 4 месяца
Менее 1 часа	Раз в 3 месяца	Раз в 5 месяцев

Это интервалы производителя для обычного планирования. Загрязнение, признаки сухого хода и определённые материалы могут потребовать осмотра раньше. Полную процедуру выполняй по актуальной инструкции со схемами; после предусмотренного обслуживания — штатную калибровку.

Что регулярно осматривать

УЗЕЛ	ПРИЗНАКИ, ТРЕБУЮЩИЕ ВНИМАНИЯ	ДЕЙСТВИЕ
Пластина	Жир, остатки клея, повреждение покрытия	Очистка по инструкции; повреждённую сторону оценить отдельно

УЗЕЛ	ПРИЗНАКИ, ТРЕБУЮЩИЕ ВНИМАНИЯ	ДЕЙСТВИЕ
Сопло и силиконовый носок	Налипание, повреждение, нестабильная подача	Штатная очистка или замена по причине
Очиститель/ вайпер сопла	Износ, грязь, плохая очистка	Проверка и замена совместимого расходника
Нож резки филамента	Плохой срез, проблемы смены	Осмотр и замена по руководству
PTFE и соединения	Перегиб, износ, неполная фиксация	Исправить трассу или заменить подходящей деталью
Вентиляторы	Пыль, шум, плохое вращение	Очистка по процедуре, поиск причины
Фильтр	Загрязнение, истёкший ресурс по условиям	Заменить; наличие фильтра не отменяет вентиляцию
Камера	Плохой обзор из-за загрязнения	Разрешённая очистка оптики
Лоток/выход отходов	Переполнение и блокирование выброса	Освободить до печати
AMS	Остатки нити, пыль, влажность, затруднение вращения	Очистка, осушитель, проверка катушек
Экструдер	Пыль материала, проскальзывание, посторонние остатки	Диагностика и очистка по руководству, если нужны

[Плановое обслуживание P2S.](#)

Минимальный резерв

Совместимый запасной хотенд основного диаметра полезен при простое; в твоём заказе сначала проверить серию. Затем — предусмотренные нож, вайпер и PTFE по реальному износу. Силиконовый носок и нагревательная сборка должны соответствовать P2S: совместимость самого хотенда не подтверждает совместимость всех окружающих частей.

Не покупай заранее большой набор сомнительных «универсальных» запасных частей. Поддержка продавца, правильный артикул и возможность диагностики важнее количества расходников.

Засор и холодная протяжка

При недостатке подачи проверь катушку и тракт, а уже затем хотенд и экструдер. Для P2S есть отдельные инструкции [по засорам](#) и [cold pull](#). Температура, инструмент и порядок операций зависят от материала и узла. Не выдавливай засор случайным стальным инструментом и не копируй температуру чужой машины.

При разборке разъёмов отключай питание. Проверка с нагревом — отдельная операция по инструкции; нельзя одновременно разбирать подключённую проводку. Устанавливай сопло по руководству и затем сверяй профиль слайсера.

Практика: создай календарь ухода под реальную загрузку и проведи визуальный осмотр без лишней разборки. Сохрани ссылки на инструкции своего узла и артикула.

Результат: известно, что, когда и зачем обслуживать; процедура P2S не подменена советом для другого принтера.

Урок 21. Диагностика: симптом, причина, одна проверка

Общая последовательность

Зафиксируй симптом фотографией и проектом. Проверь правильность профилей и материал. Сравни с сохранённой удачной деталью. Посмотри, появляется ли дефект в Preview: если элемент отсутствует уже там, изменение температуры его не вернёт. Затем проверяй одну правдоподобную причину за раз.

СИМПТОМ	ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ	ПЕРВАЯ РАЗУМНАЯ ПРОВЕРКА
Первые линии не держатся	Жир, неверная пластина, температура, подача	Пластина/профиль/очистка и небольшой первый слой
Деталь отрывается позже	Мало контакта, удар соплом, коробление	Низ детали и момент отрыва; повтор с понятной ориентацией
Углы поднимаются	Усадка, температура среды, сквозняк, геометрия	Материал и тепловые условия, затем brim или разделение
Расширение нижней кромки, elephant foot	Первый слой, нагрев, геометрия	Замер низа и верхней части; подходящая компенсация/фаска
Нити между частями	Влага, температура, траектории, ретракт	Проверенный сухой образец того же материала
Пузырьки и хлопки	Влага, загрязнение, деградация	Сушка по инструкции и сравнение
Шероховатая экструзия	Влага, частичный засор, избыток расхода	Контрольный профиль и тракт
Пропуски линий на быстрых участках	Предельный поток, засор, сопротивление подачи	Меньший расход при тех же остальных условиях
Щелчки и проскальзывание	Сопротивление катушки, засор, неправильная температура	Свободное вращение, PTFE, условия материала
Верх имеет щели	Мало сплошной толщины, недолив, слабая опора	Preview верхних слоёв и контроль Flow Ratio
Верх с гребнями	Избыток подачи, налипание, особенности траекторий	Контрольная плашка, чистое сопло и профиль
Верхушка фигуры размазана	Не успевает остыть, слишком быстрый слой	Минимальное время слоя и печать нескольких образцов
Свес опускается	Геометрия, обдув, скорость	Preview и небольшой тест ориентации/поддержки
Мост провисает	Длина, направление, охлаждение, расход	Тест моста в том же материале, затем переработка модели

