

Владимирский государственный университет

Н. В. ХРУСТАЛЕВА

**ОСОБЕННОСТИ 3D-ПЕЧАТИ
И ФОТОГРАММЕТРИИ**

Учебное пособие

Владимир 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Н. В. ХРУСТАЛЕВА

ОСОБЕННОСТИ 3D-ПЕЧАТИ И ФОТОГРАММЕТРИИ

Учебное пособие

Электронное издание



Владимир 2023

ISBN 978-5-9984-1891-4

© Хрусталева Н. В., 2023

УДК 004.925.8

ББК 32.972.131.2

Рецензенты:

Кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры технологического и экономического образования
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. А. Игонин

Кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры физико-математического образования
и информационных технологий
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А. В. Гончаров

Кандидат педагогических наук, доцент
директор МАОУ «Промышленно-коммерческий лицей» (г. Владимир)
В. Е. Емельянов

Хрусталева, Н. В. Особенности 3D-печати и фотограмметрии :
учеб. пособие / Н. В. Хрусталева ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г.
Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2023. – 200 с. – ISBN 978-5-
9984-1891-4. – Электрон. дан. (14,7 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-
ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ;
Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Приведены сведения о современном состоянии отрасли трехмерной печати, ее перспективах и направлениях развития. Описаны основные существующие технологии и методы трехмерной печати, пригодные для этих методов материалы. Представлены примеры обработки моделей при помощи метода фотограмметрии.

Учебное пособие предназначено студентам вузов направления подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование», изучающим дисциплины «3D-моделирование в техническом творчестве», «Компьютерная графика».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 115. Библиогр.: 18 назв.

ISBN 978-5-9984-1891-4

© Хрусталева Н. В., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ.....	8
1.1. Моделирование методом послойного наплавления (FDM).....	8
1.2. Технология многоструйного моделирования (MJM).....	14
1.3. Изготовление объектов методом ламинирования.....	20
1.4. Прямое лазерное спекание металлов (DMLS).....	24
1.5. Стереолитография.....	30
1.6. Струйная трехмерная печать(3DP).....	37
1.7. Технология ламинирование методом селективного осаждения (SDL).....	43
1.8. Цветная струйная печать (CJP).....	50
1.9. Ювелирный 3D-принтер и 3D-печать металлами.....	55
1.10 Кондитерские 3D-принтеры, 3D-печать шоколадом.....	62
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ.....	70
2.1. ABS-ПЛАСТИК.....	70
2.2. PLA-пластик.....	75
2.3. PET-пластик.....	81
2.4 PVA-пластик для печати.....	88
2.5 Полистирол для 3D-печати.....	94
2.6 Laywoo-D3 для 3D-печати.....	98
Глава 3. 3D-СКАНЕР.....	106
Глава 4. ТРЕХМЕРНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ.....	114
Вопросы для самопроверки.....	154
Задания для самостоятельной работы.....	155
Словарь терминов.....	192
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	196
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	197

ПРЕДИСЛОВИЕ

Трехмерный принтер – это устройство, которое использует цифровую компьютерную модель для создания объемных физических объектов путем последовательного нанесения слоев материала. В отличие от ручной разработки, которая занимала недели или даже месяцы, 3D-принтер способен создать модель будущего изделия за несколько часов. Эта технология полностью исключает возможность ошибок, которые могут возникнуть при работе человека. Почти любой объемный объект, представленный в цифровом формате, может быть напечатан на трехмерном принтере. Многие компании осознают, что трехмерная печать принесет значительные изменения в производство и постепенно внедряют эту технологию в различные отрасли, такие как машиностроение, строительство, медицина, пищевая промышленность, ювелирное искусство и др.

Изучение студентами материала, представленного в учебном пособии, поможет сформировать базу для выполнения лабораторных и практических работ, получить навыки работы с 3D-печатью при проектировании объектов. Учебное пособие может представлять интерес как для студентов высших учебных заведений, так и специалистов, работающих с 3D-печатью.

ВВЕДЕНИЕ

3D-принтер - это устройство, которое создает физический объект по цифровой 3D-модели. В настоящее время существует много различных 3D-принтеров разных фирм, которые используют разные материалы для печати. Поэтому, перед тем как приступить к подготовке модели к печати, необходимо определиться с выбором принтера и материала, наиболее подходящих для данной модели.

Принтеры по технологии 3D-печати можно разделить на семь видов.

1. FDM (fused deposition modeling) – это метод послойного наплавления. Принтеры этого типа выдавливают материал через сопло-дозатор слой за слоем. Сейчас это самый популярный вид принтеров. Печатающая головка состоит из нагревателя, в котором пластик расплавляется, и сопла, через которое пластик выдавливается. Также в принтерах такого типа есть подающий механизм, который дозирует материал в нагреватель. Эти принтеры могут использовать не только пластик, но и другие материалы, такие как различные кулинарные ингредиенты. Некоторые медицинские принтеры этого типа даже могут использовать гель с живыми клетками.

2. Технология Polyjet - это метод печати, при котором маленькие дозы фотополимера выстреливаются из тонких сопел, а затем полимеризуются на поверхности изготавливаемого девайса под воздействием ультрафиолетового излучения. По сравнению со стереолитографией, Polyjet позволяет использовать различные материалы. Основные преимущества данной технологии - быстрая печать и возможность нанесения слоя толщиной до 16 микрон. Отметим, что клетка крови имеет размер около 10 микрон. Однако, минусом данной технологии является ограничение на использование только фотополимера, что делает его дорогим и хрупким материалом. Принтеры, использующие технологию Polyjet, находят применение в промышленном прототипировании и медицине.

3. Технология LENS (Laser Engineered Net Shaping), применяемая в промышленности, позволяет упростить процесс создания трех-

мерных объектов из стали и титана. Этот метод основывается на использовании лазерного луча, который фокусируется на порошковом материале, выдуваемом из сопла. При воздействии лазера на порошок, часть его спекается и слоями формирует трехмерную структуру. Одной из особенностей этой технологии является возможность смешивания различных материалов для получения сплавов. Это позволяет создавать объекты с уникальными свойствами и характеристиками. LENS – это инновационный подход к процессу изготовления металлических изделий, который облегчает и ускоряет производство и позволяет получить высококачественные и точные результаты. Эта технология является незаменимым инструментом для современной промышленности.

4. LOM (laminated object manufacturing). Здесь с помощью ножа или лазера сначала нарезаются тонкие ламинированные листы материала, а затем листы прессуются и спекаются или склеиваются в трехмерный объект. Таким образом можно делать модели из бумаги, пластика или алюминия. В случае алюминиевых моделей используется тонкая алюминиевая фольга, которая вырезается по контуру слой за слоем, а затем спекается с помощью ультразвуковой вибрации.

5. Стереолитография (SL) - это специфический метод печати, который требует особых мер безопасности и защитных средств из-за токсичности используемого фотополимера. Процесс печати заключается в использовании небольшой ванны с жидким полимером, над которой проходит луч лазера, излучающий ультрафиолетовые лучи. Под воздействием лазера, поверхность материала полимеризуется. Затем платформа с деталью опускается, и жидкий полимер заполняет пустоты, после чего следующий слой запекается. Этот процесс повторяется до завершения печати. После печати объект требует постобработки, включающей удаление материалов поддержки и шлифовку. Иногда модель может быть запечатана в ультрафиолетовых духовках для придания необходимых свойств. Основными достоинствами данной технологии являются скорость и точность работы (до 10 микрон). Однако использование такого принтера в домашних условиях является сложным и дорогостоящим процессом.

6. LS (лазерное спекание) - это метод печати, который напоминает SL (стереолитографию), но отличается использованием по-

рошка вместо жидкого полимера. В этом методе порошок спекается лазером. В таком случае идет более надежная печать, поскольку порошок обеспечивает надежную поддержку. При этом порошковые материалы доступнее для покупки.

7. 3DP (three dimensional printing) является процессом создания физических объектов путем последовательного сложения материала в трехмерном пространстве. В случае 3DP метода, используется порошковый материал и клей для связывания гранул. Этот процесс повторяется, создавая модель, которая имеет сходство с гипсом. Легко печатать цветные объекты, добавляя краску в клей. Есть возможность использования в офисных и домашних условиях, к тому же используя любой порошок в качестве материала, даже съедобный.

Глава 1

ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

1.1. Моделирование методом послойного наплавления (FDM)

Моделирование методом послойного наплавления (FDM или Fused Deposition Modeling) – это один из самых популярных методов для создания трехмерных моделей в настоящее время.

Технология FDM представляет собой создание 3D-объектов посредством нанесения слоев материалом, повторяющих модель цифрового объекта.

Данный метод был создан С. Скоттом Крампом и его женой Лизой Крамп в 1989 году и представлен на рынке компанией Stratasys в 1990 году. Крамп хотел сделать для своей дочери игрушечную лягушку за год до этого, поэтому он решил сделать ее с помощью пластика и свечного воска, используя пистолет с горячим клеем, чтобы наплавливать слои и придавать нужную форму. Процесс был долгим и он решил его автоматизировать.

В 2000 годах начали появляться любительские 3D-принтеры. Спустя годы к семейству FDM присоединились и машины промышленного класса.

С 2006 года все начало меняться, после основания проекта RepRap. Их целью было создать самокопирующий 3D-принтер. Почти все его детали соединялись печатными деталями, он был похож на самоделку, но все же работал. Участники проекта придумали этому методу свое название, чтобы избежать авторских прав – FFF (расшифровывается – fused filament fabrication (производство способом наплавления нитей)).

Еще одна компания Ultimaker разработали свой принтер из деталей, сделанных из фанеры.

Существует еще достаточно большое количество компаний и проектов, которые позволили FDM стать более доступным. И благодаря их популярности, принтеры и расходники к ним стали довольно экономичными.

Создание моделей методом FDM, представляет собой выдавливание некоторого количества филамента (материал на основе полимеров или их сочетаний, вытянутый в виде нити) через сопло экструдера на платформу принтера.

На рис. 1.1 показана конструкция FDM принтера – главный экструдер используется для подачи основного филамента, а второй управляет вспомогательной конструкцией. Такие принтеры способны печатать двумя разными материалами или цветами. Экструдер может перемещаться по осям X и Y, а рабочая платформа в вверх и вниз. Платформа должна опускаться после каждого напечатанного слоя.

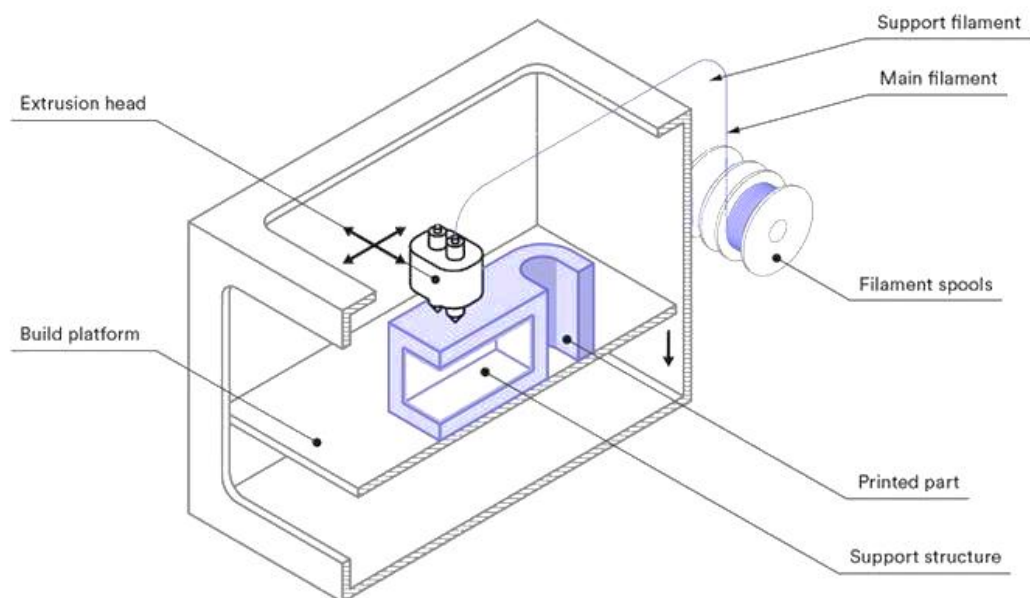


Рис. 1.1. FDM-принтер

Если описывать процесс печати на FDM-принтере, то будет следующий алгоритм действий: сначала подготавливается 3D-модель объекта в специальном ПО; далее файл импортируется в программу принтера и там устанавливаются необходимые параметры печати: высота слоя, ориентация, процесс заполнения; программа сама разрезает модель на слои. Процесс печати начинается нагрева платформы для контроля охлаждения экстрагируемого материала. Когда экструдер нагревается до нужной температуры, филамент начинает плавиться и выходит из сопла, распределяясь по платформе (рис. 1.2). После того как слой напечатается, головка экструдера перемещается по оси Z на высоту слоя и цикл печати повторяется. Когда модель напечатана, ее нужно снять с платформы и очистить от поддержек.

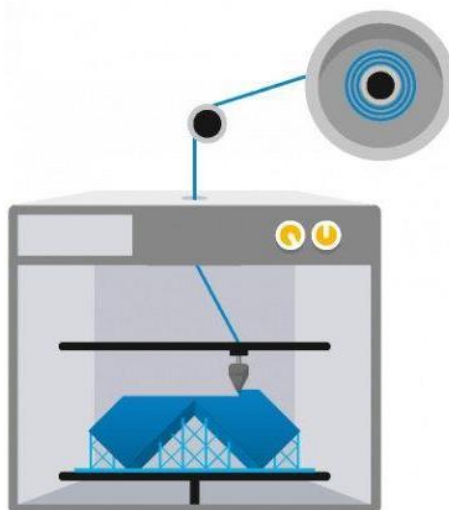


Рис. 1.2. Технология печати FDM

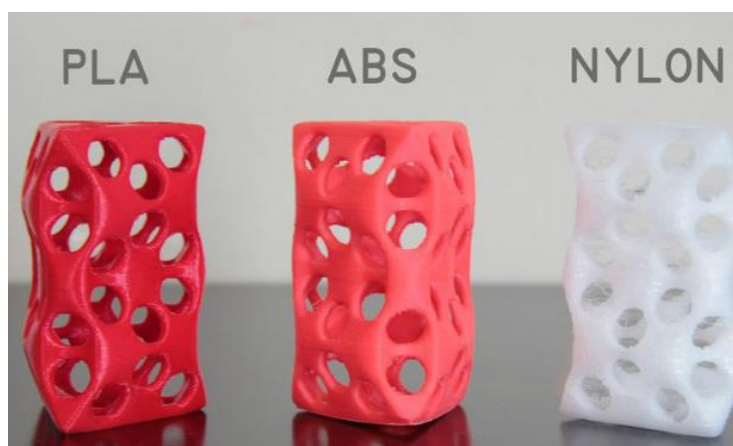


Рис. 1.3. FDM-принтер

Одной из особенностей этого метода является возможность использования различных типов материалов. Материалы могут варьироваться от пластмасс до металлов, что позволяет создавать объекты различных форм, размеров. Материалы влияют на цену печати, а также на механические свойства и точность печати. Основные материалы представлены на рис. 1.3

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene, «акрилонитрил-бутадиенстирол») – полностью синтетический материал. Он достаточно прочный, имеет высокий срок эксплуатации, легко поддается постобработке и имеет достаточно низкую цену, но может дать усадку при печати и плохо переносит солнечный свет. Детали полученные из данного материалы могут долгое время работать при температурах от -40 до +80 градусов Цельсия. При обработке ацетоном дает глянцевый вид. У него самая широкая цветовая гамма на рынке. Из данного пластика можно делать корпуса, декоративные изделия, пластиковые запчасти и многое другое.

PLA (Polylactic Acid, «полимолочная кислота») изготавливается из молочной кислоты, которую добывают из кукурузы, картофеля, сахарного тростника, то есть является натуральным продуктом. Не представляет никакой опасности при печати. Из достоинств следует отметить не токсичность, прочность, имеет большую цветовую гамму, хорошо обрабатывается. Главный его минус, то что он разлагается спустя время, становится хрупким при -10. Данный пластик можно исполь-

зовать при печати декоративных изделий, корпусов, изделий с точными геометрическими размерами.

Нейлон изготавливают из полиамидного порошка. Один из самых прочных материалов для печати, а также обладает термостойкостью, не токсичностью, химической стойкостью (рис. 1.4). Главными минусами является высокая цена, высокая усадка, имеет всего два цвета (полупрозрачный, черный). Из него делают крепежи, шестерни, шарниры.

TPU (Thermoplastic Polyurethane, «термопластичный полиуретан») – мягкий пластик, похожий на резину. Прочный на разрыв и удар, мягкий, гибкий, водостойкий. Из минусов: непростая печать, плохая прилипаемость к столу, невысокая скорость печати. Из него можно изготавливать колеса, трубки, уплотнители, игрушки, чехлы.



Рис. 1.4. Изделие из нейлона



Рис. 1.5. Поддержки при печати

Для того чтобы изделие выглядели симпатичнее, оно подвергается постобработке. Существует множество способов обработки готовых объектов.

Поддержки из таких материалов, как PLA, ABS, PC, нейлон удаляются вручную (рис. 1.5). Плоскогубцами или с помощью других инструментов. Поддержки из растворимых материалов HIPS (применяется вместе с ABS) и PVA растворяются в лимонной кислоте или воде.

Готовые модели можно обработать шлифовкой. Этот процесс занимает много времени и может повредить изделие. ABS модели можно сгладить паром ацетона. Но этот способ очень опасен, так как ацетон испускает ядовитые пары, поверхность изделия под воздействие слоев плавится и становится гладкой.

Следующий этап – полировка. Он почти не отличается от шлифовки, просто происходит это с помощью мелкой наждачки или тканью с полирующей пастой.

Если нужно изменить цвет модели, то нужно ее сначала загрунтовать. Грунтовка наносится только уже на гладкую и обработанную поверхность. И только после этого приступать к покраске. Красить можно с помощью кисти или распылителя. И в конце получится готовая модель с уникальным и профессиональным видом.

Метод FDM печати обладает рядом преимуществ перед другими методами моделирования. Он является более доступным и экономичным, поскольку пластиковые материалы обходятся значительно дешевле, чем другие материалы. Кроме того, этот метод намного быстрее, что позволяет максимально сэкономить время при разработке новых изделий. Из-за своей простоты, даже начинающий пользователь справится с созданием FDM. Кроме того, метод послойного наплавления позволяет создавать сложные и устойчивые модели. Для FDM метода существует большое количество принтеров, с ним может работать даже ребенок.

Как и у других методов, у послойного наплавления есть недостатки. Печать приводит к видимым линиям, которые потом нужно обрабатывать для получения гладкости. FDM-технология имеет погрешность в 0,1 мм, что недопустимо в некоторых отраслях, например, медицине и авиации. Принтеры с FDM-печатью потребляют много электроэнергии, это вытекает из-за низкой скорости печати. Почти после каждой работы нужно обслуживать принтер: чистить экструдер, смазывать рельсы и менять сопло.

В целом, можно отметить значительный перевес преимуществ над недостатками, и сказать, что данный вид 3D-печати вполне приемлем для использования почти в любой сфере.

Благодаря универсальности принтеров и разнообразию материалов FDM-печать имеет широкий круг применения.

Одним из основных применений FDM-печати является производство прототипов и образцов для тестирования и исследования. Это позволяет производителям быстро и эффективно проверять форму, размеры и функциональность продукта перед его массовым производством.

Также FDM-печать широко используется в авиации и автомобилестроении для производства запасных частей и инструментов. Этот метод позволяет быстро и недорого создавать детали, которые могут быть сложными или даже невозможными для производства с использованием традиционных методов.



Рис. 1.6. Печать протеза на 3D-принтере

В медицине с помощью данного метода печати создают протезы для фиксации переломов и механические протезы, что удешевляет и ускоряет процесс создания (рис. 1.6).

В киноиндустрии печатают различные реквизиты, элементы костюмов и многое другое. Также используется в архитектуре при создании макетов. Такой метод облегчает создание сложных макетов зданий и ландшафтов (рис. 1.7).

FDM-печать нашла применение и в образовании. С помощью неё создают модели разных объектов для наглядности, что позволяет учащимся развивать образное мышление.

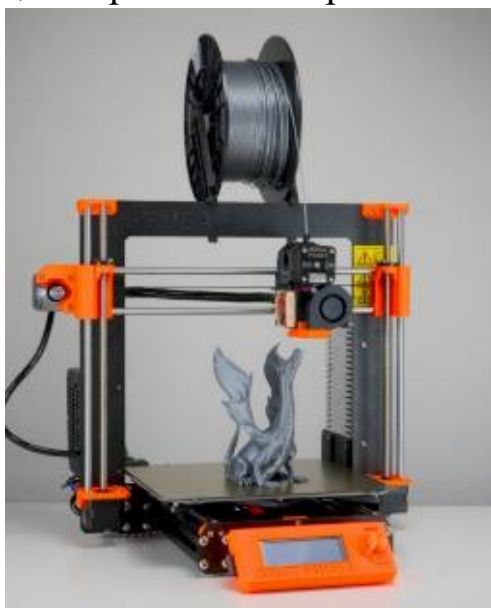


Рис. 1.7. 3D-принтер

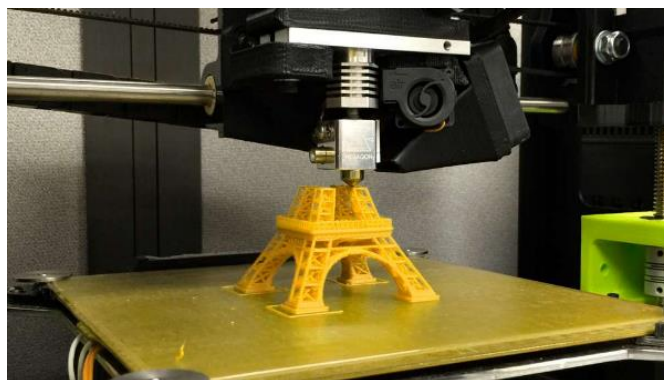


Рис. 1.8. Печать на 3D-принтере

FDM-печать может применяться для создания эстетических объектов, таких как украшения, сувениры и другие декоративные изделия. Это может быть особенно полезно для производства индивидуальных и уникальных объектов, которые могут быть трудными для создания

вручную с помощью традиционных методов массового производства.

FDM-печать имеет очень широкий охват применений, включая производство прототипов, запасных частей, украшений и декоративных объектов. Этот метод является быстрым, точным и доступным, что делает его очень популярным в различных областях промышленности (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Печать детали



Рис. 1.10. Напечатанный макет

В завершение, следует отметить, что метод FDM является одним из наиболее популярных и универсальных среди многих методов создания 3D-моделей. Он обладает большим числом преимуществ, таких как гибкость в выборе материалов, высокую точность, дешевизну и быстроту производства. Благодаря этому методу стало возможным создание деталей высокой сложности, которые ранее были невозможными.

1.2. Технология многоструйного моделирования (MJM)

MJM – технология 3D-печати, где жидкий фотополимер или воск слоями наносится на сборочную платформу через множество сопел в печатающей голове принтера. Отверждение происходит посредством ультрафиолета. Печать происходит по предварительно загруженной 3D-модели.

Этот метод 3D-печати подойдет для ювелиров, которым нужны точные мастер-модели для выплавки своих изделий. Высокая степень детализации так же подойдет для моделистов и конструкторов разной направленности для печати сложных, тонкостенных корпусов и деталей.

Многоструйное моделирование (или многоструйная печать) –

одна из фундаментальных аддитивных технологий, которая основана на послойном построении объекта из воска или фотополимера. Этот метод разработан и запатентован компанией 3D Systems под названием MultiJet Printing (MJP). Другое название технологии – MultiJet Modeling (MJM). С ее помощью изготавливают высокоточные детали и модели любой сложности, используемые в самых разных отраслях промышленности (рис. 1.11).

Одна из особенностей MJP, которая сближает ее с лазерной стереолитографией (SLA), – наличие так называемых поддержек (поддерживающих структур) для выступающих или нависающих элементов детали, предназначенной для 3D-печати. По завершении построения в 3D-принтере поддержки с легкостью удаляются.

Трехмерная модель рассекается в программном обеспечении САД на горизонтальные слои, которые затем отправляются на печать.

Технология MJP функционирует по аналогии с обычной струйной печатью. Слой наносится печатающей головкой, оснащенной множеством мельчайших сопел, через которые на горизонтальную платформу подается модельный материал. Число сопел в разных моделях 3D-принтеров варьируется от 96 до 448. Печатающая головка напыляет материал по контурам слоя модели. Еще одна головка предназначена для разравнивания каждого нового слоя.

Воск или фотополимер расплавляется в подогреваемом при температуре 80 С картридже еще до попадания в печатающую головку.

После нанесения слоя фотополимер подвергается засвечиванию ультрафиолетовой лампой и затвердевает. Модель, напечатанная из воска, охлаждается естественным путем.

Заключительный этап – удаление поддерживающих структур. Если модель печатается из воска, поддержку удаляют специальным раствором. При использовании фотополимера изделие помещается в печь, где поддержка выплавляется при высокой температуре (примерно 60 С). Сложным изделиям требуется дополнительная обработка в ультразвуковой ванне.

Изначально в устройствах многоструйной печати применялись термопластики; в современных моделях, как мы уже упомянули, используются восковые и фотополимерные материалы.

При печати воском для изделия подбирают более твердый, а для

поддержек – более мягкий или легкоплавкий воск. Полученные объекты идеальны для изготовления литьевых форм.

Что касается фотополимеров, многообразие свойств делает эти материалы по-настоящему универсальными. Фотополимерные модели могут иметь различные цвета, быть эластичными и жесткими, матовыми и прозрачными, композитными, термостойкими, биосовместимыми, схожими по свойствам с полипропиленом и ABS-пластиковыми и обладать многими другими характеристиками. Благодаря такому разнообразию они используются в широком спектре отраслей – от производства обуви до авиакосмической промышленности.