СИМПТОМ	ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ	ПЕРВАЯ РАЗУМНАЯ ПРОВЕРКА
Поддержки приварились	Контакт слишком плотный, неверный интерфейс	Материал и расстояние контакта в Preview
Следы от поддержек	Ожидаемый контакт, настройка или ориентация	Повернуть, разделить или испытать интерфейс
Слои расходятся	Низкое сцепление, слишком сильное охлаждение, влага, перегрузка	Материал/профиль и направление нагрузки
Видимые периодические полосы	Механика, температура, меняющаяся траектория	Контрольный проект и характер периодичности
Волны возле углов, ringing	Вибрации и ускорения	Стол, штатная калибровка и контроль скорости
Сдвиг слоёв	Столкновение, механическая проблема, перегрузка	Найти событие; осмотреть ремни и препятствия по инструкции
Заметные точки шва	Старт/стоп контура, динамика, влажность	Расположение шва и контроль подачи
Светлый цвет загрязнён	Недостаточная очистка, продувка в заполнение	Направление перехода и размещение продувки
Разный блеск по высоте	Меняется скорость, поток, охлаждение или геометрия	Сопоставить участок с Preview скорости
Отверстие мало или овальное	Ориентация, геометрия линий, усадка, низ	Замер в двух направлениях и отдельный образец посадки
Деталь совсем не того размера	Единицы экспорта, масштаб, неверная модель	Габариты в CAD и слайсере до печати
Тонкий знак исчезает	Геометрия уже не нарезается	Проверить траектории, увеличить штрих или сменить сопло
AMS не подаёт катушку	Размер/обод, конец, узел подачи, настройка	Осмотреть механику и точное сообщение об ошибке
Поздний засор на PLA	Heat creep, охлаждение хотенда, длинные малые потоки, другая причина	Температурные условия, вентилятор и штатную диагностику

Таблица — дерево гипотез. Ни один отдельный внешний симптом не доказывает единственную причину. Не лечи механику множителем потока и не лечи отсутствующий в модели элемент сушкой.

Как обращаться в поддержку

Сообщи модель, прошивку, сопло, пластину, точный материал, проект, этап появления, сообщение ошибки, фото и выполненные проверки. Не пересказывай десяток случайно изменённых настроек без сохранённого исходника. Для электрической, механической или

повторяющейся неисправности поддержка продавца/производителя полезнее бесконечных компенсирующих профилей.

Практика

Выбери реальный дефект своей печати. Запиши три гипотезы, самый дешёвый различающий тест и критерий успеха. Выполни только обоснованный тест. Если дефекта нет, разбери фотографии собственных контрольных образцов и отмечай нормальные особенности, которые не требуют ремонта.

Результат: одна проверка уменьшает неопределённость, а результат можно сравнить с исходником.

Урок 22. Измерения, эталоны и стабильная партия

Измерять одинаковым способом

Обнуляй штангенциркуль, держи его без перекоса, не сжимай мягкую деталь чрезмерно. Измеряй диаметр в нескольких направлениях, высоту в нескольких точках. Повтори измерение, если разница сопоставима с погрешностью инструмента и твоего приёма. Количество знаков на дисплее не подтверждает такую же точность.

Для коробления поставь деталь на известную плоскую поверхность и оцени зазор подходящим методом; не используй случайно кривой стол как эталон. Для фишек взвешивай одинаково собранные предметы. Если тара катушки неизвестна, не вычитай выдуманные 200 г: обозначь остаток как оценку.

Важны время после печати, температура среды и состояние материала. Гибкие детали и поглощающие влагу технические полимеры могут меняться со временем. Для своей серии установи воспроизводимые условия измерения.

Карта качества

ЧТО КОНТРОЛИРОВАТЬ	КАК ЗАПИСЫВАТЬ	ПРИМЕР КРИТЕРИЯ
Размер	Номинал, диапазон, способ измерения	Зазор подходит реальному сопряжению
Плоскостность	Фото/метод/наблюдение	Фишка не качается на контрольной поверхности
Масса	Среднее и разброс набора	Нет заметно отличающихся фигур без причины
Поверхность	Эталон и фото при одном свете	Нет пропусков, сколов и острых следов поддержки
Цвет	Образец, партия катушки, освещение	Пара совместима, светлый не загрязнён
Читаемость	Реальный размер и обычный свет	Символ узнаваем без увеличения
Сборка	Ход, усилие, люфт, циклы	Крышка открывается без перекоса
Фурнитура	Удержание и отсутствие движения	Магниты/грузы не выпадают и не дребезжат
Покрытие	Выдержка и обращение	Нет липкости, переноса и отслоения
Упаковка	Комплектность и защита	Детали не бьются друг о друга в пути

Критерии назначаются для изделия, а не объявляются универсальными нормами. Для первой фишки можно, например, отслеживать диаметр около выбранного номинала и диапазон $\pm 0,2$ мм как **собственную учебную цель**, затем ужесточить или изменить по функции. Это не паспортная гарантия точности P2S.