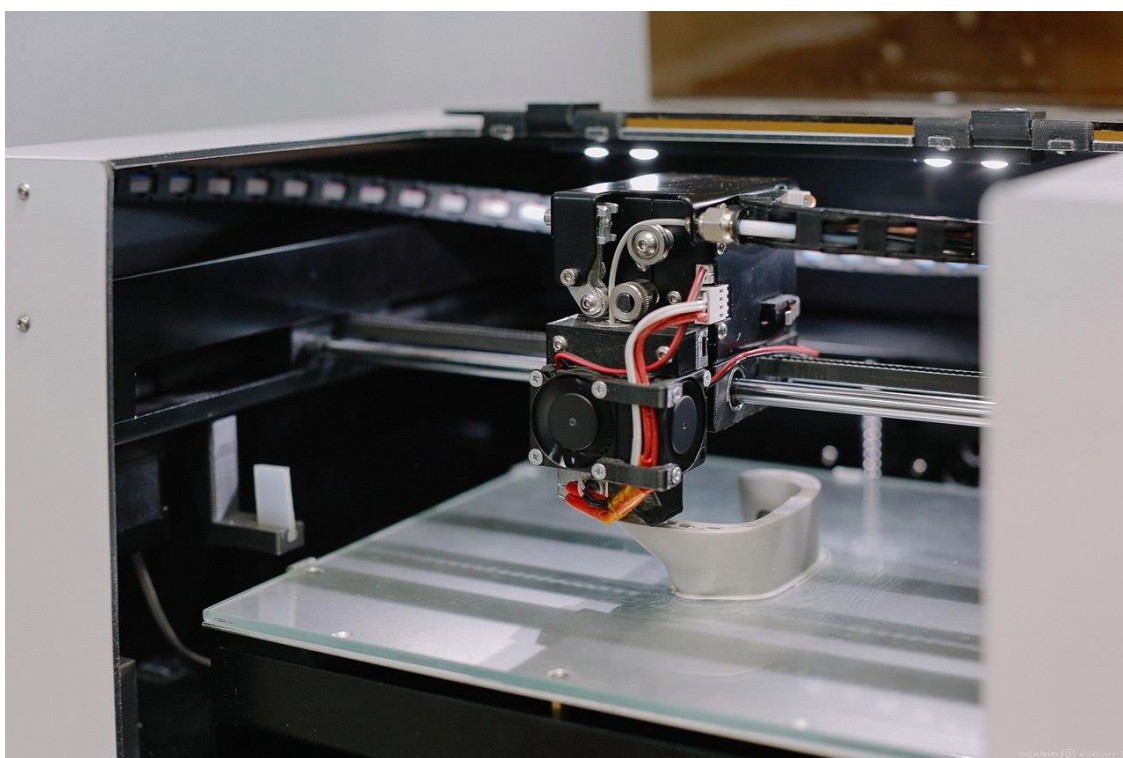


Рис. 1.11. Печать MJM

Технология многоструйного моделирования (MJM), также известная как мульти-джет печать, была разработана компанией 3D Systems в конце 1980-х годов. Ранняя версия этой технологии называлась "Multi-Jet Modeling".

Начальная версия MJM использовала жидкие смолы, которые были выдавлены из двух маленьких игл под небольшим напором, чтобы распылить материал в слое над поверхностью, которую необходимо было создать. Если смола готовилась с фото-инициатором, ее можно было затвердеть ультрафиолетовым светом, связывая соседние

слои в процессе создания объекта.

С тех пор технология MJM была усовершенствована, и на сегодняшний день использует множество игл (обычно от 16 до 32) и специальные материалы с высокой точностью и детализацией. Таким образом, эта технология поддерживает создание более сложных объектов, чем в ее первоначальной версии.

Точный химический состав материалов, используемых в технологии многоструйного моделирования (MJM), может различаться в зависимости от производителя и модели принтера. Однако обычно в MJM используются жидкие смолы на основе акрилата или эпокси, которые содержат различные добавки, такие как фотоинициаторы и модификаторы потока.

В жидких смолах для MJM используют фотоинициаторы, который активируются ультрафиолетовым светом и приводят к затверждению смолы. Также для улучшения потока и качества печати могут использоваться микро- и макро-добавки.

Некоторые производители используют композиционные материалы на основе керамики и металлов, который дополнительно обрабатываются после печати и обеспечивают более высокую точность и функциональность готового изделия.

Конкретный состав материала, который используется в технологии MJM, может отличаться в зависимости от производителя и модели принтера, и изготовитель обычно предоставляет подробную информацию о составе материала вместе с инструкциями по эксплуатации принтера.

Технология многоструйного моделирования (MJM) отличается от других технологий аддитивного производства, таких как FDM (фузионное 3D-моделирование) и SLA (стереолитография).

Основное отличие MJM от FDM заключается в том, что в первом случае материал подается на печать в жидком состоянии, а затем затвердевает благодаря ультрафиолетовому свету. В FDM печать происходит путем нанесения пластика, который затвердевает при помощи раскаленного сопла.

MJM также отличается от SLA тем, что в этой технологии используются жидкие смолы, которые затвердевают при воздействии ультрафиолетового света. В SLA жидкая смола также затвердевает при воздействии ультрафиолетового света, но в этом случае изделие создается

путем проекции ультрафиолетового луча на поверхность жидкой смолы.

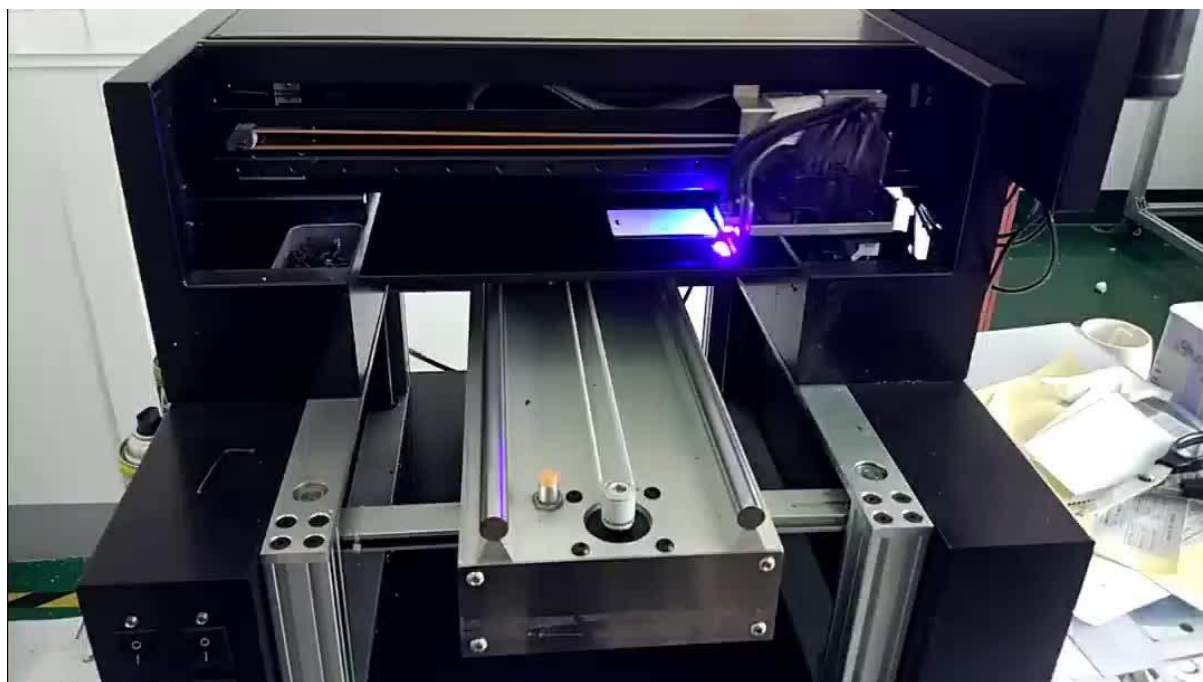


Рис. 1.12. 3D-принтер MJM

MJM также отличается от других технологий аддитивного производства тем, что этот процесс обеспечивает более высокую точность изготовления изделий, возможность создания высоко детализированных деталей, а также использование широкого спектра материалов с различными свойствами.

Технология многоструйного моделирования (MJM) имеет следующие преимущества:

1. **Высокая точность:** техника подходит для создания очень подробных и сложных деталей, которые могут быть воспроизведены с точностью до 0,025 мм.

2. **Широкий выбор материалов:** MJM может использовать различные материалы, включая полимеры, керамику, металлы и другие.

3. **Низкие затраты на материал:** этот метод использует только необходимое количество материала, что значительно снижает расходы на производство.

4. **Высокая скорость производства:** технология MJM может работать со многими струнами одновременно, что позволяет эффективно производить несколько деталей одновременно.

5. **Уменьшение отходов:** этот метод минимизирует количество

отходов, что очень важно для экологически чистого производства.

6. Снижение времени производства: производство методом MJM проходит очень быстро, что позволяет значительно снизить время доставки готовой продукции до потребителя.

В целом, технология многоструйного моделирования (MJM) обладает множеством преимуществ, которые делают ее привлекательной для различных отраслей промышленности, таких как медицина, автомобильная промышленность, аэрокосмическая промышленность и другие.

Как и любая другая технология, технология многоструйного моделирования (MJM) имеет свои минусы:

- Высокая стоимость: технология MJM намного дороже чем отдельные технологии 3D-печати, что ограничивает ее использование для небольших предприятий или небольших тиражей.

- Низкая производительность: по сравнению со скоростью других технологий 3D-печати, производительность техники MJM относительно низкая, что может задерживать процесс производства.

- Ограниченный выбор материалов: хотя технология этой техники и может использоваться для различных материалов, не все материалы могут быть использованы при этом методе.

- Ограниченный размер изделий: из-за ограниченности размера печатной платформы, технология MJM не может использоваться для производства очень крупных предметов.

- Трудно удаляемые поддерживающие конструкции: при использовании технологии MJM могут возникнуть проблемы с удалением поддерживающих конструкций, которые не могут быть использованы в готовом продукте.

В целом, несмотря на некоторые недостатки, технология многоструйного моделирования (MJM) является одним из самых точных, экологичных и производительных методов 3D-печати, доступных на рынке.

Технология многоструйного моделирования (MJM) имеет свои особенности в работе. Некоторые из них включают:

1. Подготовка модели: прежде чем начать работу с технологией MJM, необходимо тщательно подготовить модель. Это включает в себя обеспечение правильности размеров и форм, а также создание подходящих конструкций поддержки.

2. Использование специальных материалов: для работы с технологией MJM, необходимо использовать специальные смолы, которые могут быть дорогими и сложными для получения.

3. Необходимость очистки: после печати, 3D-модель должна быть очищена от остатков материала и поддержки. Это может потребовать использования растворителей, которые могут быть токсичными.

4. Затраты на обслуживание: технология MJM может требовать дополнительных затрат на обслуживание как оборудования, так и материалов для печати.

5. Обеспечение безопасности: технология MJM может быть опасной при неправильном использовании. При работе с оборудованием необходимо соблюдать все необходимые меры предосторожности и использовать соответствующую защитную экипировку.

6. Необходимость обучения: для успешной работы с технологией MJM, пользователи обычно требуют дополнительного обучения, чтобы научиться использовать оборудование, программное обеспечение и материалы для печати.

В целом, технология многоструйного моделирования (MJM) может быть очень полезной для проектирования и производства 3D-моделей высокого качества. Однако, перед использованием технологии необходимо учитывать ее особенности и подготовиться к работе с ней.

1.3. Изготовление объектов методом ламинирования

Ламинирование - это метод изготовления объектов, который основывается на соединении слоев материалов с применением специальной смолы или клея. Можно ламинировать различные материалы, например, стекловолокно, кевларовую ткань или углеродную ткань. Обычно в качестве смол используются полиэфир, полиэфирамиды или эпоксидные смолы.

История и развитие метода ламинирования простираются на несколько десятилетий. В начале 20 века ламинирование использовалось для изготовления красивых изделий, таких как коробки, стулья и другие предметы быта. Однако с появлением новых технологий и более прочных материалов, метод ламинирования стал активно применяться в различных отраслях промышленности.

В 1940-х годах ламинирование стало процессом производства

авиационных деталей, таких как крылья и фюзеляжи. Благодаря использованию ламинирования была достигнута более высокая прочность деталей.

В последующие годы технологии ламинирования продолжали совершенствоваться и находить новые области применения. В настоящее время ламинирование используется для производства многих объектов, таких как лодки, автомобильные детали, спортивные снаряды, трубы и т.д.

Одним из ключевых факторов, приведших к успешному развитию ламинирования, было создание новых и более прочных материалов. Появившиеся в 1950-х годах стеклопластиковые ламинаты стали основой многих промышленных процессов и оставались основным материалом для ламинирования в течение десятков лет.

В настоящее время ламинирование используют для изготовления различных типов продукции, включая двери, окна, трубы, части корпусов самолетов, автомобилей, спортивные суда и многое другое. Этот метод изготовления обладает рядом преимуществ, таких как высокая прочность, устойчивость к воздействию солнечной радиации и воды, а также эстетическая привлекательность.

Для ламинирования могут быть использованы различные материалы, включая стекловолокно, углеродное волокно, арамидные волокна, алюминиевые и титановые фольги, полимеры и даже натуральные материалы, такие как дерево. Каждый из этих материалов имеет свои уникальные свойства, которые могут быть использованы для создания ламинированных изделий. Так, стекловолокно обладает высокой прочностью, жесткостью и устойчивостью к коррозии; углеродное волокно - высокой прочностью и жесткостью; арамидные волокна - высокой прочностью, термической и химической стойкостью; алюминиевые и титановые фольги - исключительной прочностью и стойкостью к высоким температурам и коррозии; полимеры - высокой износостойкостью и устойчивостью к химическому воздействию; натуральные материалы, такие как дерево - высокой прочностью и устойчивостью к внешним факторам. Каждый из материалов может быть использован для ламинирования в зависимости от конкретного проекта и требований к изделию.

В зависимости от области применения, при ламинировании могут

применяться различные методы и технологии, такие как вакуумное ламинирование, ручное ламинирование, автоматическое формование и другие.

Метод ламинирования используется в различных сферах производства для изготовления объектов, которые обладают высокими физическими и механическими свойствами. Некоторые примеры объектов, которые могут быть произведены с помощью ламинирования, включают композитные облицовочные панели для зданий и поверхность лодок и яхт (рис. 1.13 и рис. 1.14)



Рис. 1.13. Композитные облицовочные панели для зданий и сооружений



Рис. 1.14. Лодки и яхты из углеродного волокна

Дело в том, что ламинирование позволяет создавать очень прочные изделия при достаточно низкой стоимости. Кроме того, эти изделия часто легкие и жесткие, что делает их идеальными для спортивных целей. Как правило, процесс ламинирования также обладает отличной устойчивостью к воздействию окружающей среды и коррозии, что делает изделия долговечными и надежными.

Метод ламинирования имеет следующие преимущества: высокую прочность и жесткость изделий, их легкость, возможность многократного использования и гибкость в форме и размерах. Тем не менее, его ограничения заключаются в необходимости специализированной подготовки, использовании химических реагентов, которые могут оказывать влияние на здоровье людей, подверженности деформациям и растрескиванию материалов в определенных условиях.

В сравнении с другими методами производства, ламинирование

более дешевый метод, чем электроформование, внедрение форм и вакуумное формование. Это предпочтительный метод для создания легких прочных и жестких изделий. Однако для производства тяжелых и более ударопрочных изделий используются методы литья иковки.

Контроль качества является важной частью процесса изготовления объектов методом ламинирования. Он состоит из нескольких стадий и процедур, включая следующие:

Предварительная проверка поверхности. Перед началом ламинирования поверхность объекта должна быть должным образом подготовлена и очищена от пыли, грязи или других загрязнений. Основной целью предварительной проверки является обнаружение и устранение дефектов в поверхностях объекта.

Контроль качества сырьевых материалов. Для обеспечения высокого качества ламинированных изделий необходимо использовать высококачественные сырьевые материалы, такие как смолы, стекловолокно, углеродное волокно и т.д. Контроль качества сырьевых материалов включает проверку нескольких параметров, таких как подходящая вязкость смол, правильная толщина связующего и прочие.

Контроль процесса ламинирования. Весь процесс ламинирования должен быть строго контролируемым. Существует несколько способов контроля процесса ламинирования, таких как оптический контроль, контроль давления и контроль температуры.

Контроль качества готового изделия. После завершения ламинирования изделие должно быть проверено на наличие дефектов. Контроль качества в этом случае включает измерение толщины, проверку на наличие трещин, поломок или отслоек и других дефектов.

Тестирование на прочность. После проверки качества готового изделия производят испытания на прочность, чтобы убедиться, что изделие соответствует требованиям к прочности и стойкости.

Изучение производственных параметров. Информация о производственных параметрах таких, как температура, давление, время, количество вещества, позволяют улучшить процесс производства в целом.

Контроль качества является неотъемлемой частью процесса ламинирования и позволяет получать высококачественные изделия с повышенными свойствами прочности и стойкости.

И так, можно сделать вывод, что ламинирование поверхностей

предметов является важной задачей, которая может значительно увеличить срок службы объектов и улучшить их внешний вид. Методы изготовления могут быть очень разнообразными, и, следовательно, нужно выбирать правильный метод в зависимости от материала, его назначения и условий эксплуатации. Ламинирование поверхностей является процессом, который может быть автоматизирован, таким образом, облегчая процесс производства и уменьшая вероятность ошибки. Выбор качественных материалов и правильное выполнение технологии ламинирования являются главным критерием успешной реализации проекта.

1.4. Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)

Одним из достаточно популярных методов создания объектов по их 3D-модели является прямое лазерное спекание металлов. Прямое лазерное спекание металлов или DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – это метод 3D-печати, в котором лазер нагревает частицы металлического порошка и спекаются между собой в слои. Данный способ используется для прототипирования и массового производства металлических деталей.

Технология DMLS начала свою историю зарождения в 70-х годах прошлого столетия. В 1971 году Пьер Сиро подал заявку на патент, в которой был изложен способ создания изделий с помощью порошкообразных материалов, получаемых под воздействием луча энергии. Еще одна попытка была у ученого Росса Хоушолдера спустя 6 лет, но он не смог протестировать метод, так как на то время стоимость лазеров была огромной.

В конце 80-х годов доктор Карл Декарт внес огромный вклад в развитие данного метода, создал 3D-принтер для спекания пластмасс. А первая деталь из металла была напечатана в 1989 году. Многие компании и университеты возглавили разработку этого метода. Так компания EOS из Мюнхена начала продвигать метод лазерного спекания, выпустив первые принтеры DMLS в 1995 году. Эта компания и сегодня остается одним из лидеров в этой технологии.

Технология прямого лазерного спекания металлов была первоначально разработана для производства металлических прототипов в инженерных отраслях. Эта технология быстро стала популярной благо-

даря ее способности создавать высококачественные и точные металлические детали. Она также позволяет создавать объекты с осложненной геометрией, которые трудно или невозможно произвести с помощью других технологий. Например, DMLS может использоваться для создания металлических деталей с внутренними полостями, что уменьшает вес и повышает эффективность этих деталей.

Технология DMLS начинается с создания 3D-модели детали с помощью компьютерного моделирования. Далее файл в формате *.stl передается на принтер. Нагреватели принтера доводят порошок до температуры, необходимой для спекания сплава. Камера, в которой будет выполняться печать, наполняется инертным газом, чтобы избежать окисления металла (рис 1.15). В роли сырья для детали выступают различные металлические порошки, подходящие по свойствам.

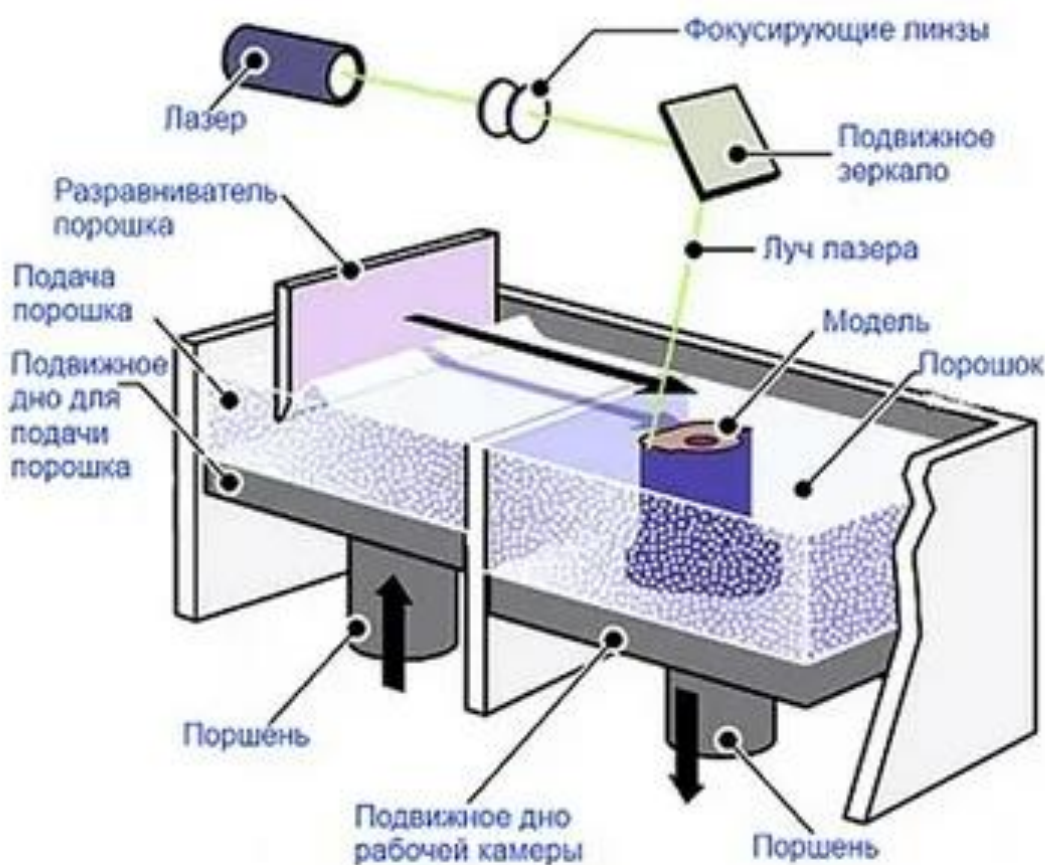


Рис. 1.15. 3D-печать методом DMLS

Металлический порошок подается в камеру в таком объеме чтобы хватило на один слой. Камера с порошком поднимается на заданный уровень над полем печати, и специальный валик равномерным слоем распределяет материал над ним, удаляя при этом излишки. После этого

лазерная головка спекает частички порошка между собой. При этом он плавится и затвердевает, образуя слой детали. Процесс повторяется, пока не будет создана полная деталь. В качестве спекания используют лазеры мощностью 200 Вт. Но на некоторых производствах используются и более мощные принтеры для повышенной производительности. Так же можно использовать сразу несколько лазеров. От мощности лазера зависит качество и скорость печати. Чем выше скорость, тем ниже качество. В результате прямого лазерного спекания получают различные детали и запчасти, используемые в различных отраслях. В процессе печати достигается высокая точность и детализация, так как можно достигать слоев толщиной всего несколько микрон.

У прямого лазерного спекания очень высокое разрешение печати – 20 микрон, например, у самого популярного метода печати FDM – это всего 100 микрон. У данного метода не нужно построение опор для некоторых элементов конструкции. Остатки порошка служат для следующего слоя как опора. В конце печати этот порошок можно будет собрать и использовать для создания другой детали (рис. 1.16). Производство выходит почти безотходным, что очень важно при создании объектов из дорогих металлов.

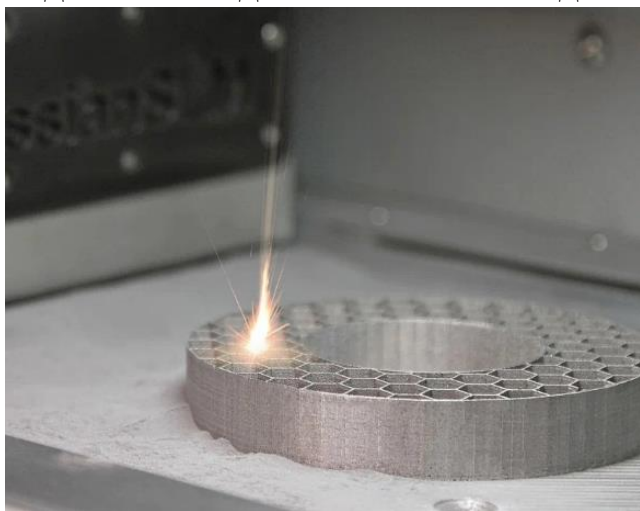


Рис. 1.16. 3D-печать DMLS

DMLS имеет широкий выбор металлов. Самыми востребованными в промышленном производстве являются различные металлические сплавы, титан, нержавеющей сталь, кобальт, никелевые сплавы. Также используют и драгоценные металлы такие как, платина, серебро, золото, исключительно для ювелирных украшений. Металлические порошки доста-

точно дорогие, например, 1 кг порошка из нержавеющей стали стоит 450 долларов.

Детали, сделанные методом прямого лазерного спекания, могут подвергаться большому количеству постобработок для улучшения. Обязательный этап обработки – это удаление остатков порошка. Термическая обработка тоже важный этап, она используется для снятия

напряжений и приданию более высоких механических свойств. Детали можно обрабатывать на ЧПУ станке для вырезания отверстий. Также такие постобработки, как полировка, металлизация, шлифовка, пескоструйная обработка могут улучшить прочность и качество изделия.

Металлические детали очень прочные с небольшой пористостью, твердые, но чаще они менее прочные чем детали, созданные другими методами.

Технология 3D-печати DMLS позволяет изготавливать детали, не уступающие традиционным способам изготовления по параметрам прочности и шероховатости. DMLS также избавит производство от расходов на проектирование и сопутствующие расходы на производство и сборку пресс-формы, к тому же позволит сократить количество необходимых работников, участвующих в процессе изготовления. Также 3D-принтеры отличаются сравнительно меньшими габаритными размерами, нежели крупногабаритные литейные машины.

Технология прямого лазерного спекания металлов имеет много различных достоинств в сравнении с другими:

- Детали можно изготавливать любой геометрической сложности.
- Одним из главных преимуществ DMLS является его способность производить детали без использования инструментов или форм, что существенно снижает время и затраты на производство.
- Один из главных преимуществ DMLS технологии заключается в том, что она позволяет создавать детали с высокой точностью и повторяемостью. Кроме того, она обеспечивает возможность создания сложных конструкций, не доступных с помощью других технологий. Конечный продукт, созданный с помощью DMLS, имеет высокую прочность и точность, что делает его идеальным для использования в различных применениях, таких как создание прототипов или конечных изделий.
- Разнообразие материалов. Можно печатать из большого выбора металлических порошков, а также можно их смешивать.
- Быстрота создания изделия за несколько часов, в отличие от литейного производства, которые может занять несколько месяцев.
- Возможность использовать порошок вторично.
- Безотходное производство. DMLS также является экологически чистой технологией, поскольку она не использует химические

растворы или другие опасные материалы, которые могут быть вредны для окружающей среды.