Повторяемость

Сравни несколько запусков, а не только много копий на одном столе. У одной пластины детали получили похожие условия; следующая партия проверяет повторный запуск, загрузку, очистку и сборку. При изменении катушки, сопла, профиля или обработки сохраняй новую версию технологической карты.

Брак учитывай отдельно: косметический, функциональный, ошибка сборки, ошибка комплектования. Нельзя списать всё одной строкой «принтер плохо печатает». Категории показывают, что действительно нужно исправить.

Практика

Напечатай 10 одинаковых фишек в двух запусках, измерь каждую и собери таблицу. Выбери эталон, запиши критерии и причины отклонений. Внеси только изменения, которые нужны по результату.

Результат: готовая партия оценивается по понятным признакам, а удачный результат можно воспроизвести в другой день.

Урок 23. Эксперимент, сложные применения и пределы домашних проверок

План эксперимента

Вопрос → гипотеза → исходник → одно изменение → критерий → результат → следующий шаг. Если одновременно поменять бренд, температуру, сопло, слой и обдув, улучшение трудно объяснить. Новая настройка проверяется на реальной детали после тестового образца.

Сравнение двух материалов должно учитывать подходящий профиль для каждого. «Одинаковые температуры для всех» может дать несправедливое сравнение, а «всё оптимизировал как хотелось» — непонятный результат. Зафиксируй, какой вопрос проверяешь: материал при подходящей печати или отдельный параметр процесса.

Где обычного образца недостаточно

Пищевой контакт: пригодность исходного сырья не равна подтверждённой пригодности готовой детали. Имеют значение добавки, оборудование, поверхность, очистка, условия контакта и требования к изделию. В этом курсе нет разрешения делать пищевые изделия по одному названию PETG. [Разбор ограничений со стороны производителя принтеров.](#)

Детские товары: острые края, мелкие отделяемые части, магниты, покрытие и возраст пользователя требуют отдельной оценки. Самостоятельная проверка не заменяет применимые требования и подтверждение соответствия при продаже.

Электрика, давление, медицина и критичные нагрузки: бытовой напечатанный прототип не является сертифицированной защитной или несущей деталью. Материал с FR/ESD в названии не подтверждает свойства любой конструкции.

Прозрачные и герметичные предметы: испытание водой одного образца показывает лишь этот режим и срок. Для декора можно предусмотреть отдельную стеклянную/готовую вставку; обещания клиенту должны соответствовать реальному испытанию.

Отжиг: может менять свойства, но также размеры и форму. Это отдельный процесс под материал и конструкцию, с измерением до/после. Не является простым универсальным способом превратить любую PLA-фишку в термостойкую. [Исследование отжига Prusa.](#)

Что осваивать после базы

Резьбовые сборки, разные support-материалы, крупные секционные предметы, гибкие детали, инженерные композиты, сложные световые объекты, повторяемая окраска. Переходи к следующей теме, когда понятны нужная функция и способ проверки. Вторая машина, лазер и переработка выбираются по реальному ограничению процесса.

Практика

Составь карту первого изделия: обычные домашние условия; известные ограничения; проверяемые качества; применения, для которых подтверждения пока нет. Запиши два следующих эксперимента с измеряемым результатом.

Результат: ты умеешь формулировать доказанное качество и отдельно отмечать то, что ещё предстоит проверить.

Часть 7. От красивого образца к готовому набору

Урок 24. Восемь игр: конструкция, качество и сложность

Премиальность складывается из нескольких решений

Геометрия, читаемость, масса, устойчивость, одинаковость деталей, поверхность, движение соединений, фурнитура и упаковка. Необязательно скрывать происхождение предмета: аккуратная печатная фактура может быть частью дизайна. Но случайный шов на лицевой стороне, качающаяся фишка и грубая кромка не становятся осознанной фактурой автоматически.

ИГРА	ЧТО ПЕЧАТАТЬ И КАК РАСПРЕДЕЛЯТЬ ЦВЕТ	ГЛАВНЫЕ ПРОВЕРКИ	УДОБНЫЙ ПЕРВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
Шашки	Одноцветные партии; корона/символ как отдельный рельеф	Диаметр, плоскость, кромки, различимость сторон	10 фишек в двух запусках
Нарды	Фишки отдельными партиями; треугольники поля вставками	Трение, масса, сборка поля, петли и закрывание	Пара фишек и фрагмент поля
Шахматы	Фигуры по цветам; доска секциями или вставками	Устойчивость, узнаваемость, тонкие места, груз и фетр	Пешка и наиболее сложная фигура
Домино	Точки сверху, окраска углублений или вставки	Ровность, читаемость, масса, поверхность точек	Один тип элемента в трёх конструкциях
Маджонг	Корпус и символы с контролем цветных слоёв	Различимость сложных знаков, контраст, однообразие набора	Три символа разной сложности
«4 в ряд»	Корпус секциями, диски одноцветными партиями	Проход дисков, устойчивость корпуса, извлечение	Одна колонка и несколько дисков
Крестик и-нолики	Основа и фигуры отдельно; прозрачный вариант отдельной пробой	Хват, посадки, хранение, визуальный контраст	Малый набор 3×3
Дженга	Одноцветные бруски, без лишних выступов	Размеры, плоскостность, масса и трение	9–12 брусков для проверки игрового ощущения

Игральные кости

Равные внешние стороны не гарантируют равномерного выпадения. Пустоты, точки, распределение заполнения и груз меняют баланс. Для игрового прототипа можно сравнивать броски и массу, но небольшой домашний тест не подтверждает строгую

статистическую честность. Если точность важна, готовые качественные кости могут быть отдельным элементом комплектации.

Большие предметы

Доска 400 × 400 мм потребует секций. Полезны рамка, позиционирующие соединения, одинаковая толщина частей и решение против подъёма углов. Сделай фрагмент стыка раньше полной доски. Кейс — это уже сборка: петли, замок, вставки, геометрия крышки и защита содержимого.

Что проверить в игровом процессе

Играй в прототип. Удобно ли брать фишку? Видны ли символы с другой стороны стола? Проходит ли диск без заедания? Есть ли шум, скольжение, дребезг или неприятные кромки? Возвращается ли комплект в коробку без инструкции «вернуть каждую фигуру правильно»?

Для первых прототипов выбирай небольшой предмет с понятными критериями. Шашки или крестики-нолики дадут быстрый полный цикл. Домино и маджонг добавят проверку цветных знаков. Сложный большой кейс разумно строить после понимания посадок и плоскостности.

Практика: выбери одну игру и запиши функциональные требования, визуальный образ, конструкцию цвета и главный риск. Сделай минимальный фрагмент, который проверяет этот риск.

Результат: первый проект имеет ограниченный объём и проверяет реальную игровую функцию.

Урок 25. Себестоимость, время и загрузка принтера

Учёт начинается с фактического расхода

расход филамента = изделие + поддержки + башня + продувка + неудачные печати .

Оценка слайсера полезна до запуска; фактические остатки и отходы помогают проверить её. Если на столе 20 изделий, затраты партии делятся на число **годных** предметов. Брак нельзя делить на условные 20, если принято только 17.

СТАТЬЯ	ЧТО УЧИТЫВАТЬ
Филамент	Реальный расход и цена за кг каждого материала
Фурнитура	Магниты, груз, винты, петли, фетр, вставки
Расходники отделки	Клей, ленты, абразив, краска, покрытия, салфетки
Электроэнергия	Измеренное потребление принтера, сушки и других операций
Время человека	Подготовка, снятие, обработка, сборка, контроль, комплектование
Ресурс оборудования	Принятая ставка и реальная база распределения; не списывать покупку дважды
Упаковка	Внутренняя упаковка, транспортная защита, печать вкладышей
Продажа	Комиссия, логистика, платежи, возвраты и продвижение по своему каналу
Общие расходы	Площадь, хранение, разработка, сервис и прочие фактические статьи

Время печати и время человека не складываются автоматически в длительность заказа. Часть работ может идти параллельно. Но обе нагрузки ограничивают выпуск: принтер свободен, а ручная окраска 200 символов ещё не закончена.

Учебный расчёт

Все числа ниже **условные**, это не текущие цены магазинов и не измеренное потребление P2S.

Один набор: 300 г готовых деталей, 80 г продувки, 20 г поддержек и 20 г брака. Итого 420 г при условной цене 2000 ₽/кг — **840 ₽**. Электроэнергия 1,4 кВт·ч по условным 8 ₽ — **11,20 ₽**. Фурнитура — **120 ₽**, упаковка — **180 ₽**. Ручная работа 45 минут по условным 600 ₽/час — **450 ₽**. Ресурс оборудования: 8 часов по условным 30 ₽/час — **240 ₽**.

Сумма этих статей — **1841,20 ₽**. Дополнительные расходники, доставка, комиссия, общие расходы и обязательные платежи, если они есть, добавляются отдельно. Нельзя назвать эту сумму полной себестоимостью, если нужная статья не учтена.

При цене 3000 ₽ и условной комиссии 12% сумма после комиссии и перечисленных затрат составляет **798,80 ₽**. Это ещё не чистая прибыль: остаются все не включённые расходы. Наценка 50% на затраты и маржа 50% от выручки — разные расчёты.

Сравнение конструкций

Вариант А: AMS печатает символы, человек только снимает и контролирует. Вариант В: отдельные вставки сокращают продувку, но требуют сборки. Вариант С: углубления окрашиваются вручную. Сравнивай годную партию с учётом человека, времени принтера, брака и расходников. Самый дешёвый по пластику вариант может оказаться самым дорогим по работе.