Технология позволяет создавать несколько деталей сразу, ограниченная лишь размерами камеры.

Также, как и любые методы 3D-печати, DMLS имеет свои недостатки:

- Высокая цена. DMLS является самым дорогим процессом печати и поэтому используется только в профессиональной среде. Тем не менее, с развитием технологий и увеличением спроса на DMLS, ожидается, что стоимость производства снизится, что приведет к расширению области его применения в различных отраслях.

- Детали не достигают той же прочности, что и отлитые модели.

- Размер рабочей области ограничен камерой.

- Процесс DMLS требует высокой квалификации оператора, а также специализированного оборудования для подготовки порошков и послеобработки изделий.

Кроме того, он не всегда может обеспечить необходимые механические свойства металлических деталей, что может быть проблемой в некоторых отраслях.

Технология прямого лазерного спекания металлов применяется во многих отраслях и считается будущим металлообработки, ожидается, что она станет более доступной и широко используемой в ближайшие годы. Современные технологические разработки позволяют достигать более высоких уровней точности и качества, что делает DMLS еще более привлекательным для применения в различных отраслях. DMLS часто используют для прототипирования и производства средних и больших партий продукции. Особенно если изделия имеют сложную геометрическую форму. Поэтому в наше время DMLS является достаточно популярным методом производства (рис. 1.17).

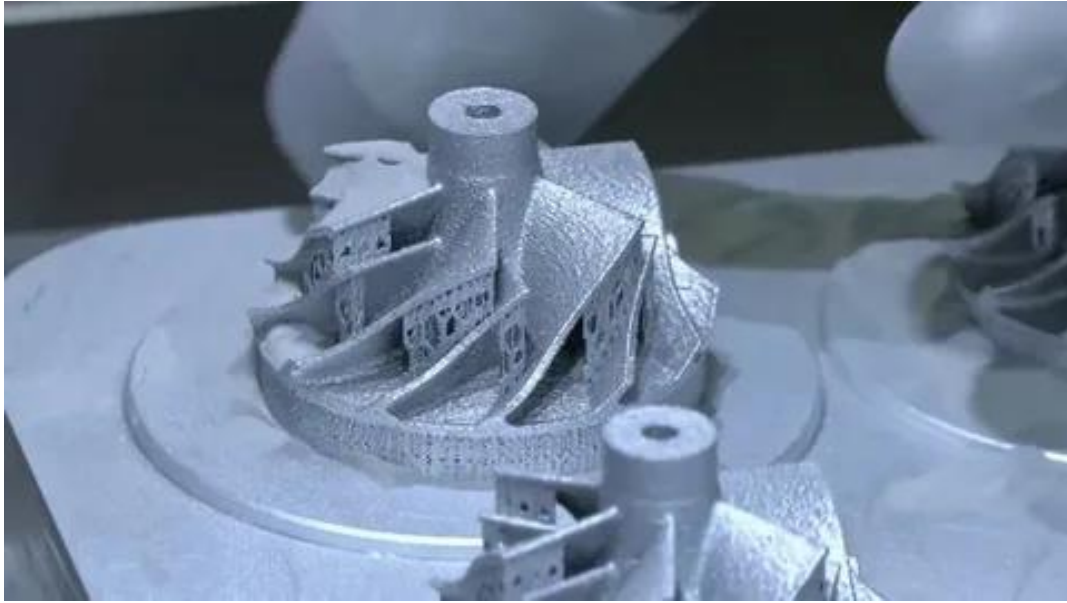


Рис. 1.17. 3D-печать DMLS

Такие изделия используются в медицине для создания зубных протезов и имплантов из биосовместимых металлов (титан). Индивидуальные протезы, напечатанные из титана, служат для замены костей. Они обладают высокой прочностью, а пористость материала способствует росту кости в структуру протеза.

В аэрокосмической сфере используется для изготовления частей двигателей и турбин. В космической промышленности из-за возможности создавать легкие детали обладает выносной популярностью. Например, компания Optisys выпускает микроантенны.

Северо-западный политехнический Университет в Китае использует данную технологию для создания элементов самолетов. А в 2013 году Илон Маск начала выпускать детали ракетного двигателя Super Draco, выполненной из никель-хромового сплава с помощью принтера EOS.

Прямое лазерное спекание металлов (DMLS) – это технология будущего, которая позволяет получать металлические детали любой формы и сложности с высокой точностью и повторяемостью. Несмотря на некоторые недостатки, DMLS уже сегодня используется в различных отраслях и продолжает развиваться и улучшаться. Специалисты прогнозируют, что в ближайшее время DMLS станет еще более доступной и широко используемой технологией, что позволит ускорить процессы производства и снизить затраты на производство металлических деталей.

1.5. Стереолитография

Стереолитография- это метод быстрого создания трехмерных объектов и моделей с использованием лазерного излучения и специальных светочувствительных отверждаемых объектов. Её часто называют 3д-печатью с использованием полимерной смолы. Технология работы приборов с данным методом печати заключается в следующем принципе: из жидкого полимер преобразуется в твердый, под действием лазера или другого источника света. Принтеры различаются по тому, в каком порядке располагаются рабочая поверхность, источник света и емкость для полимеров. Полимеры- это отверждаемые материалы, чувствительные к свету, состоящие из макромолекул, которые используются в стереолитографических принтерах. При воздействии световых волн на полимеры, молекулярные ряды объединяются, вследствие чего олигомеры и мономеры полимеризуются и формируют гибкие или жесткие модели. Материалы, используемые в стереолитографии, называют смолами. Они являются термореактивными полимерами. Они очень разнообразны, а их свойства зависят от изделия. Существует следующая классификация смол: смолы для общей печати (стандартные), литьевые смолы, технические смолы, медицинские, в том числе стоматологические смолы, биоматериальные смолы, которые являются растворами синтетических и биологических полимеров. Сейчас производители материалов для стереолитографии занимаются разработкой новейших формул полимеров, чьи свойства не уступают показателям промышленных и стандартных смол. Модели, изготовленные на стереолитографических (SLA) принтерах имеют ряд преимуществ, например, они высокоточные, имеют четкие разрешения и детали, гладкие поверхности, по сравнению с другими технологиями 3д-печати. Основным плюсом является универсальность. При обработке STL-файла для печати используется специальное устройство, пошагово создающее модель предмета из тонких пластов толщиной 50-150 микрометров. Используются жидкие фотополимеры и лазерное ультрафиолетовое излучение. Контур изделия очерчивается лазерным лучом. Платформа, на которой формируется прототип, погружается в полимер на толщину слоя, сверху которого наносится новый слой жидкого полимер. Затем снова происходит процесс закрепления лазером и все повторяется заново (рис. 1.18). Данный процесс автоматически

продолжается до тех пор, пока модель полностью не изготовится. Печать прототипа на стереолитографическом оборудовании может длиться несколько часов. Точность моделей может достигать 0,1 миллиметра.

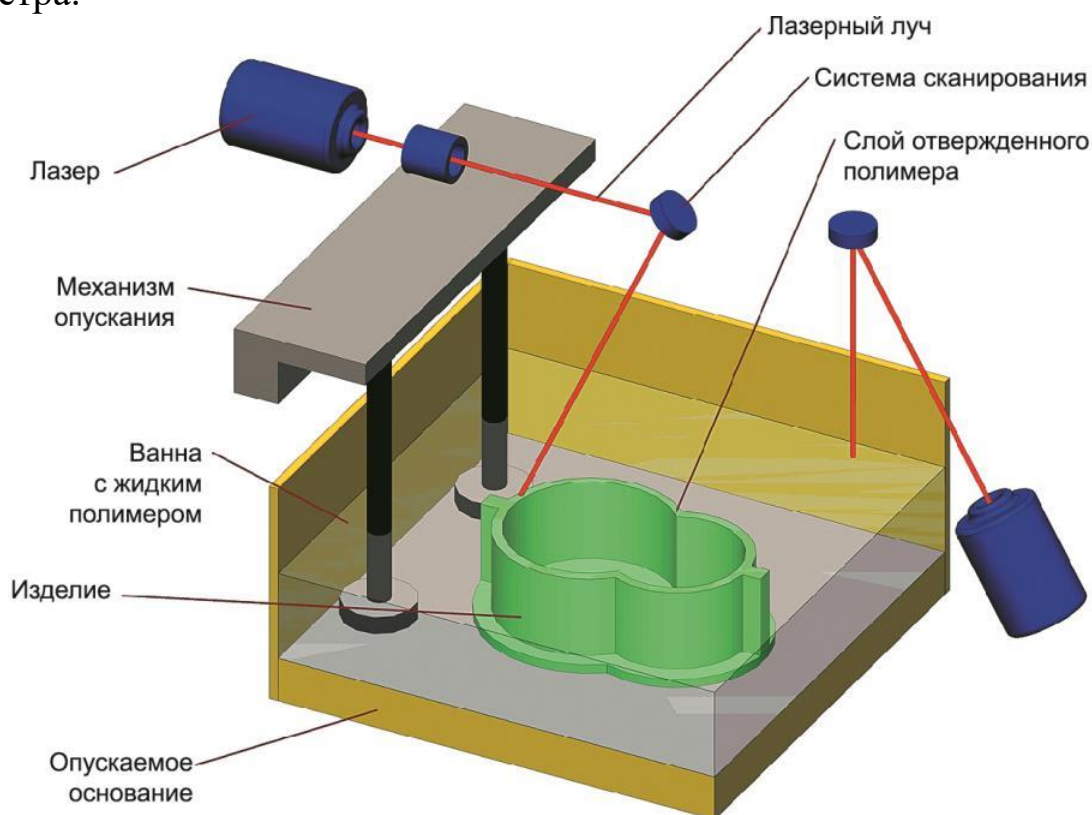


Рис. 1.18. Принцип стереолитографии

Стереолитографические 3D-принтеры обрели популярность благодаря своей способности печатать водостойкие, высокоточные модели с гладкой поверхностью и мелкими деталями, из современных материалов. Однако не всегда 3D-принтеры были удобными. Ранее принтеры, которые печатали модели из полимерной смолы, были монолитными, требовали квалифицированного технического персонала и дорогостоящего обслуживания. Современные малогабаритные настольные принтеры отличаются высокой гибкостью и производством продукции промышленного качества со значительно меньшей себестоимостью.

Процесс 3D-печати на основе SLA- технологий появился в начале 80-х годов. Японский ученый Хидео Кодама изобрел современный многослойный подход к стереолитографии, в котором для затвердевания светочувствительных полимеров используется УФ-излучение. Термин «стереолитография» был использован Чарльзом У. Халлом в 1984 году. Он запатентовал эту технологию и, после в 1986 году, для

ее внедрения в серийное производство, основал компанию 3D Systems. Свой метод Халл описал, как создание 3D-объектов способом последовательной «печати» тонких слоев материала, который отвердевает под воздействием ультрафиолета. Однако, стереолитография не являлась первой технологией 3D-печати, получившей широкую популярность.

В конце 2000-х годов появление малогабаритных настольных 3D-принтеров сделало аддитивное производство более доступным. Новая технология FDM (моделирования методом наплавления), впервые стала использоваться в настольных принтерах. Вскоре после появления настольных принтеров на основе FDM технологии, компания Formlabs, занимающаяся 3д-печатью, настроила стереолитографию и для данного вида печати. Это произошло в 2011 году. Компактные настольные SLA-принтеры позволили печатать 3D-модели в высоком разрешении, которое ранее использовалось только в монолитных системах в промышленности. Новое решение было доступнее и позволяло работать с большим разнообразием материалов, за счет чего доступ к 3D-печати для создания специфических и высокоточных моделей расширился в различных направлениях, например: инженерное дело, проектирование и производство, стоматология, медицина, ювелирное дело. В 2015 году Formlabs выпустили 3D-принтер на основе технологии SLA нового поколения под названием Form 2. Данная модель была усовершенствована и способна печатать всевозможные модели разных форм и размеров. Form 2 задал новые стандарты стереолитографической 3D-печати, сделав популярной модель «распределенного» производства. Модели можно было печатать на каждом принтере из различных материалов. За счет развития последних популярность данной модели, со временем, только увеличивалась, т.к. новые полимеры можно было применять не только в создании прототипов, но и в производстве готовых деталей для всевозможных отраслей производства. 2019 год был отмечен выпуском принтеров Form 3 и Form 3L. Это были устройства, задающие новые стандарты для стереолитографических систем, в которых используются новейшие процессы печати.

Этапы рабочего процесса стереолитографической 3D-печати

1. Проектирование деталей (рис. 1.19).



Рис. 1.19. Подготовка моделей к печати

Создайте образец с помощью любого программного обеспечения или 3д-сканирования. Экспортируйте их в формат файлов STL или OBJ. Все SLA-принтеры работают с программным обеспечением, которое позволяет указать параметры печати и расслоить цифровую модель. После настройки, программа отправляет принтеру инструкцию, через беспроводное или кабельное соединение.

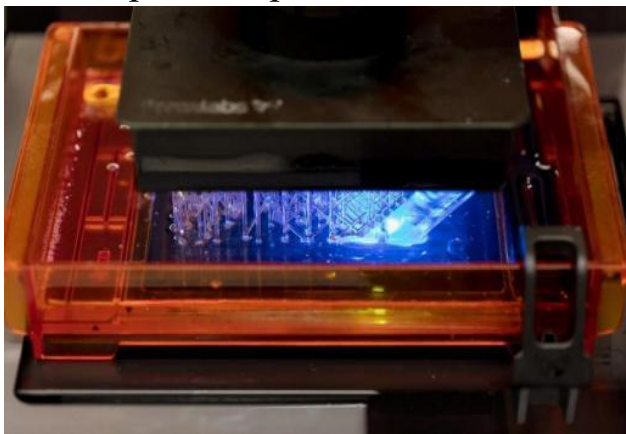


Рис. 1.20. Печать

2. Печать изделия

После экспресс-проверки настроек начинается печать. Принтер может работать автономно, до завершения печати (рис. 1.20). В принтерах с картриджной системой, материал заправляется автоматически.

3. Обработка готовой модели



Рис. 1.21. Обработка после печати

По завершению печати, модели необходимо промыть изопропиловым спиртом, для удаления с них остатков полимера. После высыхания промытых моделей, иногда, необходима финальная полимеризация (рис. 1. 21).

Полимеризация – это процесс, обеспечивающий максимально возможную прочность и стабильность элементов. Далее, можно снять с моделей поддерживающие опоры и отшлифовать оставшиеся недо-

статки, для получения чистой отделки. Модели, напечатанные с помощью SLA-технологии, можно подвергать обработке на станке, грунтовке, окрашиванию и сборке, если это необходимо.

В каких сферах используют стереолитографическую 3D-печать?

Стереолитографическая 3D-печать облегчает работу предприятий, способствуют внедрению инновационных разработок в целом списке отраслей промышленности.



Рис. 1.22. Прототипирование в инженерном деле

Инженерное дело.

Инженеры и разработчики, при помощи быстрого прототипирования на 3D-принтерах могут преобразовывать идеи в практические доказательства своих теорий, превращать концепции в высококачественные прототипы, похожие на конечные модели, и доводить продукцию от стадии тестирования до массового производства.

Производство

Производители могут автоматизировать и оптимизировать свои

производственные процессы, создавая необходимые прототипы и используя специальные инструменты, пресс-формы и другие устройства для 3D-печати. Это позволяет значительно снизить затраты и сократить время производства по сравнению с традиционным методом. Это приводит к снижению производственных затрат, уменьшению количества бракованных изделий, улучшению качества продукции, ускорению процесса сборки и повышению его производительности.



Рис. 1.23. 3D-печать в стоматологии

Стоматология

Цифровая стоматология совершенствует обслуживание пациентов, снижает риски, связанные с человеческим фактором, и обеспечивает постоянство качества и точности на каждом этапе рабочего процесса (рис. 1.23). 3D-принтеры могут создавать высококачественные изделия с нестандартными элементами по

лояльной цене, обеспечивая исключительный уровень подгонки и качество результатов.

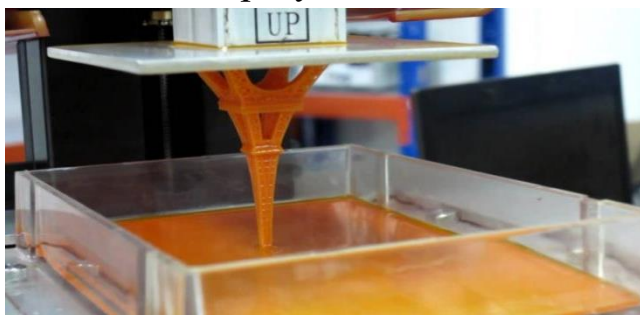


Рис. 1.24. 3D-печать в образовании

Образование

3D-принтеры - это универсальный инструмент для создания иммерсивной учебной и исследовательской среды, которую можно использовать для применения методов STEAM, включая науку, технологию, искусство и дизайн. Они стимулируют творческий подход и позволяют студентам познакомиться с высокопрофессиональными технологиями.

Здравоохранение.

Здравоохранение.

Настольные профессиональные 3D-принтеры позволяют врачам создавать персонализированные медицинские приборы и оборудование, способствующие более эффективному лечению. Благодаря этому компании всех типов - от лабораторий до операционных - могут значительно снизить затраты, как временные, так и финансовые.

Сфера развлечений.

Изделия, сделанные в высоком качестве, активно используются в «цифровой лепке», 3D-моделировании героев, декора, изготовлении атрибутики. Модели, изготовленные при помощи 3D-принтеров, снимались в анимационных фильмах, были персонажами видеоигр, использовались для создания спецэффектов и костюмов.

Ювелирное дело.

Профессиональные ювелиры используют возможности трехмерной печати для быстрого и качественного создания моделей и прототипов, подгонки украшений под необходимые параметры и требования клиентов и производства крупных партий заготовок для литья. 3д-технологии позволяют создавать однородные, четко детализированные модели без длительного, отягощенного погрешностями изготовления моделей из восковых болванок.

Аудиология.

Специалисты по слуховым аппаратам и лаборатории слухового протезирования используют цифровые рабочие процессы и 3D-печата-ние для облегчения производства высококачественных индивидуальных изделий и слуховых аппаратов, а также для массового производства заушных слуховых приспособлений, средств защиты органов слуха, специальных затычек, вкладышей и наушников.

Стереолитографические 3д-технологии становятся более доступными, а оборудование и материалы развиваются в соответствии с возможностями и требованиями рынка. Поэтому сегодня проектировщики, инженеры и другие специалисты интегрируют 3D-печать в рабочие процессы на всех этапах работы.

3D-печать помогает специалистам из различных областей промышленности минимизировать затраты на привлечение специалистов, оптимизировать производственные процессы и даже открыть для себя абсолютно свежие бизнес-модели.

1.6. Струйная трехмерная печать(3DP)

Струйная трехмерная печать (3DP) является одним из инновационных направлений в области производства. Эта технология позволяет создавать 3D-модели объектов быстро и с высокой точностью. Мы рассмотрим историческое происхождение струйной трехмерной печати,

ее химический состав, особенности, отличия от других типов 3D-печати, а также примеры струйной трехмерной печати, ее плюсы и минусы и особенности работы с материалом и технологией.

3DP расшифровывается как **Three-Dimensional Printing**, и переводиться как трехмерная печать. Данная технология является одной из разновидностей систем аддитивного построения изделия по его САД-модели и отличается от многочисленных схожих схем тем, что процесс осуществляется по принципу обычного принтера – через сопла печатающих головок. Таким образом, струйная трехмерная печать представляет собой естественное продолжение развития технологий обычной 2D-печати. На сегодняшний день она достигла достаточно хороших результатов, например, таких как цветная печать.



Рис. 1.25. 3D-печать фигурок на цветном 3D-принтере Z Corp's Spectrum Z510

На рисунке 1.25 пример изделия, напечатанных на цветном 3D-принтере Z Corp's Spectrum Z510.

Впервые идею реализации оборудования, использующего эту схему печати, предложили два студента Массачусетского технологического института Тим Андерсон и Джим Бредт в 1993 году. Именно благодаря им термин 3D-печать распространился по всему миру. И это вполне справедливо, ведь первая модель устройства представляла собой модификацию обычного 2D-принтера. Он использовал вместо чернил специальный клеящий состав, который слой за слоем наносил на

поверхность связываемого вещества границы будущего трехмерного изделия.

В 1995 году Тим и Джим организовали фирму Z Corporation, которая и вывела на рынок данную технологию, усовершенствовав ее до такой степени, что в 2012 году ее пожелала вместе с фирмой приобрести корпорация 3D systems. Под ее брендом бывшие модели Z Corporation сегодня продаются по всему миру.

Одним из направлений компании ExOne (США) является выпуск 3D-принтеров, которые используют эту же технологию. Эта фирма была основана в 2005 году как дочерняя организация корпорации Extrude One Corporation. Используя патенты, полученные Андерсоном и Бедтом, они наладили выпуск линейки принтеров, которые сегодня печатают даже металлические изделия.

Технология струйной трехмерной печати.

Сегодня специалисты насчитывают более тридцати технологий 3D-печати, которые в том или ином аспекте дублируют друг друга, хотя каждая имеет свои особенности. Американское общество по испытанию материалов (ASTM International) разделило технологии струйной трехмерной печати на две категории:

Material jetting – разбрызгивание материала.

Binder jetting – разбрызгивание связующего.

Принцип работы material jetting в том, что расходный материал подается через сопла и после нанесения превращается в твердую форму.

Принцип работы binder jetting заключается в разбрызгивании специального клея на тонкий слой из гипса, полимера или металла.

Технология 3DP в своем изначальном виде представляла именно второй способ.

Если рассмотреть ее подробнее, то печать происходит следующим способом:

Камера построения 3D-принтера состоит из двух частей: в первой находится материал, из которого будет «выращиваться» модель, во второй – происходит сам процесс, а именно:

Для начала в компьютер, подсоединенный посредством Ethernet-кабеля к принтеру, загружается САД-модель, которая «нарезается» на слои, толщиной около 0,1 мм.

Далее, на специальную платформу роликом наносится слой тонкий слой порошкообразного материала (гипс, полимеры, песок, металл).

С помощью печатающей головки происходит распыление связующего вещества (клей, вода, специальная смесь) по координатам границ первого слоя, полученным с компьютера.

После этого платформа с моделью опускается на толщину слоя вниз, а камера со строительным веществом на такое же расстояние вверх.

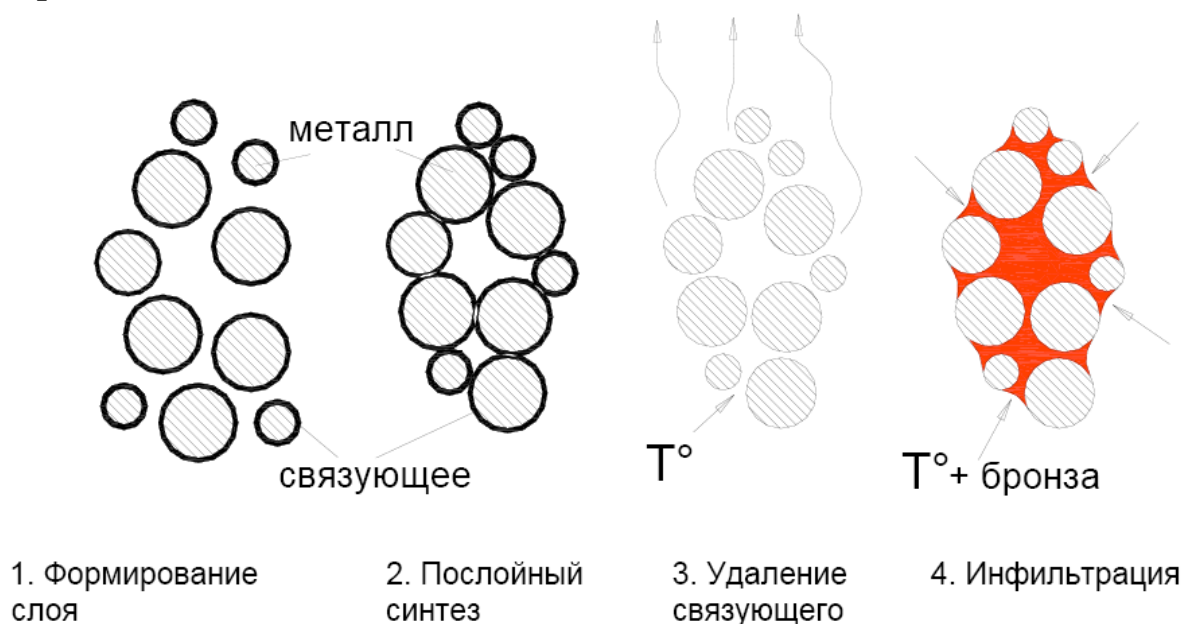


Рис. 1.26. Стадии струйной печати

Далее, ролик раскатывает следующий слой и процесс повторяется.

После окончания 3D-печати изделие извлекают из слоя порошка и тщательно очищают от его остатков.

При изготовлении моделей из металлического порошка добавляется процесс обжига в специальной печи. Предлагаю ознакомиться с этим процессом более подробно.

На рисунке 1.26 изображены 4 его стадии:

Вначале по вышеописанной схеме формируется, так называемая, «зеленая модель» из матричного порошка и связующего вещества (1,2).

Далее, изделие помещают в печь, наполненной защитным газом, обычно азотом.

При повышении температуры до 1000-1100 градусов связующее

вещество удаляется, а свободное место вокруг частичек порошка пропитывает бронза (или другой металл) предварительно помещенный рядом с «зеленой» моделью. Этот процесс называется инфильтрация.

Используемые материалы для 3DP печати и их стоимость

Оригинальные устройства применяли в качестве расходного материала гипс, что обуславливает обиходное название технологии – «гипсовая трехмерная печать». Роль связующего вещества в этом случае играла вода. Печатные головки экстрадировали воду, склеивающую материал. Однако технологии шагнули вперед и теперь также используют металлы (бронза, медь), песчаные и полимерные смеси. В связующее вещество подмешиваются красители благодаря чему на таком 3D-принтере становится возможным осуществлять цветную печать.