Когда нужен второй принтер

Когда есть повторяемое изделие и измеренная очередь печати, которую одна машина не закрывает. Если ограничение — ручная обработка, второй принтер увеличит незавершённый запас. Если ограничение — множество смен цвета, сначала сравни конструкцию и расход, затем оборудование с иным способом смены материала.

Для нового оборудования учитывай совместимость материалов и профилей, запасные части, обучение, обслуживание и место. Покупка разных систем добавляет возможности, но также разные процедуры. Сначала нужна ясная задача второй машины.

Практика: заполни расчёт для одного своего образца и небольшой партии. Отдельно отметить оценку слайсера, измерение и неизвестную величину.

Результат: видны главные затраты и реальное ограничение выпуска; решение о следующем оборудовании основано на данных.

Урок 26. Малая серия, упаковка и честное описание продукта

Технологическая карта

Укажи: код изделия; версию модели; материалы и партии; сопло и пластину; профиль/ЗМФ; ориентацию; количество на столе; подготовку; обработку; крепёж; клеевую систему и выдержку; контроль; комплектность; упаковку; ограничения использования.

Карта должна позволить тебе повторить результат через месяц. «Печатал белым, вроде 0,16» для этого недостаточно. Зафиксируй эталон поверхности и фотографии значимых деталей, включая низ и сборку.

Что заложить в упаковку

ЭЛЕМЕНТ	НАЗНАЧЕНИЕ	ЧТО ПРОВЕРИТЬ ДО БОЛЬШОГО ТИРАЖА
Коробка нужного размера	Хранение и подарочный вид	Реальное размещение готового набора, удобство крышки
Ложемент/перегородки	Защита и порядок	Детали не трутся и легко достаются
Хлопковый/другой мешочек	Хранение отдельных компонентов	Размер, швы, ворс, следы на поверхности
Обечайка	Графика и информация	Посадка, читаемость, стойкость печати
Карточка правил	Начать пользоваться набором	Полнота, понятность и корректность правил
Карточка ухода	Реальные ограничения материала	Без обещаний нагрева/мытья, которые не проверены
Стикер/маркировка партии	Идентификация	Код совпадает с журналом производства
Тишью/защитный материал	Предотвратить контакт и оформить	Не оставляет пыль и краситель
Транспортный гофрокороб	Защита при перевозке	Есть фиксация и запас защиты по краям

Не заказывай 100 одинаковых коробок, пока не испытан размер изделия и способ упаковки. Печатный ложемент тоже требует времени и пластика; сравни его с готовой картонной/другой подходящей вставкой.

Контроль перед отправкой

Комплектность по списку, единая версия деталей, отсутствие дефектов, правильная полярность, фиксация грузов, сухое и отверждённое покрытие, чистота, проверенный ход крышки, инструкция и код партии. Упакуй пробный набор и проверь обычное перемещение и возможные удары по собственному плану; это практическая проверка, а не универсальная сертификация перевозки.

Фотографии и описание

Покажи размер, фактуру, низ, содержимое коробки и способ хранения. Снимай физический предмет при понятном освещении. Рендер полезен для планирования, но не должен подменять вид реально изготовленного товара.

Слова «мрамор», «люцит», «металл», «экологичный» и «неубиваемый» требуют аккуратности. Укажи реальную основу и эффект: например, «PLA с декоративным мраморным рисунком». Полупрозрачный PETG не является акрилом. Не обещай отсутствие отходов, если в процессе есть брак, упаковка и неприменённые остатки.

Перед продажей проверь права на модели, графику, бренд и условия своего канала. Отдельно установи, какие обязательные требования относятся именно к категории товара и рынку. В этом курсе не назначается заочно юридическая категория каждой игры; она зависит от продукта и заявленного назначения.

Практика: собери и упакуй два одинаковых набора, сделай карту и фотографии. Попроси пользователя прототипа самостоятельно достать, собрать и убрать компоненты; запиши, где потребовалось объяснение.

Результат: набор готов к воспроизводимому изготовлению и понятному представлению без неподтверждённых свойств.

Урок 27. Отходы и переработка: отдельный процесс

Сначала предотвращение и сортировка

Переработка начинается с учёта: какой пластик, какой рецепт, сколько отходов, есть ли примесь клея, фетра, металла, другого полимера. Уменьшение лишних поддержек и смен цвета может дать более простой эффект, чем превращение всех отходов обратно в катушку.

Держи отдельные подписанные ёмкости: обычный PLA; декоративные PLA с известными добавками; PETG; остальные известные семейства; смешанный и загрязнённый материал. Для чувствительной цветовой задачи дели ещё по цветам. Продувка между PLA и PETG не становится чистым PLA только потому, что выглядит преимущественно белой.

Три маршрута

МАРШРУТ	ЧТО ПОЛУЧАЕТСЯ	ЧТО ДОПОЛНИТЕЛЬНО НУЖНО
Измельчение → экструзия → охлаждение → измерение → намотка	Новый филамент	Сортировка, сушка, режим, стабильный диаметр и испытание
Измельчение → нагрев → впрыск в форму	Готовая формованная деталь	Подходящая машина, форма, режим, вентиляция, контроль изделия
Крошка → прессование листа/плашки	Лист или декоративная заготовка	Управляемый нагрев и усилие, форма/рамка, охлаждение и последующая обработка

«Терраццо» описывает пятнистый внешний эффект. Он не требует смешивания несовместимых полимеров. Разноцветные кусочки одного известного состава — более понятный исходник, чем случайная смесь всех отходов. При повторных тепловых циклах свойства могут меняться; нужно испытывать и сырьё, и готовый предмет.

Примеры оборудования для изучения

Creality M1 + R1 — обсуждавшийся комплект изготовления филамента и измельчения. В раннем FAQ производитель рекомендовал смесь переработанного сырья с первичными гранулами для стабильности. Это показывает, что цикл включает дополнительное сырьё и контроль; точную рецептуру, актуальную поставку и условия нужно уточнять по действующей документации перед покупкой. [FAQ Creality](#).

Felfil Evo + Spooler+ + Shredder+ — пример отдельной системы экструзии, намотки/контроля и измельчения. Наличие всех узлов не отменяет настройки состава, сушки и испытания диаметра. [Комплект Felfil](#).

Injection Mini V2, Sustainable Design Studio — пример настольного впрыска в форму. Это пневматическая машина: в текущих характеристиках производитель указывает компрессор минимум 8 бар и бак 24 л, не входящий в комплект. Поэтому бюджет процесса — машина, компрессор, формы, вытяжка и рабочее место. [Injection Mini V2](#).

Arbour Injection Machine V2 того же производителя — пример другого устройства для впрыска. Сравнивай усилие/объём, рабочее пространство формы, способ управления, вытяжку и реальный полный цикл, а не только цену корпуса машины. [Arbour Injection Machine V2](#).

Это справочные примеры, а не подтверждённые поставки в РФ и не рекомендации немедленной покупки. Пластиковая FDM-форма тоже не является универсальной заменой металлической оснастки: температура, давление, износ и выбранный процесс определяют её пригодность.

Как оценить экономику

месячная выгода = ценность годного результата – первичное сырьё – энергия – расходники – обслуживание – труд – потери .

Учебный верхний предел: если есть 2 кг отходов в месяц и новый пластик стоит условные 2000 ₽/кг, полная идеальная замена даёт максимум 4000 ₽ до затрат и потерь. Это не прогноз реального объёма отходов или окупаемости. Смесь, выход, сортировка, ручная работа и брак уменьшают результат. Кроме того, переработанный материал может оказаться непригодным для прежнего изделия.

Для художественной линейки переработка может иметь самостоятельную ценность: характер поверхности, исследование и ограниченные серии. Тогда её рассматривают как отдельный производственный эксперимент с собственным бюджетом, а не гарантированную экономию на PLA.

Практика: месяц взвешивай отходы по категориям. Отметь, что можно предотвратить проектированием, что имеет чистый известный состав, а что загрязнено. Составь расчёт без предположения нулевых потерь.

Результат: известно реальное количество подходящего сырья и задача возможной переработки.

Урок 28. Итоговый проект: свой игровой набор

Выбери ограниченный проект

Подойдёт набор крестиков-ноликов с коробкой либо небольшой комплект шашек с хранением. Это достаточно большой проект, чтобы пройти весь цикл, и достаточно маленький для исправлений. Для обучения можно использовать собственные простые формы; дизайн полного коммерческого продукта потом развивать отдельно.

Последовательность

1. Опиши назначение, пользователей, размеры, палитру, условия хранения и критерии качества.
2. Выбери материал и конструкцию цвета; объясни каждое решение.
3. Создай параметрическую модель одной детали и части коробки.
4. Проверь мелкие элементы, сопряжения и ограничение размеров на коротких образцах.
5. Подготовь проект P2S в Bambu Studio и сохрани исходники.
6. Сделай одну готовую деталь: печать, отделка, фурнитура, контроль.
7. Исправь выявленный риск и напечатай вторую версию, если нужно.
8. Напечатай небольшую серию в двух отдельных запусках.
9. Измерь, отбракуй и сравни поверхности и массу.
10. Собери комплект, выдержи клей/покрытие и проверь использование.
11. Подготовь упаковку, правила и карточку ухода.
12. Заполни себестоимость по фактическим и явно оценочным данным.
13. Сделай фотографии готового предмета и значимых деталей.
14. Составь технологическую карту, ограничения и следующий эксперимент.

Что сохранить

Родные CAD-файлы, экспорты, проверенный 3MF, параметры профиля, паспорта катушек, журнал запусков, контрольные измерения, фотографии, спецификацию фурнитуры, процедуру обработки, себестоимость и описание использования.

Критерий завершения курса

Ты можешь повторить набор из сохранённого проекта, объяснить выбор материала и процесса, показать контроль качества, назвать фактические основные затраты и ограничения. Если один красивый предмет получился случайно, итоговый этап ещё не пройден. Если он воспроизводится, у тебя уже есть основа для малого производства.