Стоимость простейших порошков составляет в среднем 600-700 евро за ведро 10 кг (8200 см куб.), цена связующего вещества около 660 евро за 3,8 л.

Практичность же моделей зависит от последующей обработки. Например, изделия, созданные из металлического порошка, будут обладать видом, схожим с необработанными металлическими изделиями. С другой стороны, их прочность будет напрямую зависеть от связующего материала и, как правило, будет невысока. Для улучшения механических свойств можно прибегнуть к обжигу с помощью гончарных печей. Во избежание деформации моделей обжиг, как правило, подразумевает не спекание, а выплавку изначального связующего материала с пропиткой более твердой субстанцией. Например, возможна выплавка или выжигание связующих пластиков с одновременной пропиткой стальной модели медью или бронзой.

Готовые изделия будут обладать высокой долговечностью, но их механические характеристики все равно не будут достаточными для применения в качестве функциональных прототипов деталей механизмов. Как правило, модели, изготовленные по технологии 3DP, используются в качестве сувениров, украшений или макетов – любых моделей высокой геометрической сложности, не подверженных высоким механическим нагрузкам.

Следовательно, одна из особенностей работы с материалами в струйной трехмерной печати – это способность использовать различ-

ные виды материалов, включая металлы, пластмассы и даже драгоценные камни. Также точность и качество изделий может зависеть от используемого материала. Важно учитывать свойства материала при выборе процесса струйной трехмерной печати.

Струйная трехмерная печать отличается от других методов 3D-печати, таких как FDM (Fused Deposition Modeling) и SLA (Stereolithography), в том, что применяемые материалы не расплавляются в процессе печати. В этом процессе материал используется в жидком состоянии, а затем превращается в твердое состояние.

Одним из примеров струйной трехмерной печати является процесс FFF (Fused Filament Fabrication), который использует термопластичные материалы, такие как PLA (Polylactic Acid) и ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), чтобы создавать видеоигрушки и другие предметы. Существует также процесс DLP (Digital Light Processing), который использует световые лучи для полимеризации жидких смол и создания 3D-моделей.

Характеристики готовых изделий и их применение

Модели, изготовленные из гипса и полимеров, обладают не слишком высокой прочностью для того, чтобы использовать их в производственном цикле, как пресс-форму, однако, вполне подойдет для быстрой визуализации прототипов различных деталей и изделий. Также она может применяться в различных архитектурных и проектных работах или при изготовлении сувениров.

Изделия с использованием металлов обладают лучшими свойствами, однако, их прочность все еще остается на среднем уровне: прочность на растяжение 610 МПа, твердость HRC =10-20.

Такие характеристики вполне подойдут для изготовления пресс-форм для литья пластмасс, которые могут выдержать от 200 до 500 тыс. производственных циклов. Также их используют для изготовления деталей, которые работают в условиях трения – валы, втулки, зубчатые передачи и так далее (рис. 1.27).



Рис. 1.27. Макеты, изготовленные с помощью струйной печати

Недостатки

Изделия на гипсовой основе довольно хрупкие и могут использоваться только в узкой сфере деятельности. В качестве пресс-формы могут быть использованы только один раз, после чего разрушаются.

При работе с гипсовыми порошками возникает много пыли, поэтому нужна хорошая вытяжка.

Преимущества

Высокая скорость построения деталей – около 6 мм по высоте в час, при размере рабочей зоны 780 x 400 мм это составит 1780 см куб., что на порядок превосходит лазерные технологии быстрого прототипирования.

Сравнительно небольшая стоимость расходных материалов.

Итак, одним из главных преимуществ струйной трехмерной печати является возможность создания прототипов и изделий высокой точности, что обеспечивает экономию времени и средств. Также этот метод является относительно дешевым и может работать со многими различными материалами. Однако струйная трехмерная печать может и быть очень медленной, особенно при большой модели, и может требовать большого количества материала.

Одна из особенностей работы с технологией заключается в необходимости использования специального программного обеспечения

для создания 3D-моделей. Это может быть сложным процессом, требующим создания дизайна с учетом многих факторов. Также важно учитывать параметры процесса печати, такие как температура, скорость и давление.



Рис. 1.28. Модель принтера M-Flex

На рисунке 1.28 продемонстрирована модель принтера M-Flex от компании ExOne.

В заключение, струйная трехмерная печать – это инновационный процесс создания 3D-моделей, который может быть использован во многих сферах, включая прототипирование, медицинские и научные исследования, производство и так далее. Струйная трехмерная печать

отличается высокой точностью, что обеспечивается использованием средств в микроскопических масштабах. Она является одним из наиболее точных и быстрых методов создания прототипов. Следует отметить, что несмотря на некоторые недостатки она все же нашла сегодня место на рынке и продолжает активно развиваться наряду с множеством своих конкурентов. Эта технология имеет ряд преимуществ и недостатков, и каждый пользователь должен учитывать их при выборе процесса печати и материалов.

1.7. Технология ламинирования методом селективного осаждения (SDL)

Ламинирование – это процесс соединения двух или более материалов, обычно различного типа, в один многослойный композитный материал, который обладает свойствами, отличными от свойств начальных материалов. Эта технология обладает чрезвычайно широкими применениями, используемыми в различных отраслях, таких как электроника, медицина, авиация, строительство. В последние годы технология ламинирования методом селективного осаждения (SDL) стала одним из наиболее перспективных методов ламинирования, который позволяет производить многослойные композиты высокой производи-

тельности с помощью нанесения тонких пленок материала на подложку.

Технология ламинирования методом селективного осаждения (SDL) была разработана и оптимизирована в начале 2000-х годов компанией Applied Materials, ведущим мировым поставщиком оборудования для полупроводниковой и плоскопанельной индустрии.

Исторически ламинирование было одним из методов приготовления многослойных печатных плат, в компьютерной электронике. Он требовал нанесения тонкого слоя клея на поверхность диэлектрической платы, а затем нанесения медной фольги на клей. Однако этот метод имеет ряд ограничений, таких как сильную зависимость от качества поверхности подложки, необходимость ожидания высыхания клея и наличия токсичных растворителей.

Технология ламинирования методом селективного осаждения (SDL) была разработана как альтернатива традиционному ламинированию, которая позволяет достичь высокой точности и надежности соединений при производстве полупроводниковых устройств, позволяет отказаться от контактных отверстий и быстро работать при изготовлении многослойных печатных плат.

Технология ламинирования методом селективного осаждения (SDL) является сравнительно новым методом ламинирования, который позволяет создавать тонкие и гибкие ламинаты. Основная особенность этой технологии заключается в использовании селективного осаждения в локальных областях поверхности материала (рис. 1.29).

В основе технологии ламинирования методом SDL лежит процесс осаждения тонкого слоя полимерных материалов на поверхности подложки. При этом процесс осаждения происходит в локальных областях, вследствие чего можем получить тонкий и гибкий ламинат, имеющий высокую прочность и долговечность.

Основными преимуществами технологии ламинирования методом SDL являются:

- Возможность создания ламинатов толщиной от 50 до 150 мкм.
- Высокая точность регулирования толщины и состава пленок, что позволяет создавать многослойные ламинаты с определенными свойствами.
- Минимальные потери материала.

- Высокая производительность, достигаемая за счет независимости массы материала, производимого за цикл времени.

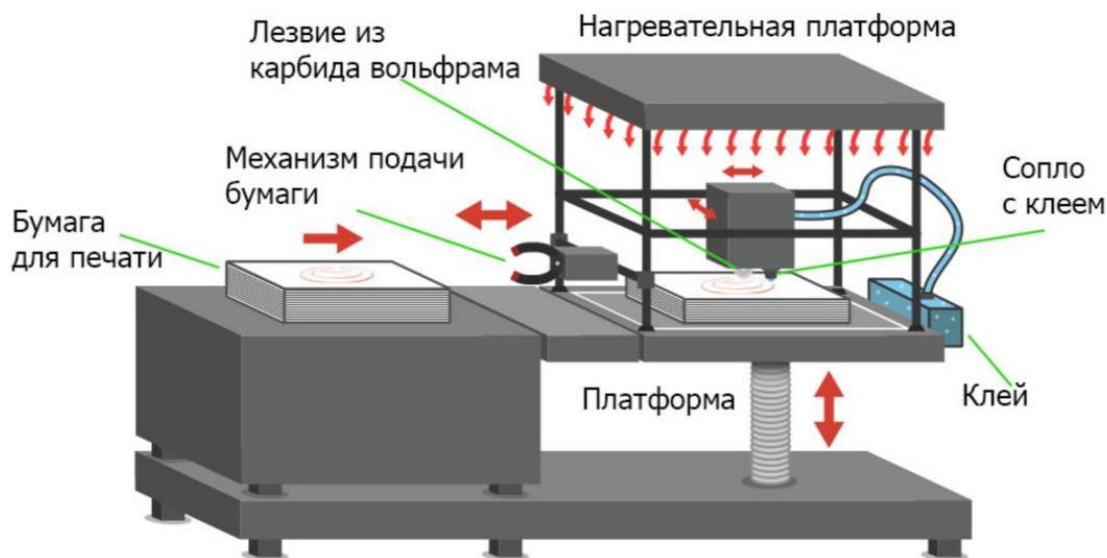


Рис. 1.29. Технология ламинирования методом селективного осаждения

Недостатки:

- Гидроизоляция моделей достигается финальной обработке;
- Отсутствие в линейке производителя моделей с другими размерами области 3D-печати, из-за привязки к стандартным форматам бумаги (A4);
- Высокий расход бумаги при 3D-печати на низком заполнении рабочего объема по X*Y. (При формировании заданий 3D-printing Job рекомендуется использовать автоматическую компоновку 3D-моделей);

Еще среди недостатков технологии ламинирования методом SDL можно выделить высокую стоимость оборудования, а также высокие требования к качеству подложки и контролю процесса нанесения пленок, что необходимо для достижения оптимальных результатов ламинирования.

Основное отличие технологии ламинирования методом SDL заключается в использовании селективного осаждения, что обеспечивает высокую точность и эффективность процесса, а также позволяет создавать ламинированные материалы с уникальными свойствами, которые не могут быть получены при использовании других технологий ламинирования.

3D-печать начинается с обработки 3D-файла данных. 3D-принтеры компании Mcoг поддерживают универсальный стандартный формат файлов STL для создания дизайна 3D-продукта, а также форматы OBJ и VRML (для цветной 3D-печати). Все основные программы по автоматизированному проектированию

(CAD) 3D-продуктов, в том числе бесплатные программы, такие как SketchUp, создают файлы в формате STL. Файлы завершенных проектов, предлагаемые для загрузки, так же как и файлы, созданные при сканировании физического объекта, как правило, представлены в формате STL. 3D-принтеры Mcoг поставляются с пакетом программного обеспечения, которое носит название SlicelT.

SlicelT считывает цифровые данные и "нарезает" слои представленной компьютерной модели для последующей печати на бумаге. По толщине эти слои эквивалентны толщине бумаги. Сданной программой совместимы следующие форматы файлов: STL, OBJ и VRML.

Программное обеспечение также позволяет установить местоположение части или нескольких частей модели в пределах камеры 3D-принтера.

SlicelT работает на любом стандартном ПК с 64-битной операционной системой Windows (2000, XP, Vista или Windows 7) в паре со специальной картой Ethernet (со скоростью о 10/100 и выше), подключаемой непосредственно к 3D-принтеру.

Процесс: Печать модели (рис. 1.30)



Рис. 1.30. Процесс печати методом селективного осаждения

Первый лист вручную прикрепляется к сборочной пластине. Расположить первый лист правильно не самое важное, так как первые несколько страниц соединяются вместе в качестве базового слоя перед тем как начинается процесс нарезки

После того как показатели измерения глубины лезвия и клеящего слоя выверены, двери принтера закрываются - аппарат готов к импорту данных от программы SlicelT. В программе SlicelT на компьютере пользователь нажимает "Печать", после чего принтер приступает к созданию частей.

Вначале слой клея наносится на верхнюю часть листа, помещенного на сборочную пластину. Клей наносится выборочно - именно поэтому метод печати получил название "селективный". Иными словами, клеящий материал более высокой плотности будет нанесен на те области, которые впоследствии станут частью модели, а клеящее средство меньшей плотности будет нанесено на те части, которые будут служить ее поддержкой

Новый лист бумаги подается в принтер из лотка для бумаги и направляется ровно на то место, куда было нанесено клеящее средство.

Сборочная пластина перемещается вверх к раскаленной пластине, после чего к составным частям применяется давление. За счет этого давления достигается прочная связь между двумя листами бумаги

Когда сборочная пластина возвращается на свое первоначальное положение, регулируемое лезвие из карбида вольфрама разрезает лист бумаги и в то же время следит за контуром объекта для создания формы будущей модели

Когда вся эта последовательность выполнена, устройство начинает наносить следующий слой клея. Весь процесс продолжается до момента, пока все листы не будут разрезаны и склеены между собой, а модель не примет свой окончательный вид. После того, как нанесение последнего слоя завершено, модель может быть извлечена из сборочной камеры

Процесс: "Извлечение" модели

Главное преимущество процесса SDL становится очевидным, когда вы избавляетесь от ненужных, поддерживающих модель, частей. Этот процесс называется

"извлечение". В связи с тем, что клеящее вещество наносится выборочно, между составными частями модели связь более прочная, чем между поддерживающими материалами. Кроме того, для облегчения процесса извлечения модели, поддерживающий материал "разваливается" на маленькие составные части, похожие на игральные кости; это

предотвращает разрушение хрупкой 3D-модели.

Принтеры Mcong отличаются своей неприхотливостью: для извлечения 3D-моделей из-под поддерживающей структуры погружать детали в токсичные химические вещества или использовать острые инструменты вовсе не обязательно. При печати на принтере компании Mcong ваша модель не раскрошится и не разрушится. На выходе 3D-модель представляет собой прочную и жесткую структуру.

Учитывая, что модель создается путем плотного сжатия листов бумаги, конечный продукт - это практически воссозданное дерево. Модель генерирует тепло, вызывает тактильные ощущения и приятна на ощупь. Модель можно будет обработать любым желаемым способом для того, чтобы она отвечала всем необходимым требованиям.

Технология ламинирования методом селективного осаждения (SDL) имеет несколько преимуществ перед другими методами ламинирования:

1. Быстрое и экономичное производство. Метод SDL использует только необходимое количество клея, что позволяет сократить расход материалов и снизить стоимость производства.

2. Более точное покрытие. Поскольку клей наносится только на определенные участки поверхности, это позволяет создать более точное и качественное покрытие.

3. Высокие показатели прочности. Метод SDL обеспечивает более надежное и прочное соединение между слоями, чем другие методы ламинирования.

4. Совместимость с различными материалами. Метод SDL позволяет использовать широкий спектр материалов для ламинирования, включая бумагу, картон, ткани, кожу и другие.

5. Удобство в использовании. Метод SDL не требует большого количества оборудования и специалистов для его использования, что делает его более доступным и удобным для использования в различных сферах.

В итоге, выбор метода ламинирования зависит от типа материала, его функциональности и требований к прочности и долговечности, а метод SDL может быть оптимальным выбором во многих случаях.

Примером применения метода ламинирования методом селективного осаждения является создание мембран для фильтрации и

очистки воды. Эти мембраны могут обеспечивать очень высокую степень очистки питьевой воды, благодаря своей малой пористости и однородности размеров частиц. Мембраны, полученные методом селективного осаждения, также могут применяться в электронике, термоэнергетике, биомедицине и других отраслях, где требуется высокочистый и однородный материал.

Среди преимуществ метода ламинирования методом селективного осаждения можно выделить высокую чистоту и однородность материала, возможность получения материалов с частичной плотностью, высокую производительность и узкое распределение размеров частиц. Однако, метод селективного осаждения также имеет некоторые недостатки, включая высокую стоимость оборудования и сложность контроля параметров процесса.

Работа с материалом, полученным методом ламинирования методом селективного осаждения, требует особой внимательности, так как эти материалы могут быть очень хрупкими из-за малого размера частиц. При обработке материалов необходимо соблюдать правила безопасности и строго следовать технологическим инструкциям, чтобы избежать повреждения материала.

В заключении следует отметить, что технология Ламинирования методом селективного осаждения может использоваться для создания многокомпонентных многослойных материалов с различными свойствами. Этот метод имеет уникальные преимущества перед другими технологиями ламинирования, такими как высокая точность и контролируемость процесса, что позволяет получать высококачественные материалы. Широкий спектр применений этой технологии делает ее одной из наиболее перспективных в производстве композитных материалов с высокой производительностью и долговечностью.

Таким образом, метод ламинирования методом селективного осаждения – это современный и надежный способ получения материалов высокой чистоты и узкого распределения размеров частиц, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности. Однако, для масштабирования этой технологии необходимо решить ряд технологических проблем, связанных с повышением производительности и уменьшением издержек.

1.8. Цветная струйная печать (CJP)

Трехмерная (3D) печать, также известная как аддитивное производство - это инновационная технология, которая произвела революцию в способах производства изделий. Развитие 3D-печати привело к появлению различных технологий печати, одной из которых является цветная струйная печать (CJP). Эта технология использует сплав цветных порошков с использованием связующего вещества, что позволяет за короткий промежуток времени создавать полноцветные 3D-модели с высоким разрешением. Второе популярное, однако немного устаревшее название этой методики – 3DP и расшифровывается как Three-Dimensional Printing. Запатентована данная печать компанией 3D Systems, и она является одним из самых распространенных видов печати в настоящее время.

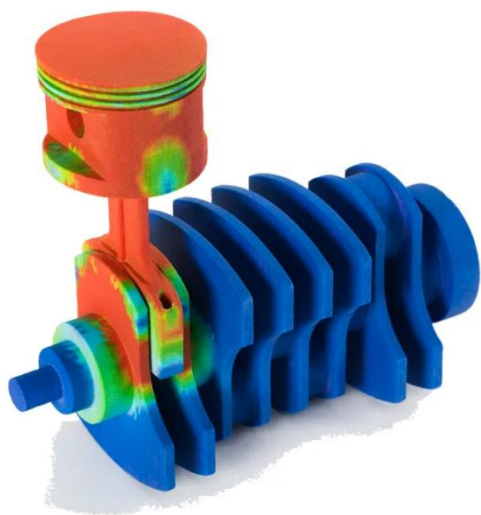


Рис. 1.31. Цветная печать

История появления технологии печати CJP

Технология печати CJP (ColorJet Printing) была разработана фирмой ZCorp в конце 1990-х годов. В то время строительство трехмерных моделей было очень дорогостоящим и занимало много времени. В качестве решения этой проблемы компания ZCorp предложила использовать технологию цветной печати, которая позволяла бы создавать трехмерные модели быстрее и дешевле (рис. 1.31).

Первый прототип CJP был создан в 1996 году, а уже через два года технология была представлена на рынке.

В последующие годы компания ZCorp улучшала технологию CJP, увеличивая точность печати, скорость работы и эффективность использования материалов.

Обзор технологии CJP

Цветная струйная печать - это разновидность 3D-печати, при которой для создания моделей используется настольный 3D-принтер.

Процесс печати СДР включает нанесение тонкого слоя порошкообразного расходного материала с последующим выборочным нанесением цветного связующего (полимера). Процесс повторяется до тех пор, пока не будет создана вся 3D-модель, причем каждый слой будет приклеен к предыдущему слою (рис. 1.32).

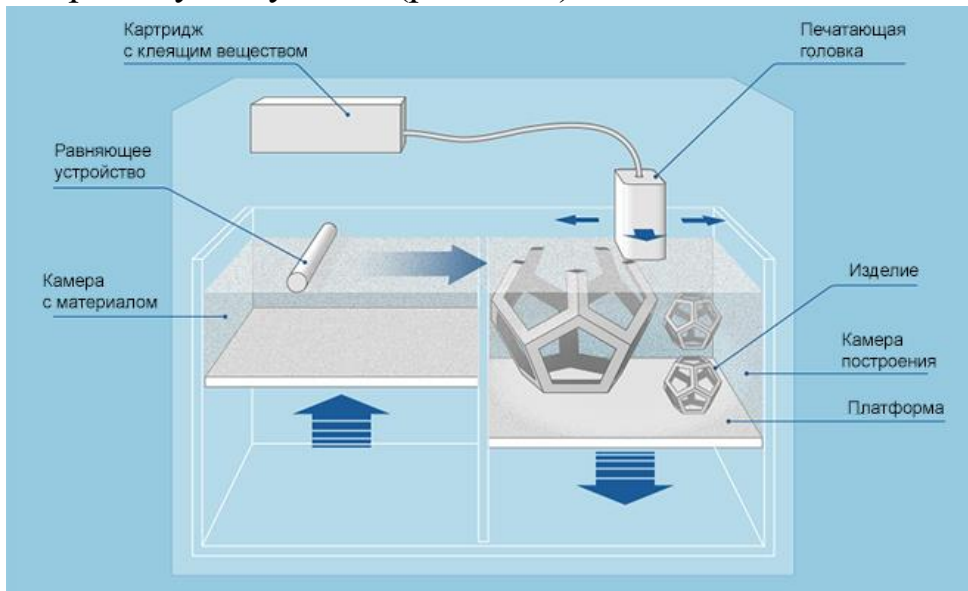


Рис. 1.32. Процесс печати

Материалами, используемыми в технологии СДР, являются основной материал (разнообразные порошки: гипсовые, песчаные, полимерные смеси, а также металлы – бронза, медь) и цветное связующее. Прочность печатной модели СДР зависит от размера и геометрии модели. Цветное связующее создает твердую оболочку вокруг модели, обеспечивая долговечную отделку.

Этапы СДР-печати

1. Создание 3D-модели.

Сначала необходимо создать 3D-модель объекта в специальном 3D-программном обеспечении. Макет может быть создан самостоятельно или загружен из онлайн-библиотек 3D-моделей.

2. Подготовка к печати.

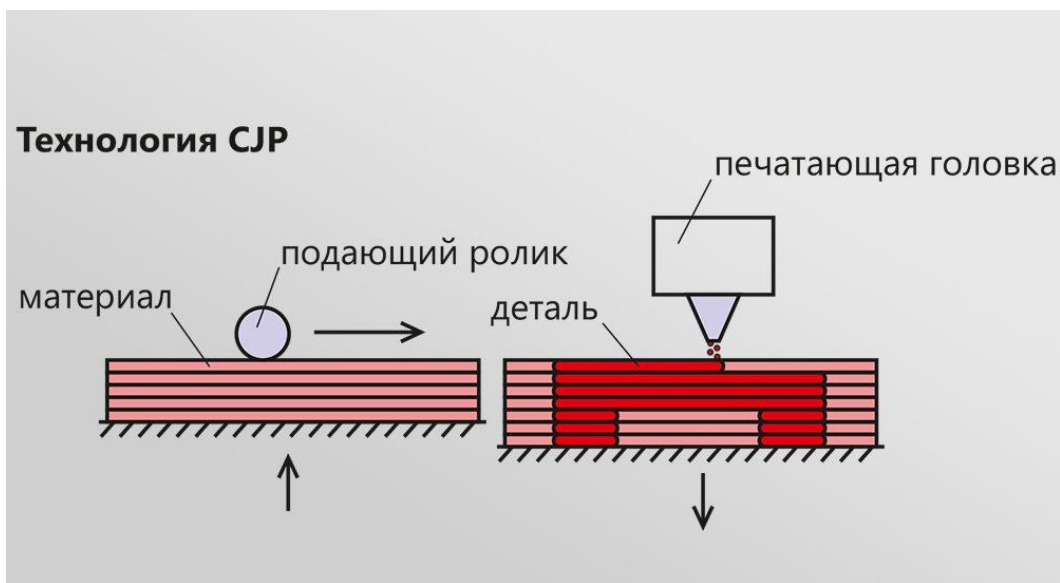


Рис. 1.33. Технология СЖР

Модель передается в программное обеспечение, которое разбивает ее на слои. Каждый слой представляет собой плоскость материала, которая будет наложена на предыдущий слой для создания окончательной модели.

3. Наполнение цветом.

СЖР-принтеры используют головку с инжекторами, которая используется в струйных принтерах. Она наполняется 6-8-цветными материалами, которые дозируются при печати, чтобы создавать гармоничную цветовую гамму.

4. Нанесение материала на слои.

Головка с инжекторами перемещается над печатной поверхностью, производя печать каждого слоя в соответствии с 3D-моделью. Каждый раз, когда головка проходит над поверхностью, она наносит тонкий слой материала.

5. Упаковка.

После завершения процесса печати модель извлекается из принтера и остается на несколько часов, чтобы печатный материал высох. Затем модель готова к использованию или может отправлена на дополнительную обработку.

Преимущества технологии СЖР

Технология СЖР обладает рядом неоспоримых преимуществ, которые делают ее предпочтительным решением для 3D-печати (рис. 1.33). Технология идеально подходит для создания моделей с высоким

разрешением и точностью, что делает ее идеальной для создания детализированных структур. Например, технология СЖР используется в стоматологическом моделировании для создания высокодетализированных форм, которые помогают при проектировании индивидуальных зубных имплантатов.

Технология СЖР также дает возможность создавать полноцветные модели, что не характерно для других технологий 3D-печати. Использование нескольких цветов повышает визуальную привлекательность моделей, что делает их идеальными для маркетинговых целей.

Кроме того, технология СЖР работает быстро, и модели печатаются в течение короткого периода времени. Цветной переплет обеспечивает более быструю печать по сравнению с другими технологиями 3D-печати, сокращая время между разработкой и производством.

Наконец, стоимость печати СЖР значительно ниже по сравнению с другими методами 3D-печати, что делает ее доступной для более широкой аудитории.

Недостатки технологии СЖР

Несмотря на свои многочисленные преимущества, технология СЖР имеет определенные недостатки. Одним из существенных минусов СЖР-печати является невозможность изготовления моделей с высокими прочностными характеристиками, подходящими для функциональных прототипов. Модели СЖР также подвержены усадке и деформированию, что может повлиять на точность модели.

Кроме того, использование гипсового порошка в качестве основного материала ограничивает долговечность и стабильность модели. Использование гипса ограничивает применение технологии СЖР при создании моделей для наружного использования.

Следовательно, технология СЖР ограничивается созданием моделей для целей отображения или визуализации, а не функциональных объектов.

Применение технологии СЖР

Универсальность и точность технологии СЖР обеспечивают широкий спектр применений. Одно из основных применений СЖР-печати - в медицинской и стоматологической промышленности, где она используется для создания моделей зубов для установки имплантатов, хирургических направляющих и лотков для выравнивания.

Технология СЖР также используется в архитектурной индустрии

для создания масштабированных моделей зданий, мостов и других сооружений. Эти модели используются в целях визуализации, позволяя архитекторам демонстрировать свои проекты клиентам и заинтересованным сторонам.

Кроме того, модели СJP-печати используются при разработке образовательных моделей, например, при создании подробных 3D-моделей органов для студентов-медиков. Эта технология позволяет студентам визуализировать и лучше понимать структуру различных органов.

В то же время такие модели используются для маркетинговых и рекламных кампаний.

И не стоит забывать, что модели СJP-печати стали очень популярными в производственном секторе, особенно в автомобильной и авиационной отрасли, а также в индустрии игрушек и развлечений (рис. 1.35).



Рис. 1.34. Цветная печать в стоматологии

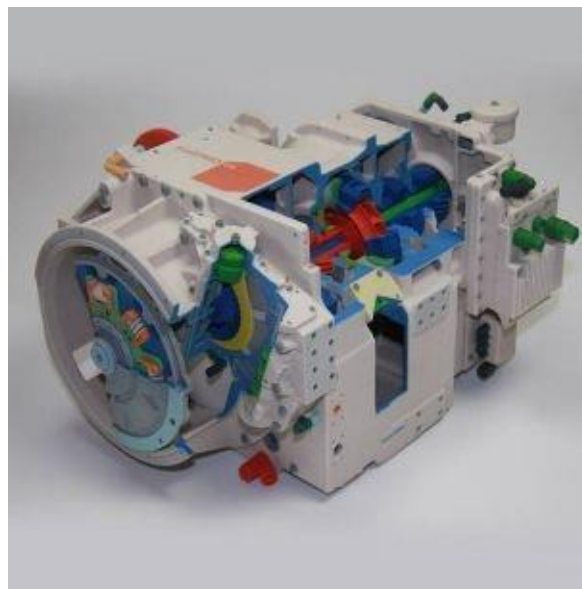


Рис. 1.35. Печать игрушек

Будущее технологии СJP

Эксперты уверены, что 3D-печать СJP будет продолжать развиваться и использоваться во многих областях промышленности. Новые материалы и улучшенные технологии позволят создавать объекты большего размера и с более высокой детализацией. Кроме того, эксперты прогнозируют, что в ближайшем будущем 3D-печать СJP станет более доступной для всех, что приведет к еще большему развитию промышленности, а также к созданию новых работ для людей в экономике,

основанной на изделиях высокого качества.

Технология CJP - это ведущее решение для 3D-печати, которое позволяет создавать полноцветные 3D-модели с высоким разрешением за короткий промежуток времени. Хотя ее основное применение

1.9. Ювелирный 3D-принтер и 3D-печать металлами

Ювелирный 3D-принтер – это устройство, позволяющее изготавливать украшения из металлов с использованием технологии 3D-печати. 3D-печать широко применяется в различных отраслях промышленности, и ювелирное производство не стало исключением. С помощью 3D-принтеров ювелиры могут создавать уникальные эксклюзивные украшения, а также выпускать серийное производство высокоточных ювелирных изделий. Мы рассмотрим технологию объемной печати, принцип работы, основные преимущества и возможности ювелирных 3D-принтеров, а также технологии 3D-печати металлами.

Основной принцип трехмерной печати – послойное построение объекта на основе порошкообразного материала (воска, нейлона или металла) или жидкой фотополимерной смолы. Большинство ювелирных 3D-принтеров используются для изготовления не самих украшений, а их прототипов. На основе созданных моделей изготавливают формы из гипса или специального раствора, в которые затем заливают раскаленный металл.

Процесс состоит из следующих этапов:

Разработка цифровой объемной модели в графическом редакторе (3DX Max, 3D-Brush и др.). На этом этапе можно точно определить массу будущего изделия. Специалист, занимающийся моделированием, должен хорошо разбираться в ювелирных технологиях – подборе толщины металлических деталей и огранки камней, закреплению вставок и др.

Распечатка модели на принтере, оценка ее параметров, корректировка дизайна (если это необходимо), постобработка (удаление поддержек, промывка, закрепление экспозиции в ультрафиолете, полировка и др.).

Заливка раствором или гипсом. Прототип припаивают к восковому стволу, заливают специальным составом и ожидают отверждения конструкции.

Разогрев и обжиг формы в печи. В процессе воск расплавляется и

оставляет литейную форму, в точности повторяющую изгибы оригинальной модели.

Литье. Расплавленный металл заливают в форму, охлаждают, вымывают заполняющий материал.

Постобработка. Готовые изделия извлекают из формы, разделяют, полируют и дорабатывают (например, вставляют драгоценные камни).

Ювелирный 3D-принтер позволяет изготавливать украшения с высокой точностью и детализацией. Кроме того, ювелиры могут экспериментировать с различными формами и текстурами, создавая уникальные и неповторимые изделия. Безусловно, такие технологии имеют немало преимуществ:

Высокая точность. Ювелирные 3D-принтеры обеспечивают высокую точность изготовления ювелирных изделий. Точность печати ювелирных 3D-принтеров составляет от 0,02 до 0,1 мм, что позволяет создавать украшения с высокой детализацией и качеством поверхности.

Экономия времени и ресурсов. Изготовление ювелирных изделий традиционным способом может занять много времени и ресурсов. С использованием 3D-принтеров процесс изготовления украшений ускоряется, что позволяет ювелирам заниматься более творческой деятельностью (например, разрабатывать новые дизайны украшений) и увеличивать производительность.

Снижение затрат на производство. Использование 3D-принтеров позволяет снижать затраты на производство ювелирных изделий. Это связано с тем, что производственный процесс становится более эффективным и меньше зависит от ручного труда.

Возможность создания уникальных и неповторимых изделий. С помощью 3D-принтеров ювелиры могут создавать уникальные и неповторимые изделия, которые невозможно воспроизвести традиционным способом.

Широкий выбор материалов. 3D-печать в ювелирном производстве выполняется различными материалами, такими как золото, серебро, платина, бериллий, родий и многие другие.

С помощью ювелирного 3D-принтера можно создавать различные ювелирные изделия. Наиболее популярными являются кольца,

серьги, браслеты и ожерелья. Благодаря 3D-технологии можно создавать ювелирные изделия различных форм и размеров, что делает их более необычными и привлекательными для покупателей. При создании ювелирных изделий могут быть использованы различные материалы. Наиболее популярными материалами являются золото, серебро, платина и бронза. Кроме того, для создания ювелирных изделий могут использоваться различные сплавы, которые позволяют создавать украшения различных цветов и оттенков.

В настоящее время на рынке существует множество компаний, которые занимаются производством ювелирных 3D-принтеров. Наиболее известными и популярными компаниями являются 3D Systems, EnvisionTEC, Solidscape и Formlabs.

Какой же принтер выбрать ювелиру, чтобы не стать «жертвой» маркетинга и не запутаться среди массы предложений? При выборе оборудования для печати ювелирных изделий необходимо ориентироваться на следующие показатели: точность построения модели; возможность одновременной печати нескольких изделий; совместимость со многими филаментами.

Рассмотрим некоторые виды ювелирных 3D-принтеров:

Perfactory Xeed – относительно недорогой. Умеет печатать модели и готовые изделия на высокой скорости. Главная особенность принтера состоит в том, что он использует светодиодный источник для создания модели, а это позволяет сделать ее максимально точной. Цена устройства стартует от 400 тыс. рублей (рис. 1.36).

DigitalWax с уникальной системой перемещения поддона обойдутся в 4,5 млн рублей. Они характеризуются очень высокой скоростью работы и долговечностью (рис. 1.37).

Phrozen Sonic 4K - фотополимерный принтер для любителей и профессионалов, использующий 3D-технологии печати MSLA (маскированная стереолитография) с высокой скоростью и разрешением. Устройство имеет запатентованную систему УФ-проекции, которая обеспечивает оптимальное распределение и интенсивность светового потока.



Рис. 1.36. Perfactory Xeed



Рис. 1.37. DigitalWax

3D-печать не только помогает создавать исключительные ювелирные изделия, но и может воспроизводить старинные украшения по фото, эскизам или детальным описаниям. Безусловно, потенциал данной сферы большой, так как это направление имеет не только технологическое, но и историческое значение.

Спрос на 3D-печать стремительно растёт, поэтому производители стараются усовершенствовать свои технологии и оказаться первыми на рынке. Повышается точность и скорость производства, а сами принтеры и расходники станут доступнее не только для предприятий и профессионалов, но и для всех желающих потенциальных пользователей.

Технология 3D-печати проникла во многие отрасли, включая ювелирное производство. Использование ювелирного 3D-принтера в производстве ювелирных изделий имеет множество преимуществ, таких как возможность создания сложных форм и сокращение времени на создание изделия. Кроме того, использование 3D-технологии позволяет дизайнерам и ювелирам экспериментировать со своими идеями и творить более необычные и креативные ювелирные украшения. Определенно, ювелирный 3D-принтер – одно из самых перспективных направлений в ювелирном производстве.

Мы уже затронули тему о том, какие материалы используются при создании украшений на 3D-принтере. Поговорим об одном из са-

мых распространенных и практичных материалов – металл. В современной промышленности 3D-печать все более активно используется для производства металлических запчастей и изделий. Сегодня многие производители оборудованы современными 3D-принтерами, и металлическая 3D-печать является одним из наиболее популярных направлений в этом бизнесе. Металлическая 3D-печать – это процесс создания трехмерных объектов, с применением специального металлического материала, который наносится на определенную площадь и затвердевает. При этом процессе 3D-печати меньше отходов, чем при обычном производстве.

Из-за того, что металлическая 3D-печать – это довольно сложный процесс, кроме самой технологии, необходимо учитывать ряд факторов, которые могут влиять на качество и стоимость производства. Рассмотрим самые важные из них:

1. **Материал.** Наиболее распространенными металлическими материалами для 3D-печати являются нержавеющая сталь, титан, алюминий, медь, а также различные сплавы. Однако, кроме упомянутых материалов, есть некоторые более редкие металлы, которые также могут использоваться для металлической 3D-печати. Выбор материала зависит от технических требований проекта.

2. **Размер.** Одним из важнейших факторов, которые влияют на стоимость производства, является размер 3D-объекта. Обычно, чем больше размер изделия, тем дороже будет стоить его производство.

3. **Форма.** Форма изделия также является важным критерием, который может влиять на стоимость. Например, сложные формы или большие выступы на изделии могут увеличить время производства и, как следствие, увеличить стоимость.

4. **Количество деталей.** Обычно, при заказе металлического объекта в большом количестве возможно существенное снижение стоимости изделия.

5. **Сроки.** Кроме всего прочего стоит учитывать и сроки изготовления изделия, особенно если это необходимо в кратчайшее время.

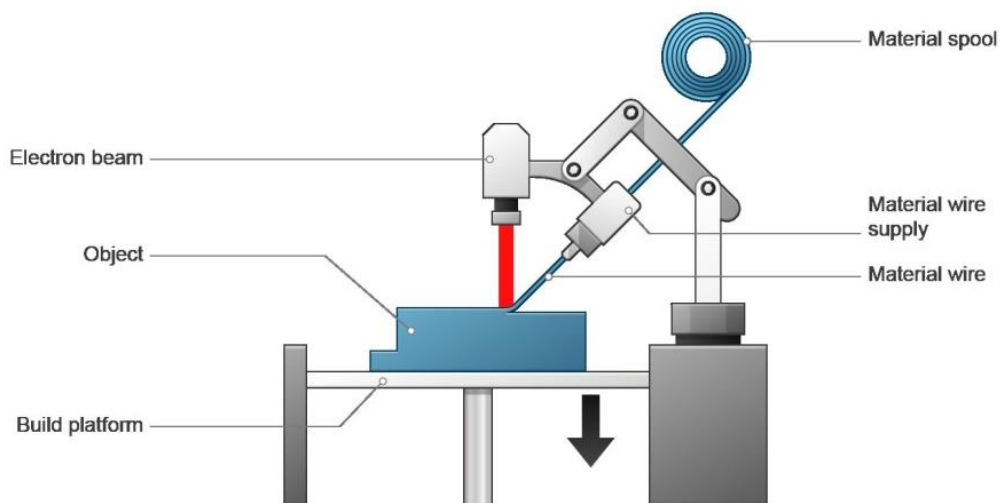
6. **Масштаб проекта.** Один и тот же проект можно разделить на несколько этапов и производятся по мере готовности остальной части.

Технологии 3D-печати металлов

Существует несколько технологий 3D-печати металлов, которые

используют различные методы сканирования и нанесения металлического материала на поверхность. Рассмотрим каждую из них более подробно.

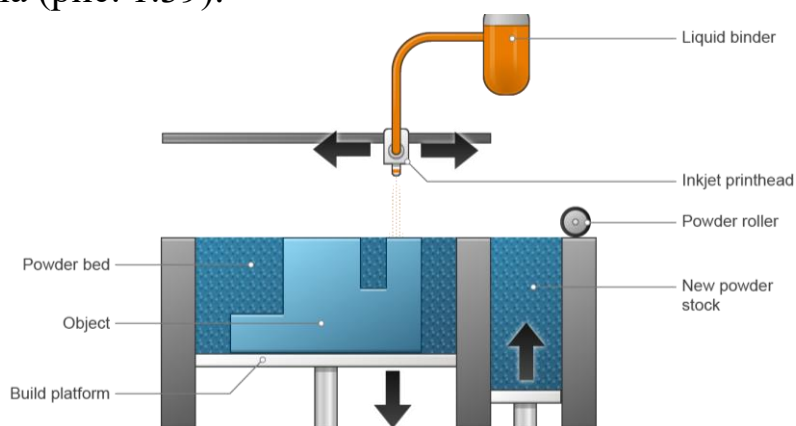
Direct energy deposition (DED). Этот метод использует лазер, чтобы расплавлять металлический материал и наносить его на поверхность. Данный метод позволяет производить объекты в режиме реального времени, однако требуется очень точное управление деталями.



2018 © Dassault Systèmes

Рис. 1.38. DED - печать

Binder jetting. Это метод 3D-печати, который использует связующий материал для создания металлических объектов (рис. 1.38). При этом методе, металлический порошок сканируется лазером, и на его поверхность наносится связующий материал. Объект затвердевает и фиксируется с помощью обжига в специальной печи. **Powder bed fusion (PBF).** Этот метод предполагает использование лазера для нагрева порошка металла (рис. 1.39).



2018 © Dassault Systèmes

Рис. 1.39. PBF – печать

Порошок насыщается энергией и затем затвердевает, образуя только нужные детали.

Extrusion. Данный метод 3D-печати основан на экструзии металлического материала из сопла на печать. В этих принтерах металлический материал расплавляется и выдавливается из сопла в заранее заданной форме (рис. 1.40).

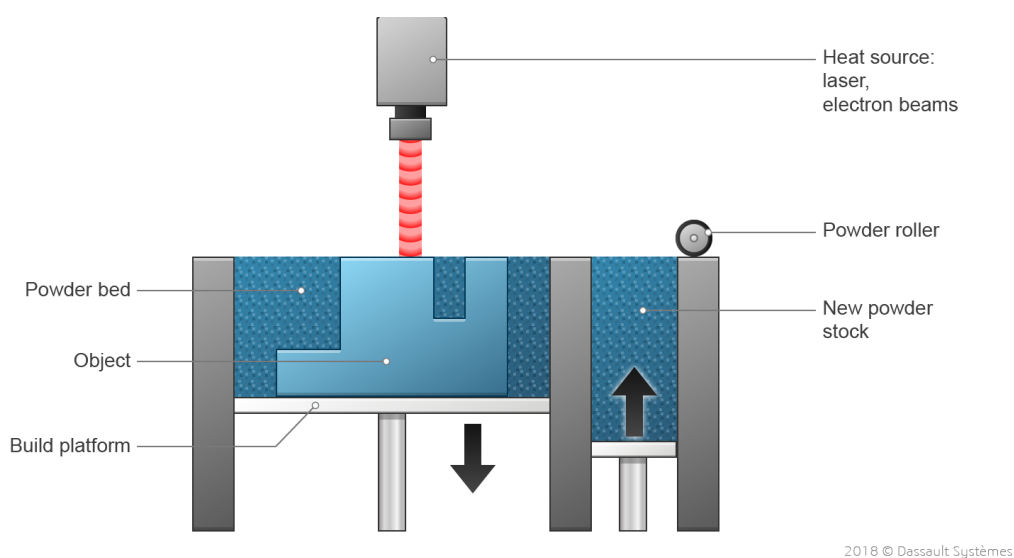


Рис. 1.40. Extrusion - печать

Применение в промышленности:

Металлическая 3D-печать позволяет производить запчасти, инженерные изделия, элементы технологического оборудования и многие другие детали, которые требуют высокой точности и стойкости к нагрузкам. Металлическая 3D-печать используется также в автомобильной индустрии, медицине и самолетостроении.

В автомобильной индустрии металлическая 3D-печать используется для производства легких и прочных деталей, которые могут быть более точными и устойчивыми к повреждениям, чем детали, которые были изготовлены традиционными методами. Это позволяет автомобильной индустрии улучшить производительность.

Медицина также активно использует металлическую 3D-печать, чтобы создавать медицинские инструменты, протезы и внутренние детали аппаратов, которые нагружаются тяжелыми условиями использования. Протезы, созданные с помощью технологии 3D-печати, часто имеют более высокую степень точности и комфорта, чем протезы, созданные традиционными методами.

Самолетостроительная промышленность использует металлическую 3D-печать для производства легких и прочных деталей и замена сложных трубопроводов. Как и в автомобильной индустрии, для самолетных двигателей, корпусов и других деталей требуется высокая точность и устойчивость к повреждениям. Технология 3D-печати позволяет внести изменения в проект ракеты, доработать конструкцию и снизить затраты на изготовление.

Металлическая 3D-печать – это эффективная и инновационная технология, которая позволяет производить сложные и крупные детали с высокой точностью и прочностью. Эти технологии уже внедрились в производство и имеют большую перспективу.

1.10 Кондитерские 3D-принтеры, 3D-печать шоколадом.

Еда – это, наверное, самое вкусное применение 3D-печати. Если говорить простыми словами, еда, напечатанная на 3D-принтере – это продукт, приготовленный с помощью аддитивного производства.

Сейчас уже есть, эксклюзивные рестораны продающие блюда созданные с помощью 3D-печати и десятки производителей пищевых 3D принтеров. Этот технологический тренд, в скором времени приведет к тому, что на вооружении у домохозяек на каждой домашней кухне будет собственный пищевой 3D-принтер.

В 2010 году группа учёных из Массачусетского Технологического Института представила первый 3D-принтер «Cornucopia» для воссоздания продуктов питания.

В первый пищевой принтер вместо обычной бумаги загружались продукты питания, которые аппарат охлаждал, смешивал и использовал для создания готового продукта. Принтер мог «печатать» ранее неизвестные блюда с заранее заданной пищевой ценностью, качеством и вкусом.

Следом за первым 3D-принтером, уже в 2011 году учёные из Великобритании показали 3D-принтер, на котором можно было напечатать любую фигурку из шоколада или простую шоколадную плитку. Принтер накладывает слои друг на друга. Благодаря способности шоколада быстро застывать и твердеть при охлаждении, процесс печати протекает довольно быстро. Этот гаджет уже стал более понятен и применим. Кондитеры всего мира открыли для себя новые горизонты, как

минимум формы десертов теперь могут быть такими, о которых раньше сложно было и подумать

Если изначально 3D-принтер печатали продукты из пастообразных смесей, то в 2018 году Корейские ученые придумали новый способ трехмерной печати еды – для производства «чернил» в этом случае используется метод криогенного размалывания сырья. Новая технология позволяет получать пищевые продукты с нужным содержанием питательных веществ, с заданной текстурой и контролируемой скоростью переваривания, рассказали авторы метода на конференции Experimental Biology 2018.

Такая система печати еды позволяет точно контролировать и состав, и текстуру получаемой пищи. Технология состоит из нескольких основных стадий. На первом этапе происходит криогенное размалывание, с помощью которого из продуктов при температуре около –100 градусов Цельсия получают микрочастицы, состоящие из углеводов и белков. Точный состав и свойства этих аморфных микрочастиц можно потом контролировать с помощью перекристаллизации в различных условиях.

После этого порошки, состоящие из таких углеводно-белковых частиц, соединяются со связывающим полимерным веществом, и из полученной смеси с помощью 3D-печати получают пористую пленку заданной формы. С помощью послойной печати и полимеризации из массива таких пленок затем собираются пищевые блоки, у которых точно заданы форма, внутренняя пористая структура и содержание в них питательных веществ. За счет пористой структуры напечатанных материалов можно менять как поверхностную, так и внутреннюю текстуру полученных продуктов, делая ее близкой к текстуре настоящей еды. Также за счет управления текстурой продуктов можно контролировать скорость переваривания напечатанной пищи и всасывания питательных веществ в желудке.

Интересный факт: Одна из самых обсуждаемых тем – тема искусственного мяса, и конечно, тут без 3D-печати не обойтись. Так в сентябре 2019 года израильская компания Redefine Meat объявила, что привлекла 6 миллионов долларов на разработку своей системы 3D-печати мяса. Проект работает над технологией, которая позволит производить «мясную альтернативу» на растительной основе, а точнее, це-

лые блюда – бифштексы, жаркое и тушеное мясо из натуральных ингредиентов. Технические специалисты и исследователи здесь прямо-таки одержимы своим делом. Главная цель стартапа - печатать настолько сочные стейки с насыщенным вкусом, что даже самые притязательные мясоеды не смогут отличить их от настоящих.

Главная особенность пищевого 3D-принтера заключается в используемом сырье: вместо типографических чернил устройство заправляют съедобными ингредиентами. В базе данных хранится большое количество различных рецептов, а для того, чтобы напечатать блюдо, нужно просто выбрать один из них и активировать процесс печати. Конечный продукт послойно укладывается на рабочую поверхность или в тарелку: его можно запечь в духовке или отправить в морозильную камеру.

Используемое сырье:

В качестве сырья используют такие ингредиенты, как: Шоколад без добавок и примесей; Мастика; Сахар; Взбитый творог; Овощные и фруктовые пасты; Рыбные и мясные паштеты; Мука; Сыр и т.д.

Кондитерский рисунок наносится на сахарную, вафельную или шокотрансферную бумагу. Первый тип обладает сладковатым привкусом и ароматом ванили. Благодаря белоснежной поверхности не требует нанесения дополнительного покрытия: рисунки выглядят ярко и четко. Вафельная бумага выполнена из рисовой муки и не обладает особым вкусом, из-за легкого оттенка конечные рисунки выглядят менее четко. Шокотрансферная бумага полностью прозрачна и подходит для переноса рисунка на изделие (например, на торт). Для упаковки готовых продуктов используется пищевой пластик для 3D-принтера.

Интересный факт: Пищевые принтеры участвуют в сокращении отходов. Непривлекательные фрукты и кондитерские остатки используют в приготовлении печатных смесей. Это позволяет эффективнее расходовать средства производства.

Виды пищевых 3D-принтеров:



Рис. 1.41. пищевой 3D-принтер

Пищевые 3D-принтеры – устройства, которые печатают блюда, рецепты которых занесены в базу данных. Конечный продукт послойно накладывается на рабочую поверхность, а сырье поступает из заполненных картриджей (рис. 1.41);

Кондитерские принтеры используются для переноса изображений на специальную бумагу или проектирование небольших кондитерских изделий, например, конфет. Такие принтеры печатают изображение на заранее подготовленной бумаге: рисовой, вафельной или шокотрансферной;

Пищевые плоттеры переносят изображение не на бумагу, а непосредственно на готовый продукт. К примеру, плоттер используется для переноса изображения непосредственно на торт (рис. 1.43).



Рис. 1.42. пищевой 3D-плоттер



Рис. 1.43. перенос изображения на торт

Выделяют несколько видов пищевых 3D-принтеров:

Экструзионные – краска поступает на поверхность до создания блюда. Процесс регулируется компьютером с загруженным изображением. В системе присутствует экструдер, который нагревает пищевую смесь, а распределение сырья зависит от печатающей головки. Сырье загружается в шприц, размещенный в головке. Это означает, что для комбинирования различных оттенков придется периодически останавливать печать и менять шприц (рис. 1.44);



Рис. 1.44. пищевой 3D-принтер экструзионного вида



Рис. 1.45. пищевой 3D-принтер карусельного вида

Пищевой 3D-принтер карусельного вида также имеет экструдер, но его главной особенностью является способ подачи сырья: емкости вращаются вокруг рабочей поверхности, подача и дозировка используемого материала зависит от рецептуры, отмеченной в программе (рис. 1.45). В хранилище может содержаться бесчисленное количество рецептов, а эксплуатация не вызывает трудностей даже у неопытного пользователя.

Преимущества печати продуктов на 3д принтере:

- Экономия времени

Съедобная 3D-печать может занимать меньше времени, чем традиционное приготовление пищи. Действительно, пользователи могут запустить 3D-печать продуктов питания и перейти к другим видам деятельности. После запуска пищевой 3D-печати необходимость в ручном управлении отпадает.

- Индивидуализация

Печать Food 3D позволяет пользователям настраивать свои блюда в соответствии со специальными событиями или просто своим настроением. Она может варьироваться от написания имени на именинном торте до 3D-печати блинчика в форме сердца, например.

Она может варьироваться от написания имени на именинном торте до 3D-печати блинчика в форме сердца, например.

- Творчество

Возможность съедобной 3D-печати позволяет кулинарам раскрыть еще больше творческого потенциала на кухне. Пользователи могут воображать и создавать сложные дизайнерские решения. Удивительное 3D-изображение пищевых продуктов уже существует!

Недостатки печати продуктов на 3д принтере:

- Тип еды

3D-печать возможна не только для любого вида продуктов питания. Пища должна быть в виде пасты, такой как сливки или картофельное пюре.

- Частичное приготовление

Процесс 3D-печати не включает в себя все этапы приготовления блюд. Например, пищевые 3D-принтеры не могут испечь торт или посыпать орегано пиццей.