Следующая версия базы знаний

Для Mikki M удобно разделить учебные сведения и страницы собственных экспериментов. У каждого эксперимента: задача, входные материалы, версия модели, файл печати, промежуточный и готовый образец, измерения, ограничения, вывод и следующий вопрос. Статусы «прочитано у производителя», «предположение» и «проверено своей печатью» помогают сохранять достоверность.

Это позволит курсу развиваться на конкретных предметах. Первые полезные страницы — палитра PLA Matte, три конструкции домино, посадки коробки и сравнение отделок одной фишки.

Приложения. Словарь, контрольные вопросы и рабочие шаблоны

Короткий словарь

ТЕРМИН	ЗНАЧЕНИЕ
FDM / FFF	Печать последовательными линиями расплавленного термопласта
Филамент	Нить материала, которую подаёт принтер
Экструдер	Узел механической подачи нити
Хотенд	Узел нагрева и плавления материала
Сопло / nozzle	Выход расплава с заданным отверстием
Hardened steel	Закалённая сталь; применяется для сопротивления износу
Stainless steel	Нержавеющая сталь; не равнозначна закалённой по износостойкости
PTFE	Материал направляющих трубок и некоторых других компонентов
Build plate	Рабочая пластина стола
PEI	Полимер покрытия ряда пластин; бывает и отдельным материалом филамента
Textured / smooth	Текстурированная / гладкая поверхность
Slicer / слайсер	Программа, рассчитывающая слои и команды печати
CAD	Среда проектирования размерной геометрии
Mesh / сетка	Поверхность, заданная вершинами, рёбрами и гранями
Manifold / корректная замкнутая сетка	Геометрия с определённым печатаемым объёмом без некорректных соединений
STL	Треугольная геометрия без полноценного проекта процесса
STEP	Формат обмена геометрией CAD
3MF	Контейнер; в слайсере может хранить модель и настройки проекта
G-code	Команды движения и операций машины
Layer height	Высота одного слоя
Line width	Расчётная ширина экструзионной линии
Wall / perimeter	Стенка или контур оболочки

ТЕРМИН	ЗНАЧЕНИЕ
Infill	Внутреннее заполнение
Top / bottom	Сплошные верхние / нижние участки оболочки
Seam	Место начала/окончания замкнутого контура
Overhang	Свес относительно опоры предыдущего слоя
Bridge	Проход между опорами через открытый участок
Support	Временная опора печати
Support interface	Контактный участок поддержки возле модели
Skirt	Контур рядом с моделью без функции крепления самой детали
Brim	Кайма, расширяющая контакт детали со столом
Raft	Печатная подложка под моделью
Retraction	Управляемое обратное движение подачи для ограничения вытекания
Flow ratio	Множитель общего объёма экструзии
Flow dynamics / pressure advance	Компенсация динамики давления расплава
Volumetric speed	Объёмный расход расплава в мм ³ /с
Ironing	Дополнительное сглаживание верхней поверхности малой подачей
Fuzzy skin	Намеренная шероховатость выбранных поверхностей
Purge / flushing	Вытеснение остатка прежнего материала
Prime tower	Вспомогательный объект для стабилизации подачи в многоцветной печати
Warping	Коробление детали
Elephant foot	Расширение нижней кромки
Stringing	Нити между участками печати
Heat creep	Нежелательное распространение тепла в зоне, где нить должна оставаться твёрдой
Ringing	Волнистые следы вибраций возле изменений движения
Under / over extrusion	Недостаточная / избыточная экструзия
Delamination	Расслоение, потеря соединения слоёв
Clearance	Зазор между сопрягаемыми поверхностями

ТЕРМИН	ЗНАЧЕНИЕ
Interference fit	Посадка с натяжением
Heat-set insert	Вставка с резьбой, устанавливаемая нагревом в пластик
RH	Относительная влажность воздуха; не содержание воды в полимере
Desiccant	Осушитель, поглощающий влагу
Tg	Температура стеклования; не универсальная рабочая температура детали
HDT	Температура деформации в определённом испытании под нагрузкой
CF / GF	Углеродные / стеклянные волокна в композите
Shore A / D	Разные шкалы твёрдости; числа напрямую не равны
TDS / SDS	Технический паспорт / паспорт безопасности
CA	Цианоакрилатный клей
Pot life / work life	Время работы с приготовленным составом
Fixture time	Время достижения указанной фиксации
Full cure	Полное отверждение по условиям производителя
Primer	Грунт либо праймер; назначение зависит от системы, эти средства не взаимозаменяемы
SKU	Код конкретной версии товара или изделия

Контрольные вопросы с ответами

- 1. Можно ли считать любой PLA Matte тем же Basic, только другого цвета?** Нет. Рецептура и свойства могут отличаться, нужен подходящий профиль и образец.
- 2. Почему два отверстия одной модели могут выйти разными?** Имеют значение направление, траектории, усадка, охлаждение и особенности нижних слоёв.
- 3. Показывает ли AMS 15% RH, что катушка уже высушена?** Нет. Это воздух в месте датчика, а не измерение воды внутри полимера.
- 4. Заменяет ли осушитель активную сушилку?** Он помогает удерживать сухую среду; требуемый цикл удаления влаги из материала может быть другой задачей.
- 5. Нужна ли P2S Combo отдельная сушилка сразу?** Не обязательно: встроенная сушилка в простое может закрыть старт. Следующая покупка зависит от очереди, материалов и требуемого режима.