- Цена

Продовольственные 3D-принтеры немного дорогие, как правило, в ценовом диапазоне от 1000 до 5000 долларов США (хотя есть и исключения).

Риск неудачи

Как и любой другой вид 3D-печати, пищевая 3D-печать может быть неудачной – очень плохо, если это праздничный торт!

Сферы применения пищевых 3д принтеров:

Рестораны и пекарни

Съедобная 3D-печать действительно очень полезна для профессионалов пищевой промышленности. Продукты питания с 3D-печатью могут быть привлекательными для новых клиентов, которые ищут различные варианты питания. В ресторане, предлагающем блюда с 3D-печатью, уже есть магазин “Food Ink. pop-up store”.

Промышленное производство продуктов питания

В секторе промышленного производства пищевых продуктов съедобная 3D-печать позволяет производителям изменять ассортимент выпускаемой продукции с помощью новых разработок. Кроме того, пищевые 3D-принтеры могут достичь высокого уровня точности. Barilla, итальянская пищевая компания, печатает некоторые из своих макаронных изделий в формате 3D.

3D-печать продуктов питания дома

Пищевые 3D-принтеры также адаптированы для личного пользования. Они позволяют проявить больше креативности на кухне и придать блюдам индивидуальность.

Печать шоколадом

Шоколад – сладость, первые исторические записи о которой встречаются уже с 350 г. до н.э. Уже в те времена знали о существовании какао и прочих шоколадных напитков. Сегодня шоколад является

не только любимой сладостью многих, но и сырьем для 3D-печати. Аддитивное производство внесло коррективы на многих продовольственных рынках, поэтому неудивительно, что 3D-печать повлияла и на шоколадную индустрию. Такие компании, как Hershey, Nestl?, Mars Inc. и Mondelez International в течение последних нескольких лет экспериментировали с 3D-печатью шоколадом. В итоге на рынке появлялись съедобные шоколадные творения искусства.

Большинство шоколадных 3D-принтеров работают с файлами САПР, как и прочие аналоги для трехмерной печати. Вместо нити в шоколадных 3D-принтерах используется шприц, наполненный шоколадом. Головка экструдера перемещается и укладывает расплавленный шоколад желаемой формы слоями. Шоколад со временем остывает и становится твердым. Система загрузки шприцев безопасна для пищевых продуктов, обеспечивая сохранность сладкого сырья.

Полимером печатать намного легче, чем шоколадом. Сладкая масса имеет совершенно иные свойства плавления и охлаждения, поэтому растопленный шоколад не может затвердеть так быстро, как пластик. Тип используемого шоколада также имеет значение. Молочный, черный и белый шоколад имеет разную вязкость. Для лучших результатов рекомендуется использовать высококачественный и темперированный шоколад (такой как бельгийский темный). В некоторых случаях мэйкеры добавляют значительное количество пектина, чтобы упростить 3D-печать. Поскольку шоколад нельзя свернуть в твердую нить из-за слишком мягкой текстуры, расплавленный шоколад хранится в картридже и прессируется с помощью шприца.

Основной проблемой шоколадных 3D-принтеров является соблюдение температурного режима. Процесс печати может занять много времени, что связано с температурными осложнениями. Шоколад должен быть достаточно нагрет, чтобы таять, и в то же время он должен быть достаточно холодным и сухим, чтобы сохранить свою форму.

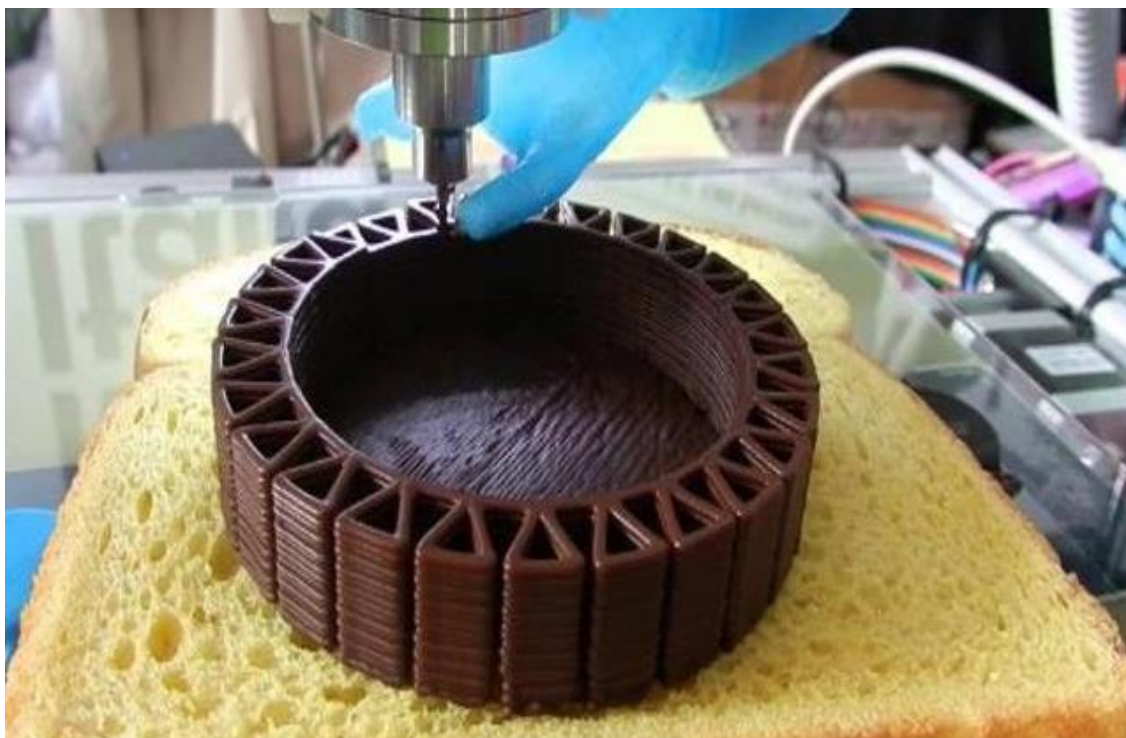


Рис. 1.46. 3D-печать шоколадом

Преимущества

Первое достоинство – это, конечно же, возможность печати сладостей любых форм. Другими словами, аддитивное производство обеспечивает ультра-персонализацию готовой шоколадной продукции.

Трехмерная печать позволяет воплотить в реальность практически любую идею. При этом рекомендуется печатать не очень большие модели. Также стоит избегать печати сладостей с мелкими деталями, слишком крутыми углами (рис. 1.46). В противном случае модель придется редактировать. Для печати сложных шоколадных объектов нужно будет уменьшить скорость печати, чтобы у шоколада было больше времени для просушки и отверждения.

На самом деле 3D-печать еды все еще находится в зачаточном состоянии и ей еще предстоит пройти долгий путь, прежде чем она получит более широкое распространение среди профессионалов и потребителей. Тем не менее, это не мешает нам восхищаться этими очаровательными машинами.

Глава 2 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

2.1. ABS-ПЛАСТИК

Современная промышленность находится в процессе перехода на новые технологии, такие как 3D-печать. Эта технология уже существует довольно длительное время уже и используется для быстрого и качественного создания различных деталей из пластика, металла, бетона и других материалов. Одним из наиболее популярных материалов для 3D-печати является ABS-пластик, который позволяет создавать детали высокого качества и точности.

ABS-пластик был изобретен в 1948 году компанией «Goodrich». Это термопластичный полимерный материал, который состоит из трех основных компонентов: акрилонитрила, бутадиена и стирола. В состав ABS-пластика также могут входить различные добавки, например, усилители и стабилизаторы. Эти компоненты могут варьироваться в зависимости от конкретного производителя, что в свою очередь может влиять на характеристики материала. Каждый из компонентов вносит свой вклад в уникальные свойства пластика, такие как прочность, устойчивость к ударам, гибкость и стабильность при высоких температурах.

ABS-пластик является термопластичным – это означает, что он может быть нагрет, подвергнут экструзии и затвердевает при охлаждении. Этот процесс чаще всего происходит в течение нескольких секунд или минут, что позволяет быстро создавать продукты из этого материала.

Он обычно представляет собой нити, подающиеся в экструдер, который плавит материал и подает его в сопло. Это позволяет получать форму детали, которую загрузили в программное обеспечение для 3D-принтера (рис. 2.1).

ABS-пластик в отличие от PLA-пластика, который также очень популярен в 3D-печати, более чувствителен к изменению температуры и влажности, и может требовать дополнительных настроек при печати.

В таблице ниже приведены значения основных характеристик ABS-пластика (таблица 1).

Таблица 1. Основные характеристики ABS-пластика

Характеристики	Значение
Плотность	1,04 г/см ³
Прочность на растяжение	30-60 МПа
Температура печати	220-235 градусов
Температура стеклования	95 градусов

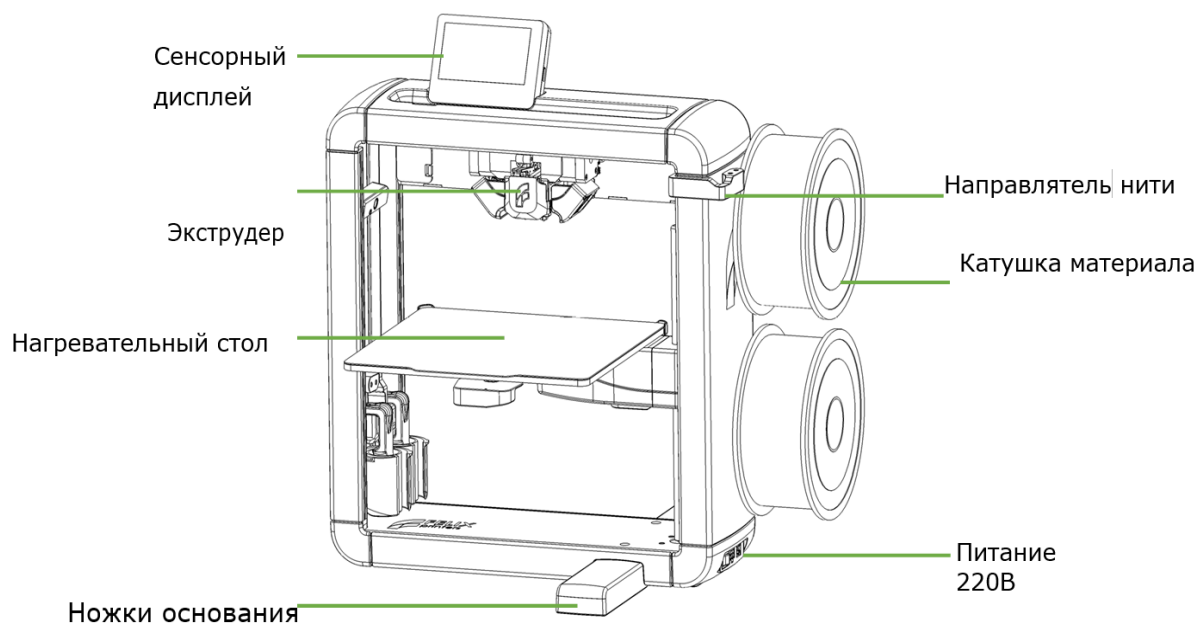


Рис. 2.1. Конструкция 3D-принтера

Особенности материала:

- Прочность: ABS-пластик - это прочный и долговечный материал с высокой выдержкой к износу и ударам.
- Устойчивость к химическим воздействиям: ABS-пластик устойчив к ультрафиолетовому излучению, маслам и растворителям.
- Хорошая обработка: ABS-пластик легко поддается термообработке, таких как: обработка горячим воздухом, обработка термопластом и сварка.
- Низкая термическая стабильность: ABS-пластик может размягчаться и деформироваться при высоких температурах, что ограничивает его использование.
- Низкая адгезия к платформе. ABS-пластик трудно приклеивается к платформе, что может приводить к отклеиванию деталей в процессе печати. Для решения этой проблемы необходимо использовать специальные клеевые составы или лаки для повышения адгезии.

- Склонность к деформации. ABS-пластик имеет высокую температуру плавления, что может приводить к его деформации в процессе печати. Для решения этой проблемы необходимо использовать нагревательную платформу, которая позволит сохранять стабильную температуру в процессе печати.

- Выделение вредных веществ. При нагреве ABS-пластика в процессе печати могут выделяться вредные вещества, такие как стирол. Чтобы уменьшить их количество, необходимо использовать хорошо проветриваемое помещение и предусмотреть систему вентиляции.

Существуют и другие виды пластика для 3D-принтеров. Например, PLA (полилактид) или PETG (терефталат этиленгликоля). Все виды отличаются друг от друга различными свойствами. Рассмотрим подробнее:

Таблица 2. Свойства ABS, PLA, PETG пластиков

Характеристика	ABS	PLA	PETG
Температура плавления (°C)	220–260	160–220	220–250
Устойчивость к ударам	+	+	+
Устойчивость к химикатам	+	-	+
Адгезия к поверхности	+	-	+
Обработка ацетоном	+	-	-
Обработка лаком	+	-	-

Как видно из таблицы 2, ABS-пластик является наиболее прочным и устойчивым к химическим воздействиям материалом в сравнении с PLA и PETG, которые являются более хрупкими. ABS-пластик наиболее подходящий материал для распечатки крупных и сложных 3D-объектов.

Одним из наиболее ярких примеров использования ABS-пластика является производство функциональных деталей для различных устройств и механизмов. Это могут быть детали для автомобилей, самолетов, медицинских приборов и т.д. Пластик устойчив к воздействию различных факторов, поэтому он идеально подходит для создания деталей, которые будут подвергаться значительным нагрузкам.

Другой пример использования ABS-пластика - это производство

прототипов и моделей. ABS-пластик обладает высокой точностью изготовления и отличной поверхностной отделкой, что позволяет создавать детали различной сложности и формы.

Также, использование ABS-пластика в 3D-печати позволяет создавать детали и объекты с высокой детализацией, которые могут быть использованы в различных областях, например, для создания игрушек, домашнего декора, украшений и многого другого.

Стоимость ABS-пластика несколько выше, чем у других материалов, но это компенсируется устойчивостью к различным химикатам и удобством при обработке.

Преимущества пластика:

1. Прочность на изгиб. ABS-пластик имеет высокую устойчивость к механическим нагрузкам, что делает его идеальным для создания функциональных деталей, таких как зубчатые колеса, шестерни, зажимы и т.д.

2. Химическая устойчивость. ABS-пластик устойчив ко многим химическим веществам, таким как керосин, спирты, нефтепродукты. Это значит, что ABS-детали допустимо использовать в таких условиях, где они будут контактировать с агрессивными химическими веществами.

3. Хорошее сцепление со слоем. ABS-пластик имеет хорошую адгезию между слоями, что делает его отличным выбором для создания деталей с точной формой. Это также означает, что ABS-детали могут допускать дополнительную обработку (шлифовку, сверление, нарезку), чтобы получить конечный продукт нужной формы.

4. Низкая стоимость. ABS-пластик относится к типу недорогих пластмасс, что делает его доступным для широкой аудитории пользователей.

5. Широкий диапазон цветов. ABS-пластик имеет большую цветовую палитру, что позволяет получать создаваемые детали на любой вкус и цвет.

Недостатки пластика:

1. Низкая термостойкость. ABS-пластик имеет низкую термостойкость, это значит, что создаваемые детали могут подвергаться деформациям при воздействии высоких температур, например, на открытом солнце.

2. Высокая токсичность. ABS-пластик является токсичным материалом, и при нагревании может выделяться пары, содержащие газы, в том числе и стирол, который является потенциально канцерогенным веществом. Поэтому при печати ABS-деталей необходимо проводить ее в вентилируемом помещении с использованием защитных масок.

3. Необходимость использования нагреваемой печи. Для правильной печати ABS-пластика необходима специальная печь с нагреваемой камерой, которая создает идеальную температуру для плавления пластика.

ABS-пластик имеет преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе его для 3D-печати. Для достижения наилучших результатов печати необходимо иметь высококачественное оборудование и продумывать правильные параметры печати. Во многих случаях, именно правильно использованный пластик позволяет получить качественный результат.

Рассмотрим технологию использования:

1. Подогрев печатающей поверхности
ABS-пластик должен печататься на нагретой поверхности. Рекомендуемая температура – 60–100 градусов. Это необходимо для того, чтобы избежать проблем с адгезией, которые могут привести к деформации или отвалу изделия во время печати.

2. Использование нагреваемой камеры
ABS-пластик требует печати в нагреваемой камере. Рекомендуемая температура воздуха – 80–90 градусов. Это помогает избежать появления трещин и деформации при печати.

3. Избегание открытых окон

Во время печати необходимо избегать открытых окон и протечек воздуха. Это может повлиять на ударопрочность изделия и привести к образованию трещин.

4. Печать в закрытом пространстве
ABS-пластик лучше печатать в закрытом пространстве. В этом случае меньше шансов на образование трещин в материале.

5. Требуется выдержка

ABS-пластик требует выдержки перед началом работы с изделием. Рекомендуемое время – 5–10 минут. Это поможет избежать появления пузырьков в материале.

Сферы применения продукции из ABS-пластика:

1. В автомобильной промышленности используется для печати различных деталей, таких как легкосплавные диски, решетки радиатора, стойки капота, наружные зеркала и т.д.

2. В электронике используется для создания различных частей компьютеров и электронных устройств. Это может быть корпус ноутбука, панель управления, кронштейн для монитора.

3. В медицинской промышленности для создания деталей, например, модели органов для обучения хирургов, создания кастомизированных протезов.

ABS-пластик, хотя и требует более высоких температур и склонен к деформации при охлаждении, но предоставляет более прочные и устойчивые к ударам объекты, чем PLA-пластик. Это делает его практичным для создания таких объектов, как бамперы автомобилей, защитные коврики, игрушки и многое другое. Кроме того, ABS-пластик также можно отделять и склеивать, что дает возможность создавать детали более сложной формы.

В итоге, возможности использования ABS-пластика в 3D-печати выгодны для производителей и дизайнеров. Он позволяет создавать более прочные и устойчивые к ударам объекты. Однако, стоит учитывать, что пластик имеет свои особенности, такие как необходимость использования подогреваемой платформы и сильный запах при печати и др. Тем не менее, благодаря возможности отделки и склейки, ABS-пластик приносит много преимуществ тем, кто занимается 3D-печатью.

2.2. PLA-пластик

PLA-пластик, или полилактид – это термопластичный, биоразлагаемый, биосовместимый, алифатический полиэфир, мономер которого молочная кислота. Второе название – полимолочная кислота. PLA-пластик производят из возобновляемых ресурсов, например, сахарного тростника, соевого белка, кукурузы. Регулируя уровень молочной кислоты при изготовлении пластика, можно получать разные качества и свойства полимера. Это позволяет увеличивать области применения PLA-пластика.

Таблица 3. Основные характеристики PLA-пластика.

Твердость по Роквеллу	R70-R90
Температура плавления	180°±10°C
Температура стеклования	60-65°C
Температура размягчения	50°C
Плотность	1,23-1,25г/см ³
Модуль упругости при изгибе	2,3 ГПа
Модуль упругости при растяжении	3,3 ГПа
Прочность на разрыв	57,8 МПа
Прочность на изгиб	55,3 МПа
Точность печати	+0,1%
Влагопоглощение	0,5-50%
Минимальная толщина стенок	1мм
Относительное удлинение при разрыве	3,8%
Размер мельчайших деталей	0,3мм
Скорость печати	30-90мм/с
Удельная теплота плавления	93Дж/г

Также стоит отметить, что данный пластик горит без остатка и выделения токсичных веществ, стоек температуре до 110°C, подвержен деградации под действием ультрафиолетового излучения, хрупок. Растворяется в диоксане, горячем бензоле, тетрагидрофуране.

Температура печати: 180°C±10°C. Чаще всего 180° – отправная точка PLA-печати. Если температура слишком высокая, между частями изготовленной модели будет видна так называемая паутина. Результатом слишком низкой температуры станет то, что слои перестанут друг к другу прилипать, вследствие чего изделие потеряет прочность.

Температура стола для работы. Для PLA-печати не обязателен подогрев рабочего стола. Он может помочь с адгезией 1-ого слоя.

Способ производства PLA-пластика.

Изготовление PLA-нити начинается с прозрачной смолы в гранулах, которую помещают в блендер и соединяют с различными добавками, пигментами и тому подобными веществами для получения определенных свойств и цветов. Далее, полученный пластик сушат при 60-

80°C. Данная процедура уменьшает вероятность возникновения лопнувшей нити и, следовательно засорения сопла 3д-принтера. После этого полученный материал в гранулах помещается в одношнековый экструдер, где происходит нагревание, смешивание и экструдирование в твердую, круглую нить. Далее она пропускается через емкость с холодной водой и наматывается на катушки (рис. 2.2).

Виды и особенности PLA-пластика.

1. PLA+. Улучшенный PLA. В составе, помимо сахарного тростника и крахмала, есть вещества, пигменты и добавки, помогающие решить такие проблемы, как, хрупкость или влагопоглощаемость. У данного вида пластика, как правило, более качественная поверхность, насыщенный и равномерный цвет, высокие характеристики.



Рис. 2.2. Катушка пластика

2. Glitter Sparkly. Цветовая вариация пластика PLA (рис. 2.3). Содержит блестящие элементы и частицы, делающие изделия еще более необычными. Состоит из полимолочной кислоты и блестящих элементов.



Рис. 2.3. Катушка пластика Glitter Sparkly

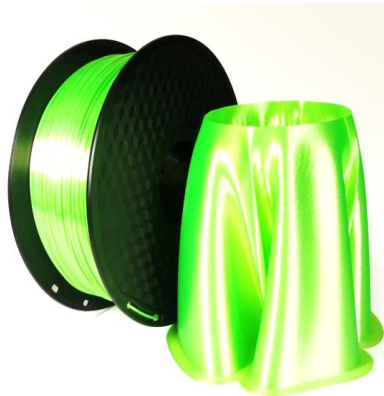


Рис. 2.4. Катушка пластика Silk-like



Рис. 2.5. Катушка пластика Color Changing

3. Silk-like. Еще одна цветовая вариация. Отличительная черта таких нитей: гладкая, блестящая поверхность (рис. 2.4). Также отмечают, что данная разновидность не только очень красива, но и печатать ею легко.

4. Color Changing. Отличается от перечисленных видов пластика тем, что меняет цвет (рис. 2.5). Одни нити такого вида реагируют на нагревание, другие чувствительны к УФ-излучению. Состоят из полимолочной кислоты, светочувствительных частиц.

5. Wood PLA. При помощи этого вида пластика можно сделать изделия с деревянным эффектом (рис. 2.6). При аккуратной шлифовке таких поделок можно не только придать им гладкую поверхность, но и увидеть волокна древесины. В состав, помимо полимолочной кислоты, входят волокна бамбука, кедр, ивы и др. пород деревьев. Отличается не только «деревянным» видом, но и запахом.



Рис. 2.6. Катушка пластика Wood PLA



Рис. 2.7. Катушка пластика Flexible. Soft. Rubber-like

6. Flexible. Soft. Rubber-like. Резиноподобный, эластичный материал, который подходит для изделий, предназначенных для растяжки и сжимания. Иногда, так называют пластик, который менее хрупкий, по сравнению с пластиком, полностью состоящим из полимолочной кислоты (рис. 2.7).

7. Carbon. За счет углеродных волокон, находящихся в составе пластика, изделия получаются очень прочными и жесткими (рис. 2.8). Но, за счет жесткости нити, внутренняя часть сопла быстро изнашивается. Избежать этого можно, используя сопло из закаленной стали.

8. PLA/PHA. Пластик, практически идентичный, по характеристикам, пластику ABS, но, при этом являющийся биоразлагаемым и недеформируемым (рис. 2.9).

9. Glow-in-the-dark. Пластик, в составе которого, содержится фосфоресцирующий пигмент, из-за которого изделия светятся в темноте (рис. 2.10).



Рис. 2.8. Катушка пластика Carbon



Рис. 2.9. Катушка пластика PLA/PHA



Рис. 2.10. Катушка пластика Glow-in-the-dark

10. Conductive. С помощью данного пластика можно напечатать простые электрические элементы, за счет графена в составе (рис. 2.11). Это не заменит печатные платы, однако может стать хорошей заменой проводам.

11. HighTemp. Материал, который выдерживает более высокие температуры, чем чистый PLA-пластик. Состоит из минералов и полимолочной кислоты. Однако, минус данного материала- сложность печатания.

12. Неоновый. Еще одна цветовая разновидность, отличающаяся флуоресцентными пигментами в составе (рис. 2.12).

13. Прозрачный. Светопроницаемый материал, который используют для печати фигурок, с последующей подсветкой (рис. 2.13).



Рис. 2.11. Катушка пластика Conductive



Рис. 2.12. Катушка пластика HighTemp



Рис. 2.13. Катушка неонового пластика

14. Пластик из нестандартных материалов. Данный материал отличается тем, что в его состав, помимо полимолочной кислоты, входят

абсолютно разные продукты, например, кофе или водоросли.

Достоинства и недостатки PLA-пластика

Достоинства:

Разнообразный цветовой спектр

Нетоксичность

Экологичность

Гладкая поверхность готового изделия

Хорошее скольжение деталей

Экономичный энергозатрат

Детальность изделий

Не обязательна нагревательная платформа и применение каптона

Недостатки:

Подверженность деформациям

Довольно грубая текстура

Хрупкость

Недолговечность

Небезопасность для пищевых продуктов.

Применение PLA-пластика.

PLA-пластик используется в изготовлении упаковочных материалов и изделий. Экологически-чистая одноразовая биоразлагаемая посуда, средства личной гигиены, формы для теста, пакеты. Широкое распространение полилактид получил в медицине, за счет биосовместимости. Анатомические модели, прототипы, модели и макеты.

Производители PLA-пластика.

Крупнейшим производителем PLA-пластика является американская компания Nature Works. Помимо данной компании, пластик PLA производится японскими компаниями Toyota и Hitachi, DuPont-США, Galactic- Бельгия, компаниями из Китая и Нидерландов. В России PLA в промышленных масштабах не производится, но более 20 производств занимаются переработкой полимера.

PLA-пластик недорогой, удобный в эксплуатации, неприхотливый, безопасный материал для 3D-печати. Его используют в случаях, когда внешний вид важнее долговечности. Благодаря экологичности полимера, его можно использовать в медицине и пищевом производстве.

2.3. PET-пластик

Пластиковые бутылки, контейнеры, упаковочная пленка, стильные изделия – полезные и необходимые вещи в быту каждого человека, которые изготавливаются из универсального пластика ПЭТ (полиэтилентерефталата). Запатентованный британской компанией Calico Printers в 1940-х годах, PET стал самым известным и популярным пластиком. Он также известен под другими торговыми наименованиями – полиэстер, майлар, лавсан.

Не обошло стороной его применение и в 3D-печати. За счет небольшого изменения структуры после добавки гликоля PET превращается в PETG и становится превосходным материалом для FDM/FGF-принтеров.

PETG – сополиэфир, высокопрочный, износостойкий материал, обладающий высокой температурой плавления, стойкостью к большинству химических реагентов и ультрафиолету. В совокупности с простотой печати он получил самое широкое применение в аддитивном производстве в виде филаментов или гранул.

Как уже говорилось раньше PETG – это сополимер. Он построен на гомополимере ПЭТ, который запатентовали британские химики в 1941 году. Д.Уинфилд и Д.Диксон занимались исследованиями, результатом которых должны были стать синтетические волокна вроде нейлона. Кстати говоря, нейлон появился незадолго до этого и произвел настоящий фурор. Но ПЭТ под названием терилен долгое время был секретным. Дело в том, что в этот период действовали законы военного времени, и все разработки находились под грифом «секретно». Лишь в 1946 году с терилена сняли секретность.

В СССР полиэтилентерефталат был получен в 1949 году. Материал получил название «лавсан» в честь Лаборатории Института Высокмолекулярных Соединений Академии наук СССР, где он был создан. Впоследствии разные корпорации разработали собственные названия для полимера, но в последние десятилетия общепринята химическая аббревиатура PET, как и в случае с сополимерами, образованными на основе полиэтилентерефталата. Поэтому PETG, строго говоря, является частным случаем PET, его разновидностью, но принято разделять эти материалы, т.к. свойства PETG и “чистого” PET различаются.

Строение PET/PETG

Основные составляющие полиэфиров, таких как ПЭТ и ПЭТГ – мономеры кислот и гликолей. В производстве ПЭТ обычно используются диметилтерефталат (эфир терефталевой кислоты и метанола) и этиленгликоль. Соединяя исходные мономеры получаем уже полимер – полиэтилентерефталат или просто ПЭТ.

В случае с ПЭТГ используется та же исходная комбинация, но часть этиленгликоля (от 30% до 60%) замещается другим гликолем – циклогександиметанолом. Получается, что гликоли служат основными компонентами и ПЭТ, и ПЭТГ, просто при производстве этих полимеров используются разные гликоли в разных пропорциях.

Практическая разница

Главное структурное отличие в том, что ПЭТ – это полукристаллический полимер, а ПЭТГ – аморфный. Это означает, что в структуре ПЭТГ молекулы никак не упорядочены и напоминают вермишель. В полукристаллических полимерах вроде ПЭТ, с другой стороны, помимо хаотичных аморфных участков присутствуют и упорядоченные, то есть кристаллические (рис. 2.14). Это, в свою очередь, оказывает влияние на механические и термические свойства.

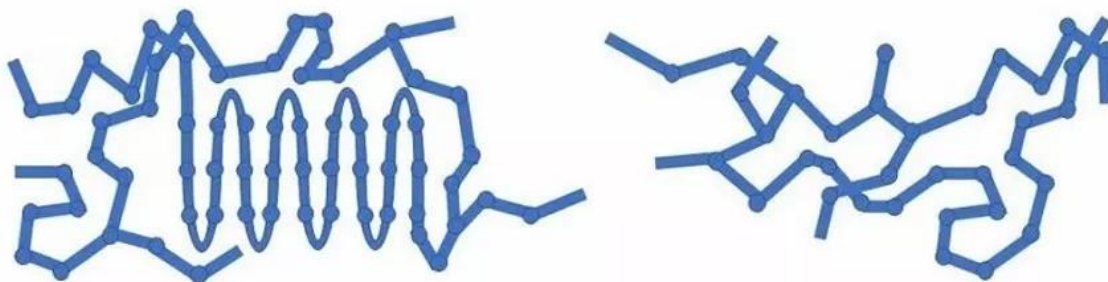


Рис. 2.14. Структура молекул PETG

Механические свойства

Как правило, полукристаллические материалы отличаются более высокой твердостью в сравнении с полностью аморфными аналогами. Можно сказать, что кристаллы служат своего рода арматурой. Это касается и наших героев: ПЭТ обычно жестче, а ПЭТГ немного лучше растягивается, но в остальном механические характеристики этих двух полимеров почти не отличаются.

Термические свойства

При охлаждении полукристаллические материалы более склонны

к деформациям, вызываемым изменениями плотности, в свою очередь вызываемыми образованием кристаллических областей. Это означает, что аморфный PETG менее склонен к усадке, а потому гораздо удобнее при 3D-печати, тогда как полукристаллический ПЭТ требует более строгого контроля параметров, особенно температуры (рис. 2.15).

У ПЭТ также обычно слегка более высокие температуры экструзии и эксплуатации. С одной стороны, это немного затрудняет печать, зато ПЭТ будет чуть лучше работать в приложениях, требующих термостойкости.

Совокупность этих факторов привела к тому, что практически ни один производитель не предлагает филаменты из ПЭТ, тогда как ПЭТГ входит в тройку наиболее популярных пластиков для 3D-печати наряду с ПЛА и АБС. Если в четырех словах, ПЭТГ просто более удобен.



Рис. 2.15. Печать пластиком PET

Особенности PET-пластика

Почему PET-пластик пользуется популярностью при печати трехмерных объектов? Это объясняется доступной стоимостью продукта, а также его широкое распространение для создания предметов для пищевой промышленности. Кроме того, производство на его основе ведется методом литья под давлением и выдавливанием. При 3D-печати применяется в технологии FFF. Ее особенности – в простоте конструкции принтеров и их ценовой доступности, а также небольшой стоимости расходных материалов (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Применение пластика

Применением ПЭТ объясняется также его доступностью, а также следующими положительными свойствами:

- химической устойчивостью к воздействию щелочей, кислот, органических растворителей,
- высокой износостойкостью,
- способностью выдерживать различные температуры,
- простотой механической обра-

ботки,

- нерастворимостью в воде,
- возможностью безопасного контакта с пищевыми продуктами,
- низким коэффициентом трения,
- высокой жесткостью и твердостью,
- простотой обработки лаком.

3D-печать с применением данного вида пластика отличается сложностями, поскольку плавление происходит при высоких температурах, а при остывании материал дает значительную усадку. Именно поэтому при процессе печати требуется усиление опорными структурами, которые после создания модели просто удаляются. Сегодня умельцы производят расходный материал в виде пластиковых нитей из пластиковой тары, которая отправляется на вторичную переработку.

К недостаткам пластика PET можно отнести:

- склонность к самопроизвольной кристаллизации, что сказывается на появлении деформаций в конечном продукте,
- пропусканием ультрафиолетовых лучей,
- проницаемостью для молекул газов,
- необходимостью в резком охлаждении, если требуется получить прозрачные модели.

Применение в 3D-печати: Одной из особенностей PETG, делающих этот материал заманчивым для 3D-печати является его доступность, особенно в России, где этот материал получил особенно широкое распространение в пищевой промышленности. Таким образом, возможно использование домашних перерабатывающих установок

(например, FilaBot) для производства собственной нити.

Однако обычный PETG может иметь некоторые неприятные особенности из-за добавок – например, высокую степень усадки. В связи с этим принимаются усилия по созданию специализированных расходных материалов на основе PETG для 3D-печати.

Оптимальная температура печати T-Glase составляет 212°C-224°C, с допустимым диапазоном 207°C-235°C.

Рекомендуется печатать слоями не тоньше 150 микрон на низкой скорости в 10-20 мм/сек.

T-Glase: самый известный пластик PET

Этот новый продукт был выпущен компанией Taulman3D и отличается следующими характеристиками:

1. Стойкостью к низким температурам.
2. Высокой прочностью.
3. Плотным склеиванием слоев.
4. Качеством.
5. Жесткостью.
6. Безопасностью (можно применять для создания товаров пищевой промышленности).

Этот продукт прозрачный и может использоваться при низких температурах. На основе его применения можно вести печать на любой поверхности – от акриловой и стеклянной до других печатных рабочих столов. Хорошая адгезия и стойкость к деформациям идеально подходят для того, чтобы печатать крупные трехмерные объекты. Еще одно преимущество материала – в отсутствии выделения вредных ароматов и паров, что делает процесс печати экологически чистым и безопасным для здоровья. Благодаря низкой степени усадки конечная модель не деформируется, а потому можно эффективно печатать прочные и при этом гибкие объекты.

T-Glase представляет собой прочный и надежный полимер, который полностью адаптирован под промышленное применение. Благодаря послойному склеиванию деталь получается максимально герметичной и прочной. Кроме того, материал не разлагается, что и считается перерабатываемым. Благодаря прозрачности пластика можно создавать четкие и детализированные ювелирные изделия. ПЭТ широко применяется при производстве рекламной и сувенирной продукции, а также товаров для пищевой и медицинской сферы.

T-Glase с легкостью схватывается с акриловыми и стеклянными рабочими столиками, а также с полиимидной пленкой (каптоном). Слои материала также прекрасно схватываются, что и обеспечивает высокую прочность моделей. Необходимо учитывать, что хорошая «липучесть» T-Glase обеспечивается за счет достаточно низкой температуры стеклования в 78°C. Хотя материал и сертифицирован для изготовления пищевых контейнеров, T-Glase не рекомендуется для хранения горячих напитков или пищи.

Оптимальная температура печати T-Glase составляет 212°C-224°C, с допустимым диапазоном 207°C-235°C.

Рекомендуется печать слоями не тоньше 150 микрон на низкой скорости в 10-20 мм/сек.

T-Glase не биоразлагаем, зато с легкостью поддается переработке, причем допускается смешивание с обычным промышленным ПЭТФ (до 12% ПЭТФ по весу).

T-Glase не поддается окраске, но в настоящее время доступен в бесцветной версии и пяти цветных вариантах: красном, синем, зеленом и черном.

Технологии

РЕТ – это полиэтилентерефталат, который создается на основе полиэфира. Это прозрачный листовый материал, который обладает большой способностью светопропускания. Из-за быстрого воспламенения и самозатухания он режется только лазером, к тому же под воздействием нагревания материал деформируется, что скажется на ухудшении качества конечного продукта.

Использование РЕТ целесообразно в методике FDM, когда печать ведется послойно. Но данный способ создания трехмерных деталей имеет свои недостатки:

Во-первых, работа ведется слишком медленно.

Во-вторых, полученное изделие не отличается высоким разрешением, поэтому поверхность модели будет выделяться слоями.

В-третьих, при данной технологии могут возникнуть проблемы с фиксацией материала на рабочем столе, поскольку он может прилипнуть к ней. Чтобы этого избежать, применяется подогрев рабочего стола, когда на него наносятся определенные покрытия.

В-четвертых, если будут нависающие элементы, потребуется применение опорных структур, которые впоследствии удаляются. Как

правило, именно в этих целях и применяется PET.

Советы по печати

1. Хранение филамента

Филамент PETG гигроскопичен, то есть обладает способностью впитывать влагу из окружающей среды. Во избежание проблем в данной ситуации следует правильно хранить пластик, для этого помещайте материал в герметичные пакеты и убирайте его в прохладное сухое место. Перед печатью нить следует обязательно просушивать.

2. Первый слой

Если для большинства пластиков следует использовать в качестве адгезивов сторонние вещества, то с PETG ситуация обратная – он сам может довольно сильно прилипнуть к столу. В таком случае для лучшего отделения детали от платформы все равно придется воспользоваться специальным клеем.

3. Параметры печати

Для печати PETG можно использовать как открытую, так и закрытую камеру. Температуру стола следует выставлять в диапазоне 70-85 °С, экструдера – 220-250 °С, в зависимости от производителя.

Печать возможна как на высоких скоростях порядка 80-100 мм/с, так и на низких – для достижения более высокого качества. Печать PETG-пластиком требует охлаждения, однако ее интенсивность остается индивидуальным вопросом: начиная от 50% и вплоть до максимально возможного обдува.

PETG часто образует нити и потеки в процессе печати (стрингинг), что является следствием неправильной настройки ретракта. Пробуйте увеличивать расстояние и скорость втягивания.

Обработка детали из PET

1. Термическая обработка

Поскольку полимер плавится при высоких температурах, края готового изделия можно обрабатывать горелкой или промышленным феном, чтобы убрать шероховатости. Если в процессе печати осталось много тонких нитей (результат стрингинга), их можно удалить так же.

2. Механическая обработка

Физические свойства напечатанных из PETG изделий позволяют проводить различную механическую обработку готовых поверхностей. Можно сверлить отверстия в корпусе или полировать поверхность де-

талей. Для полировки используются полировальные круги или обычная наждачная бумага.

3. Покраска

Красить готовые изделия, напечатанные из PETG, достаточно сложно. Единственным очевидным способом является использование аэрозольной краски или краскопульта.

4. Склеивание

Детали из PETG надежно соединяются суперклеем (цианакрилатом). В качестве альтернативы можно использовать растворитель.

Разновидности PETG

Первый – антибактериальный филамент REC Biocide PETG со специальными добавками, убивающими вредные микроорганизмы, например кишечную палочку и золотистый стафилококк. Добавки практически никак не влияют на параметры печати, но этот материал лучше подходит для изготовления предметов общего пользования, например дверных ручек, игрушек, и тому подобного.

Второй называется rPETG GF – это самый недорогой в своем классе композиционный материал на основе ПЭТГ с наполнителем из армирующего стекловолокна. Композит изготавливается из вторичного сырья: на итоговые свойства это практически не влияет, зато помогает удерживать доступные цены. rPETG GF опять-таки очень удобен в работе: единственное, что потребуется – это заменить латунное сопло на стальное, так как стекловолокно значительно повышает абразивность материала.

PETG по своим свойствам и характеристикам близок к ABS, а по простоте печати и обработки аналогичен PLA, что и сделало его универсальным и незаменимым в 3D-печати термопластом. Модели получаются прочными, долговечными и химически стойкими. Процесс печати полностью безопасен, а сам пластик можно использовать в пищевой и медицинской промышленности. Стоит приложить небольшие усилия для настройки 3D-принтера и подготовки к печати – и отличные результаты не заставят себя ждать.

2.4. PVA-пластик для печати

3D-печать стала одним из самых популярных методов производства в последние годы. Она обеспечивает абсолютную свободу в создании разных объектов и элементов. Однако, чтобы получить высококачественный продукт, нужно использовать правильный материал.

Пластик PVA (поливиниловый спирт) - материал, получаемый из растительного сырья, обладает рядом полезных свойств, которые делают его популярным в 3D-печати. PVA представляет собой биоразлагаемый пластик, практически невредный для окружающей среды, что делает его привлекательным для использования в различных отраслях, включая медицину, которая нуждается в безопасных материалах.

Одним из наиболее популярных применений PVA является его использование в качестве наполнителя в сложных структурах 3D-моделей. PVA можно использовать вместе с другими материалами для создания поддержки и стабилизации модели во время печати. На сегодняшний день, PVA-пластик является достаточно распространенным материалом для изготовления 3D-деталей.



Рис. 2.17. Катушка PVA

PVA-пластик для печати стал широко доступным только в последние годы, но его история началась много раньше. PVA, или поливиниловый спирт, был впервые синтезирован в Германии в 1920-х годах. Он был широко использован в качестве клея, пленки и в некоторых медицинских приложениях.

В начале 2000-х годов PVA был введен в мир 3D-печати.

В настоящее время PVA-пластик используется для создания сложных деталей и моделей, которые требуют опорных структур.

Принтеры не умеют печатать по воздуху и каждый последующий слой должен опираться на предыдущий. В особенности, когда печатается сложная геометрическая модель с выступающими элементами, всем этим частям обязательно понадобятся поддержки. Если они будут сформированы из того же материала, из которого печатается деталь, то на их удаление понадобится не мало времени и сил. И также будет риск повреждения модели при неосторожном отделении поддержек.



Рис. 2.18. Поддержки при печати

Поэтому для опорных конструкций используют PVA-пластик, так как его легко удалить, погрузив основную модельку в воду под поддержки за короткое время растворятся в ней (рис. 2.18).

И, как уже понятно по сказанному выше, именно это свойство PVA-пластика позволяет создавать сложные геометрические формы, без необходимости срезания поддерживающих конструкций, что облегчает процесс печати и экономит время.

Также PVA-пластик может быть использован для создания деталей, которые нуждаются в высокой степени точности и гладкости (рис. 2.19), таких как модели архитектурных объектов, медицинские протезы, производство шаблонов и форм для отливки.

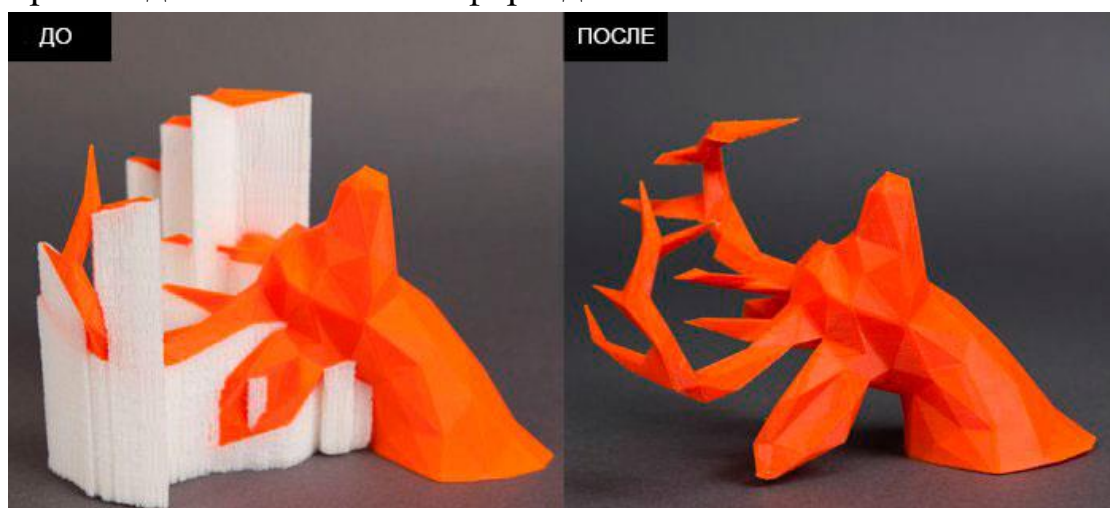


Рис. 2.19. Поддержки при печати точных фигур

Свойства PVA-пластика

1. Растворимость в воде.

Это означает, что PVA-пластик легко растворяется в воде и может использоваться как поддержка для печати объемных деталей (рис. 2.20).

2. Безопасность.

PVA-пластик не токсичен для человека, и его используют в качестве материала для медицинских имплантатов.

3. Детализация печати.

PVA-пластик обладает высокой точностью и может использоваться для печати моделей с миниатюрными и тонкими деталями.



Рис. 2.20. Поддержки при печати сложных фигур

4. Стираемость.

Могут создаваться временных печатных изделий из PVA-пластика, так как поверхность, которая печатается из этого материала легко стирается.

5. Соединяемость.

PVA-пластик хорошо соединяется с другими материалами 3D-печати, включая PLA и ABS.

6. Паропроницаемость.

PVA-пластик пропускает не только воду, но и пар, что делает его прекрасным материалом для печати изделий, предназначенных для использования в условиях высокой влажности.

7. Гладкость поверхности.

Поверхность, печатаемая из PVA-пластика, имеет высокую гладкость и не требует дополнительной обработки.

8. Эластичность.

Смешивая PVA-пластик с другими материалами, можно получить эластичные изделия.

Недостатки в работе с PVA-пластиком

Несмотря на все свои свойства и достоинства, PVA-пластики имеет некоторые недостатки. Этот материал склонен к деформации, когда он нагревается. Пластик требует высокую температуру при печати и есть риск также сжатия модели и повреждения печатной головки.

Так как PVA-пластик низко устойчив к влаге, это может привести к разрушению модели, если ее несколько намочить.

При работе с PVA-пластиком требуется принтер с двумя экструдерами. Это громоздко и дополнительно увеличивает стоимость оборудования.

Для успешной работы с PVA-пластиком необходимо правильно подготовить материал:

Хранить PVA-пластик в сухом и прохладном месте, чтобы избежать воздействия влаги на него. Материал очень гигроскопичен и может поглощать до 50% своего веса воды;

Для уменьшения воздействия влаги на материал рекомендуется использовать специальные контейнеры с силикагелем. Если пластик уже поглотил воду, то необходимо его высушить в сушильной камере при температуре до 60 градусов в течение пары часов;

Также следует хранить PVA-пластик в месте, защищенном от солнечного света, так как ультрафиолетовые лучи могут повредить свойства пластика;

Перед печатью необходимо очистить печатную платформу от остатков предыдущей печати и обработать ее с помощью жидкости, например, 70% изопропилового спирта;

Установить экструдер на температуру от 200 до 220 градусов Цельсия и убедиться, что материал полностью расплавлен. Для улучшения сцепления слоев можно попробовать понизить скорость печати, установить высокий уровень настольного вентилятора и повысить температуру комнаты;

Заполнить экструдер пластиком, пока он не начнет вытекать с него без остановок;

Проверить наличие достаточного количества материала на катушке, чтобы избежать остановки печати на середине задачи;

После окончания печати убедиться, что материал остыл и не прилип к печатной поверхности. Если это произошло, можно использовать нож или другой острый инструмент для отрезания избыточного материала.

PVA-пластик является биоразлагаемым материалом, который при правильном использовании меньше наносит вреда окружающей среде. Ведущие производители 3D-принтеров уже включили возможность печати с использованием PVA-пластика в своих устройствах.

Однако, совершенствование технологий и улучшение качества PVA-пластика для печати, помогут расширить его возможности в различных отраслях, включая медицину, производство игрушек, одежды и т. д. Более того, PVA-пластик может использоваться и в качестве упаковочного материала для продуктов, что делает его еще более популярным и востребованным материалом (рис. 2.21).

Таким образом, PVA-пластик является одним из самых перспективных материалов для 3D-печати. Его уникальные свойства, такие как растворимость в воде и возможность использования в качестве опорной структуры для более сложных моделей, сделали его незаменимым компонентом для многих проектов. Однако, как и любой другой материал, PVA-пластик имеет свои ограничения, но с правильным подходом его можно максимально эффективно использовать. В целом, использование PVA-пластика позволяет расширить возможности 3D-печати и создавать более сложные и точные модели.



Рис. 2.21. Печать игрушек

2.5. Полистирол для 3д-печати.

Полистирол (PS) - это термопластичный полимер, который широко используется в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, электронную и упаковочную.

Подобно другим пластичным полимерам, история полистирола начинается в первой половине XX века, хотя исходное органическое вещество стирол было получено еще в 1831 году путем нагревания

смолы бальзамного дерева. Ранее этот натуральный компонент, включающий стирол, ванилин и коричную кислоту, использовался древними египтянами в парфюмерии, медицине и в качестве материала для бальзамирования тел. Когда же были открыты полимерные свойства смолы стиракс (styrax), ученые стали проводить работы по ее синтезу.

Полистирол (PS) был создан в 1930-х годах в Германии компанией BASF как альтернатива естественному каучуку. В те годы каучук был дорогостоящим и встречался в небольших количествах. Было необходимо разработать новый материал, который мог бы заменить каучук и стать более доступным в производстве.

Полистирол (PS) для 3D-печати был разработан в результате усовершенствования материала High Impact Polystyrene (HIPS), который уже был широко использован в различных отраслях промышленности. В 3D-печати HIPS начали использовать как опорный материал для более сложных и крупных моделей.

Первые эксперименты с использованием HIPS для 3D-печати были проведены в 2011 году. С тех пор компании, занимающиеся производством 3D-принтеров и материалов для печати, продолжали усовершенствовать этот материал и его свойства, чтобы сделать его более удобным и эффективным для этих целей.

Сегодня HIPS - это один из наиболее распространенных материалов для 3D-печати, особенно для начинающих пользователей. Он является относительно дешевым и легко обрабатываемым, что делает его идеальным для создания опорных структур для более сложных и крупных моделей. Кроме того, HIPS довольно прочен, легко окрашивается и не требует особых условий хранения.

Хотя HIPS не является самым экологически чистым материалом для 3D-печати в связи с его неспособностью к биоразлагаемости, это все еще очень важный материал для создания высококачественных печатных изделий.

Химический состав полистирола (PS) для 3D-печати, в частности HIPS, может немного отличаться в зависимости от производителя материала. Однако в общем случае HIPS состоит из полистирола, стирола и прочих добавок для улучшения его свойств.

Другие добавки могут включать пигменты, для придания матери-

алу желаемого цвета. В некоторых случаях могут добавляться специальные добавки, такие как воск или антистатические агенты, для повышения качества исходного материала и улучшения свойств печати.

Общая химическая формула HIPS выглядит как $(C_8H_8.C_8H_8.C_4H_6.C_4H_6)_x$, где x обозначает число повторяющихся единиц в молекуле полимера.

Использования полистирола в 3д-печати

Полистирол (PS) используется в различных областях 3D-печати, включая:

1.Создание опорных материалов. HIPS используется в качестве опорного материала для сложных и крупных моделей. Он легко растворяется в лимонном соке или других подобных растворах, что облегчает удаление опорных элементов.

2.Изготовление крупных прототипов. Использование HIPS позволяет создавать детали большого размера, например, корпуса автомобилей, шкафы, холодильники и т.д. (рис. 2.22)



Рис. 2.22. Изготовление прототипа

3.Косметические детали. HIPS может быть окрашен в широком диапазоне цветов, что делает его идеальным для создания косметических деталей, таких как корпуса мобильных телефонов, игрушки и т.д.

4. Моделирование архитектурных объектов. HIPS может быть использован для создания более крупных предметов, например, для создания макетов зданий и других архитектурных объектов (рис. 2.23).