6. **Можно ли сушить PLA и PETG вместе на режиме PETG?** Только если инструкции всех находящихся внутри материалов и катушек допускают этот режим. Обычно для полного более горячего цикла PLA убирают.
7. **Можно ли вставить в P2S стандартный хотенд A1?** Нет; нужно проверить точный артикул совместимой серии.
8. **Подходит ли сопло 0,2 мм для любого красивого пластика?** Нет. Наполнители, абразивность и размер частиц требуют конкретной матрицы совместимости.
9. **Почему 100% infill не решает любую проблему прочности?** Важны оболочка, направление слоёв, сцепление, материал, форма и нагрузка.
10. **Чем отличаются Flow Ratio и Flow Dynamics?** Первый меняет общий объём; второй компенсирует давление при изменении движения.
11. **Станет ли отсутствующий в Preview символ видимым после увеличения температуры?** Нет. Сначала нужно получить его траектории изменением геометрии или подходящего сопла/параметров.
12. **Обязательно ли AMS для двухцветной игры?** Нет. Возможны разные одноцветные партии, вставки и подходящая смена по высоте.
13. **Почему маленькая многоцветная деталь может быть невыгодной?** Смены и продувка могут составить большую часть времени и расхода.
14. **Что проверять перед применением клея?** Материалы обеих сторон, зазор, площадь, нагрузку, поверхность, подготовку, время работы и полное отверждение.
15. **Означает ли «клей схватился» готовность к нагрузке?** Нет. Фиксация и полное отверждение различаются.
16. **Можно ли считать любую печатную кость сбалансированной?** Нет. Внутренняя масса и геометрия имеют значение, а небольшой тест не доказывает строгую честности.
17. **Что показывает катушка PETG с отметкой о пищевом сырье?** Сведения о конкретном сырье/рецепте; готовое изделие имеет дополнительные условия и требования.
18. **Когда второй принтер увеличит выпуск?** Когда печать является реальным ограничением и есть стабильный продукт; при ограничении сборкой он может лишь увеличить очередь полуфабрикатов.
19. **Можно ли смешать все отходы ради эффекта терраццо?** Случайная смесь затрудняет контроль. Нужны известные совместимые материалы и испытание процесса.
20. **Какой результат завершает обучение базе?** Воспроизводимый готовый набор с исходниками, профилем, контролем, учётом затрат и известными ограничениями.

Рабочая тетрадь

В файле [3d-printing-workbook.xlsx](#) подготовлены листы:

- **Маршрут:** 28 уроков, задание, критерий и поля своего результата.

- **Катушки:** паспорта, сушка, хранение, остаток при известной таре.
- **Печати:** журнал проекта, настроек, времени, расхода и качества.
- **Качество:** размеры, масса, дефекты и статус экземпляра.
- **Эксперименты:** вопрос, гипотеза, изменение, критерий и вывод.
- **Себестоимость:** ввод расхода и времени, расчёт статей, цены и условной комиссии.
- **Пример расчёта:** отдельный учебный пример на вымышленных данных.
- **Сервис:** обслуживание и контроль после операции.
- **Отходы:** сортировка и масса.

Синим выделены поля ввода, вычисляемые поля выделены отдельно. Пустая ячейка означает отсутствие данных; неизвестные значения не следует заменять нулём. В расчёте себестоимости один учебный пример заполнен отдельно от шаблона. Данные реальных закупок и печатей не внесены, поскольку их ещё нет.

Сжатый порядок первой недели

1. Проверить комплектацию, выбранный артикул запасного хотенда и место принтера.
2. Подготовить сухое хранение и паспорт одной PLA-катушки.
3. Настроить P2S в Bambu Studio и напечатать простой одноцветный образец.
4. Повторить его, сравнить низ, верх, шов и размеры.
5. Создать простую размерную модель своей фишки.
6. Напечатать вариант посадки/кромки, записать изменение.
7. Выбрать первый игровой проект и список следующей небольшой покупки.

Неделю можно растянуть. Смысл последовательности — получить понятный исходник, повторить его и только затем добавить новую сложность.

Как поддерживать базу знаний

Факт производителя: источник, дата, точный SKU. Учебная гипотеза: причина и план проверки. Собственный результат: исходные файлы, условия, измерение и фото. Изменение вывода: что появилось нового и какая запись теперь актуальна.

Хорошая запись содержит достаточно данных, чтобы повторить работу, но не превращается в склад всех случайных советов. Общий курс отвечает «как понимать процесс», справочники — «что проверить перед выбором», эксперименты — «что получилось в нашей мастерской».

Конец редакции 1.0. Собственные результаты дополняют курс после печати и измерения. Первичные источники находятся рядом с соответствующими сведениями.