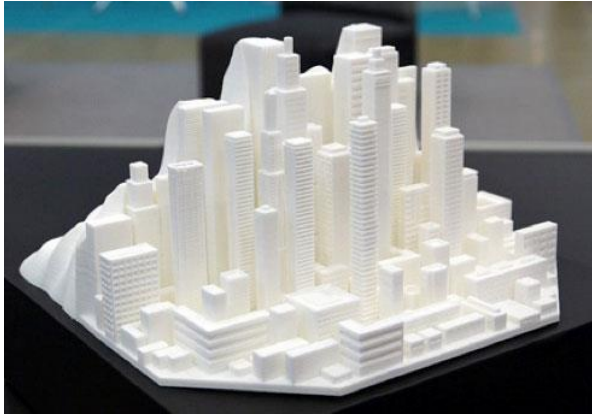


Рис. 2.23. Изготовление макета

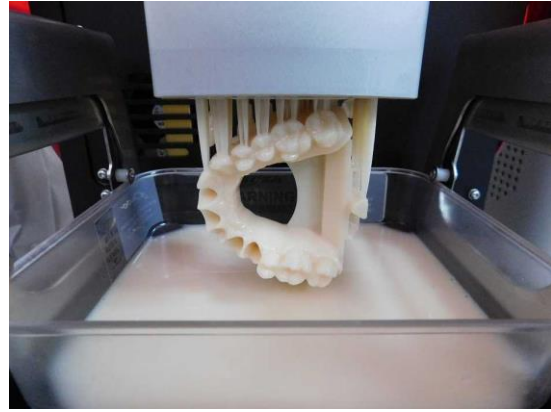


Рис. 2.24. Прототипирование медицинских изделий

5. Прототипирование медицинских изделий. Полистирол используется в медицинской отрасли для создания прототипов медицинских изделий, таких как протезы и инвалидные кресла (рис. 2.24).

6. Художественные проекты. PS/HIPS может быть использован для создания различных художественных проектов, таких как скульптуры, декоративные элементы и др. (рис. 2.25)



Рис. 2.25. Изготовление скульптуры

Также стоит отметить, что на основе полистирола создаются другие материалы для 3D-печати, такие как ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) и ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate), которые также широко используются в этих целях.

Различия между типами полистирола.

Существует несколько различных типов полистирола (PS), используемых в 3D-печати, таких как HIPS и GPPS. Рассмотрим отличия между ними:

1. HIPS и GPPS: HIPS имеет более высокую ударную прочность и устойчивость к разрушению, что делает его

идеальным материалом для создания опорных элементов. GPPS имеет более гладкую поверхность и более высокую степень прозрачности.

2. HIPS и ABS: ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) и HIPS имеют

схожие свойства, но ABS имеет более высокую прочность и устойчивость к температурам, что делает его более подходящим для создания функциональных деталей и прототипов.

3. HIPS и ASA: ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) имеет более высокую устойчивость к воздействию ультрафиолетовых лучей, что делает его идеальным материалом для создания деталей, предназначенных для эксплуатации на улице или в условиях, где подвержены воздействию солнечного света. HIPS не обладает такой устойчивостью.

4. HIPS и PLA: PLA (Polylactic acid) - биоразлагаемый материал, более экологически чистый, чем PS. HIPS более устойчив к химическим воздействиям и обладает более высокой ударной прочностью, что делает его более подходящим для создания больших и тяжелых конструкций.

В целом, выбор материала для 3D-печати зависит от конкретных требований к создаваемой детали или модели. Однако, в любом случае следует обращать внимание на свойства материала, такие как прочность, устойчивость к воздействию температуры, ультрафиолетовых лучей, степень прозрачности и экологические аспекты.

Преимущества полистирола (PS) для 3D-печати:

1. Хорошая ударопрочность. PS обладает высокой ударопрочностью, что делает его идеальным материалом для создания опорных материалов.

2. Легко поддается переработке. HIPS легко растворяется в лимонном соке или других растворах, что облегчает удаление опорных деталей.

3. Легко окрашивается. PS/HIPS может быть легко окрашен в различные цвета, что делает его идеальным для создания косметических деталей.

4. Дешевизна. Цена PS ниже, чем у других материалов для 3D-печати.

5. Широко доступна. PS/HIPS могут быть найдены в большинстве магазинов, продающих 3D-печатные материалы.

6. Не подвержен атмосферным воздействиям. Полистирол устойчив к воздействию влаги и ультрафиолетовых лучей.

7. Хорошие изоляционные свойства. Твёрдый полистирол обладает высокой термоизоляцией, что делает его хорошим материалом для

использования в строительстве, а пенный полистирол имеет широкое применение в упаковке, защите, мебели.

Недостатки полистирола для 3D-печати:

1. Низкая термостойкость. PS может быстро расплавляться и деформироваться при воздействии высоких температур.

2. Низкая устойчивость к ультрафиолетовому излучению. PS/HIPS необходимо покрывать, если они будут эксплуатироваться на улице или подобных условиях.

3. Ограниченные свойства материала. Как уже было указано выше, PS/HIPS могут быть хорошими материалами для создания опорных материалов, крупных прототипов, косметических деталей, художественных проектов, но могут не подходить для создания функциональных деталей и прототипов.

4. Низкая стойкость к растворителям и химикатам. PS/HIPS могут быть агрессивно воздействованы химическими веществами, что может привести к деформации и изменению свойств.

5. Горючесть. Полистирол может гореть и издавать токсичный дым при пожаре.

В заключение можно сказать, что полистирол в области 3D-печати достаточно популярный, хоть он и является сложным в использовании, если им научиться пользоваться, то можно создавать из полистирола красивые, практичные вещи в разной области применения.

Несмотря на все его недостатки полистирол может быть хорошим выбором материала для 3D-печати, если требование к предмету печати не связаны со специфическими свойствами.

2.6 Laywoo-D3 для 3D-печати

В современном мире 3D-печать стала неотъемлемой частью различных индустриальных и научных процессов, с помощью которой осуществляется создание трехмерных объектов на основе компьютерных моделей. Одним из материалов, которые используются в 3D-принтерах, является Laywoo-D3.

Laywoo-D3 - это биоразлагаемый филамент для 3D-печати, который на основе древесины, содержит натуральные древесные волокна, а также связующую смесь полимеров. На выходе получается материал, который имеет внешний вид и структуру натуральной древесины.

Преимущества этого материала заключаются в его возможности имитировать текстуру и цвет реальной древесины, создавая таким образом объекты с высокой степенью реализма. Кроме того, Laywoo-D3 можно применять в сфере проектирования мебели и интерьеров, а также для создания прототипов и моделей для архитектурных образцов.

Однако, несмотря на все свои преимущества, использование Laywoo-D3 может вызвать некоторые проблемы, связанные с его неоднородностью в качестве нити, которая приводит к неоднородности объекта в процессе печати.

Применение Laywoo-D3 может быть широким в области дизайна и архитектуры. В таблице 4 представлены примеры объектов, которые можно создать с помощью Laywoo-D3, а также их возможное применение:



Рис. 2.26. Пластик Laywoo-D3

Таблица 4. Примеры применения Laywoo-D3

Объект	Возможное применение
Мебель из натуральной древесины	Создание полноценных моделей для прототипирования
Архитектурные модели	Создание образцов для презентаций и уточнения проектов
Аксессуары и украшения	Создание уникальных элементов и деталей для дизайна интерьеров

Кроме того, с использованием Laywoo-D3, можно создавать объекты, которые имеют натуральный и органический вид, что делает должным образом оснащенные объекты, созданные с использованием

этого материала, идеальными для использования в качестве декоративных элементов для дома.

Таким образом, Laywoo-D3 является очень интересным и перспективным материалом для 3D-печати, который имеет широкие возможности в области дизайна и архитектуры. Однако, необходимо учитывать, что применение этого материала может потребовать некоторого опыта и технического мастерства. Все же, его способность имитировать натуральную древесину, делает этот материал необходимым инструментом для создания трехмерных объектов с высокой степенью реализма и натуральности внешнего вида.

Историческое происхождение Laywoo-D3 довольно интересно. Разработка материала началась в 2012 году благодаря небольшой группе независимых разработчиков. У них была мечта создать гибкий и экологически чистый материал, который мог бы пригодиться не только для производства пластиковых деталей, но и для создания вещей, имитирующих элементы природы, такие как дерево. Их усилия увенчались успехом - в 2013 году в сеть поступил первый рецепт материала, который позволяет создавать уникальные естественные эффекты при печати.

Laywoo-D3 позволяет создавать полностью новые дизайнерские решения, которые ранее невозможны были. Он отличается от обычных материалов тем, что имеет два режима работы: при низкой температуре он имеет легкую структуру и обладает мягкими свойствами, в то время как при высоких температурах он становится более прочным и устойчивым к механическим повреждениям. Благодаря этому, Laywoo-D3 позволяет создавать более сложные и интересные формы и детали, которые были бы невозможны с помощью других материалов.

Применение материала охватывает многие отрасли. Например, в строительстве и архитектуре Laywoo-D3 используется для создания прототипов и малых серий, чтобы оценить и проверить функциональность фасадных панелей, мебели и других конструкций. В медицине, врачи используют Laywoo-D3 для создания прототипов протезов и ортопедических изделий, что существенно ускоряет процесс производства и снижает стоимость подобных устройств.

Итак, использование Laywoo-D3 может дать не только красочные и интересные визуальные эффекты, но и существенно расширить возможности печати по многим отраслям. Материал надежен, безопасен и экологически чист, что делает его привлекательным выбором для тех, кто работает с 3D-технологиями. По мере развития технологий, можно ожидать, что использование подобных материалов будет только расширяться (рис. 2.27).



Рис. 2.27. Модель, выполненная Laywoo-D3

OSCAR, компания-производитель Laywoo-D3, сообщает, что этот пластик представляет собой смесь PLA-пластика и древесных волокон. При этом, процентное соотношение PLA и древесных волокон может изменяться в зависимости от конкретной марки пластика. Однако качество материала практически не меняется и остается высоким в любом случае.

Таблица 5. Примеры применения Laywoo-D3

Параметры печати	Значения
Температура экструдера	170-240 градусов
Температура платформы	50-60 градусов
Скорость печати	40-70 мм/с
Прочность на изгиб	26 МПа
Твердость Шор	56

Состав Laywoo-D3 PLA-пластика может варьироваться в зависимости от производителя и цвета. Обычно, в состав этого пластика входят полимерные кислоты, крахмал и натуральные пигменты. Наиболее распространенные пигменты - это натуральные красители, такие как экстракты красных ягод и корицы, которые придают материалу древесный оттенок.

Как правило, Laywoo-D3 представляет собой PLA-пластик, который содержит 40% натуральных волокон, обычно березовых, с добавлением 5-10% красителя, чтобы придать материалу древесный оттенок.

Отличия от других материалов

Laywoo-D3 отличается от других используемых в 3D-печати материалов своей текстурой, а также способностью имитировать струк-

туру древесины. Этот материал уникален тем, что при печати им удается создавать натуральный и реалистичный эффект, который представляет собой комбинацию цветов, поверхностных текстур и визуального восприятия мягкости и шершавости.

Этот материал также легко обрабатывается и красится, что дает возможность создавать из него разнообразные формы и цвета. При этом стоит отметить, что использование Laywoo-D3 экологически безопасно, поскольку он не выделяет вредных веществ и не имеет запаха.

Одним из основных принципов 3D-печати является возможность создания различных деталей и изделий с максимальной точностью. При этом, каждый материал, используемый в процессе печати, имеет свои особенности и требует определенных условий печати. Laywoo-D3 не является исключением, и при использовании его в 3D-печати необходимо учитывать ряд особенностей. Так, например, для создания деталей с эффектом древесины рекомендуется использовать средний уровень скорости печати, низкую температуру и минимальный инфилл.

Параметр	Значение
Скорость печати	30 мм/с
Расход материала	0,8 мм
Температура платформы	50°C – 60°C
Температура экструдера	190°C – 220°C
Инфилл	Минимальный
Толщина слоя	0,2 мм

Выше представлена таблица с рекомендуемыми параметрами для печати изделий с помощью Laywoo-D3.

Примеры использования

Laywoo-D3 привлекает внимание за счет своей нетипичной структуры и эстетичности. Благодаря этому материалу возможно создание моделей, которые трудно повторить с помощью других методов.

Одним из примеров использования Laywoo-D3 является создание декоративных элементов интерьера. Это может быть картины, статуэтки или даже мебельные элементы. Широкая цветовая палитра позволяет применять такие детали в различных стилях интерьера.

Также Laywoo-D3 может быть использован для создания прототипов деталей, которые несут функциональную нагрузку. Например, можно напечатать образцы ручек для мебели или рамок для велосипедов. Важно отметить, что наличие древесных волокон не гарантирует достаточной прочности, однако это может быть решено с помощью добавления других материалов в состав печатной смеси.

Еще одним примером применения Laywoo-D3 является творческий процесс. Материал позволяет экспериментировать с дизайном и формой, получая оригинальные изделия. Некоторые художники используют данные технологии для создания макетов, арт-объектов и музейных экспонатов (рис. 2.28).



Рис. 2.28. Изделия из Laywoo-D3

Итак, поговорим о преимуществах и недостатках данного материала для 3D-печати.

Преимущества:

1. Экологичность. Laywoo-D3 содержит более 40% натуральных древесных волокон, что делает его экологически более безопасным, чем многие другие материалы для 3D-печати.

2. Разнообразие цветовой гаммы. Доступно более 20 цветов для данного материала, что позволяет создавать детали с неповторимым внешним видом.

3. Легкообрабатываемость. Материал быстро заменяет себя в сопле, а также легко печатается на большинстве 3D-принтеров.

4. Возможность создания деталей с приятной на ощупь поверхностью. Благодаря древесным волокнам Laywoo-D3 позволяет создавать детали с приятной на ощупь поверхностью, что идеально подходит для

изготовления игрушек, карандашниц, подставок для канцелярии и других изделий.

5. Небольшой вес деталей. Древесная мука используется в качестве "наполнителя" пластика. Это позволяет создавать легкие детали с высокой прочностью.

Недостатки:

1. Пористость. Древесная мука, находящаяся в составе этого материала, делает его более пористым, чем многие другие материалы. Это может привести к возникновению пузырьков внутри детали.

2. Трудности при использовании сложных форм. Как правило, Laywoo-D3 подходит для создания простых форм: квадратов, кругов и других прямоугольных форм.

3. Неравномерный цвет. Внутренняя структура древесной муки может привести к неравномерности цвета материала после печати.

4. Недостаточная термостойкость. Laywoo-D3 не подходит для создания деталей, которые будут эксплуатироваться в сильных механических нагрузках или при высоких температурах.

В итоге, можем сделать вывод, что Laywoo-D3 является отличным материалом для 3D-печати, но не подходит для создания сложных форм и деталей, работающих в экстремальных условиях. Он экологически безопасен и имеет широкую цветовую гамму, что позволяет создавать детали с неповторимым внешним видом. Однако, также следует учитывать его недостатки, такие как пористость и недостаточная термостойкость, которые могут сказаться на качестве созданных деталей.

Особенности работы с материалом

Во-первых, Laywoo-D3 не настолько прочен, как некоторые другие материалы для 3D-печати. Поэтому предпочтительно использовать его для создания изделий небольшого размера или для прототипов, требующих минимальной прочности.

Во-вторых, этот материал сильно зависит от настроек печати. Правильная калибровка 3D-принтера может значительно повлиять на качество конечного изделия. Если настройки не правильные, то можно получить пластик с плохим контрастом и плохо выраженными тонами.

Однако, каждый экземпляр, напечатанный этим пластиком, имеет индивидуальное, уникальное сочетание цвета и текстуры. Это делает любое изделие оригинальным и неповторимым.

Laywoo-D3 – это филамент для 3D-печати с отличительной особенностью: он содержит древесную муку, благодаря чему печатные объекты могут приобретать естественный вид и ощущение, а также излучать легкий аромат дерева. Применение Laywoo-D3 возможно во многих сферах, от создания элементов интерьера до печати узлов упаковки.

Laywoo-D3 имеет высокую качественную экструзию, что приводит к четким и ровным печатным объектам. Кроме того, филамент обладает высокой устойчивостью к износу, повреждениям и сохраняет свойства при эксплуатации в условиях повышенной влажности. Этот материал идеален для создания дизайнерских объектов, репродукций, промышленных прототипов, а также для печати различных элементов интерьера.

Таким образом, можно заключить, что Laywoo-D3 – это высококачественный филамент для 3D-печати с характеристиками, которые позволяют ему находить применение в разных областях. Его свойства позволяют быстро и легко создавать детали высокого качества, сочетающие в себе эстетику и прочность. Применение Laywoo-D3 позволяет принтерам 3D максимально эффективно использовать свои возможности и получать уникальные результаты.

Глава 3

3D-СКАНЕР

В наши дни очень распространено то, что у людей есть смартфон, который по сути является достаточно мощным портативным компьютером, помещающимся в кармане. Телефоны удобны в использовании как надежные инструменты для любой работы, и в некоторых случаях люди уже не могут представить свою жизнь без них. Полезно знать, что телефон на самом деле является устройством, которое можно использовать для 3D-сканирования. Фактически, это не только возможно, но и довольно просто благодаря умному и простому в использовании программному обеспечению.

Программа обрабатывает фотографии и создает 3D-модель, которую можно загрузить на компьютер для редактирования и даже 3D-печати. Целью данной работы является изучение 3D-сканирования с помощью камеры мобильного устройства и сравнение результатов с альтернативными методами сканирования, такими как профессиональные 3D-измерительные инструменты и более доступный инструмент сканирования 3D под названием MakerBot Digitizer.

3D-сканирование имеет разные формы и размеры. Когда что-то сканируется в 3D, это означает, что форма объекта или сцены захватывается сенсором, который может распознавать расположение объектов в трех измерениях. В зависимости от объекта интереса доступны различные оборудования для 3D-сканирования. Маленькие объекты, требующие крайне точных данных для инженерных целей, могут быть сканированы с помощью сканеров структурированного света, а большие сцены, такие как ландшафты, могут быть сканированы с самолета с помощью лазерных сканеров большой дальности. Сканеры создают 3D-модели облаков точек или сеточных данных, которые могут быть просмотрены на компьютере и использованы для необходимых целей.

В этой главе будут рассмотрены различные методы 3D-сканирования и их применение. Практическая часть работы будет сосредоточена на сканировании выбранного объекта с помощью техники фотограмметрии с камерой мобильного телефона, лазерного сканера для сравнения качества и точности. Эти методы представляют различные типы технологии 3D-сканирования и позволят понять возможности каждого из них. Заданная пластиковая деталь будет отсканирована в

попытке воспроизвести ее с помощью сканера и 3D-принтера.

3D-сканирование на данный момент является довольно новым и неизвестным инструментом. Однако оно предлагает большие возможности во многих отраслях для быстрого получения данных и позволяет сократить количество шагов в производстве, таких как быстрое обнаружение дефектов или любых проблем, которые могут возникнуть с продуктом. Поэтому 3D-сканирование широко используется в таких отраслях как автомобильная и авиационная промышленности, где точное измерение является критическим, а также в производственной отрасли и даже в медицине.

Быстрое прототипирование, или 3D-печать, может быть определено как различные методы создания масштабной модели детали с использованием компьютерного проектирования с поддержкой компьютера, САД, данных, подаваемых в машину, которая создает деталь. Создание 3D-печати требует наличия 3D-модели, созданной либо в программном обеспечении САД, либо с помощью 3D-сканирования, обратной разработки. 3D-печать очень полезна в инженерии и дизайне продукта, так как это быстрый способ создания прототипа продукта. Таким образом, разработчики продукта могут сэкономить время и снизить затраты на разработку продукта, предотвращая возможные дорогостоящие ошибки на раннем этапе разработки продукта. Последовательность быстрого прототипирования включает создание САД-модели, передачу САД-данных в программное обеспечение 3D-печати для настройки и создания слоев детали, печать детали и удаление возможного излишнего материала с детали, такого как поддержки.

Одним из наиболее распространенных применений высокоточного 3D-сканирования является контроль качества, формы и размеров. Например, в индустрии литья под давлением большинство литых деталей моделируется на основе данных САД, по которым изготавливаются формы. Данные САД должны быть изменены для соответствия процессу литья под давлением, учета усадки, добавления углов наклона, линий разделения формы и т. д. Хорошо сделанная литая деталь должна иметь равномерную толщину и содержать определенные элементы для предотвращения деформации. Для простой детали эти элементы могут быть рассчитаны и не должны вызывать проблем. С увеличением сложности деталей это становится значительно более сложным, маленькие детали, сложные формы, узкие допуски и строгие

сроки ставят высокие требования к разработчикам продукта.

После трехмерного измерения литой детали можно проанализировать ее искривление и усадку по сравнению с САД-моделью. Различные особенности, такие как отверстия или другие размеры, а также соответствие детали сборке с другой деталью, могут быть измерены с помощью программного обеспечения для трехмерной инспекции.

С помощью технологии трехмерного сканирования компании могут ускорить процесс первичной проверки образцов предварительного производства и контролировать качество своей продукции на протяжении всего процесса производства. Если в детали обнаруживается проблема, ее можно обнаружить рано и легко определить и принять необходимые меры для устранения проблемы.

На нашем примере рассмотрим 3D-сканер Shining 3D Einscan SE, создающий объемные цифровые модели объектов небольшого размера.

Китайский производитель Shining 3D с 2004 года работает в сфере цифровых измерительных и аддитивных технологий. Компания создает и выпускает на рынок сканеры, 3D-принтеры, сырье и материалы для трехмерной печати.

Shining 3D входит в пул крупнейших производителей в своем сегменте, создает инновационные решения в области цифровых технологий и оказывает сервисные услуги на высоком уровне.

Компания Shining 3D поставила перед собой цель – адаптировать 3D-технологии для различных сегментов потребителей: от домашнего применения до использования в крупных международных компаниях.

Устройства компании востребованы в различных сферах: образовании, медицинских и промышленных учреждениях. Пользователям Shining 3D доступен облачный сервис для хранения и обмена информацией (рис.3.1).

Центральный офис производителя расположен в Ханчжоу, развивается сеть филиалов. На сегодняшний день дочерние организации работают в американском Сан-Франциско и немецком Штутгарте. Наличие покупателей в 70 странах мира подтверждает статус лидирующей компании на рынке 3D-технологий.

Сканер Shining 3D Einscan SE представляет собой компактный

прибор для создания цифровой модели объектов (рис. 3.1). Модель рассчитана на пользователя-новичка – для домашнего использования, в образовании и других областях. Важное преимущество устройства – абсолютная безопасность для зрения, так как лазерный луч заменен на луч структурированного света.



Рис. 3.1. Сканер Shining 3D Einscan SE

В рабочем процессе задействованы 2 камеры (по 1,3 Мегапикселя), проектор. Пользователь может выбрать подходящий режим сканирования:

Автоматический – предназначен для создания моделей мелких предметов простой геометрии весом до 5 кг и размером до 250мм по самой длинной стороне. Матовые светлые объекты не требуют дополнительной подготовки. Темные, прозрачные и блестящие нужно обрабатывать специальным матирующим спреем (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Сканирование Shining 3D Einscan SE

В этом режиме нужно лишь расположить предмет на поворотной платформе. Остальную работу: вращение и съемку объекта, прибор выполняет самостоятельно.

Ручной режим сканирования используют для работы с более

крупными и тяжелыми предметами сложной формы. Сканер устанавливают на штатив, предмет – на платформу, которую поворачивают вручную.

Einscan SE использует фирменное ПО EinScan-S, в котором есть возможность совмещать сканы автоматически или вручную. В зависимости от задачи сканирования, разработчик предлагает 2 варианта готовой модели. Если пользователь планирует печатать объект, он выбирает заполненную финишную модель (рис. 3.3). Для дальнейшей работы в редакторах сохраняют незаполненное изображение.

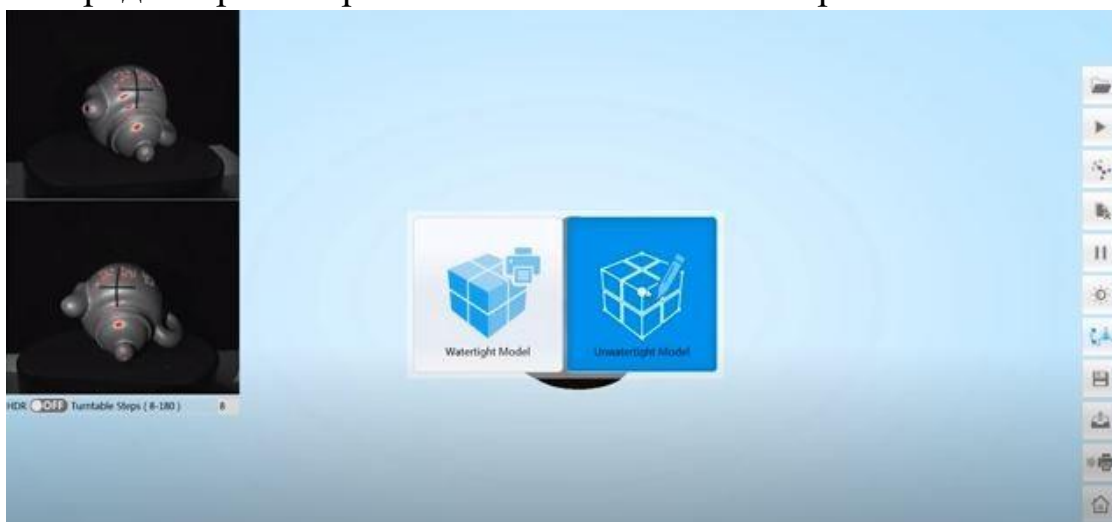


Рис. 3.3. Рабочее поле программы

Устройство имеет компактный размер, понятный интерфейс, достаточно высокое качество для решения заявленных задач. Поэтому сканер широко используют в следующих сферах:

- в образовательных учреждениях;
- обратном проектировании;
- цифровой индустрии развлечений;
- дизайнерских компаниях;
- в архивировании и обмене информацией.

В комплекте с 3D-сканером Shining 3D Einscan SE:

- держатель для сканера;
- поворотная платформа;
- подставка;
- кабели питания;
- соединительные кабели;
- пластина для калибровки;
- блок питания.



Рис. 3.4. Комплект 3D-сканера Shining einscan

Перед первым использованием нужно собрать прибор, процесс займет меньше 10 минут. На одну сторону подставки устанавливают поворотную платформу, на другую – держатель для сканера. При помощи кабелей сканер соединяют с платформой, компьютером и подключают к сети.

Далее начинают калибровку устройства. Процесс происходит в полуавтоматическом режиме. Пластины для калибровки из комплекта поставки размещают и крепят на поворотной платформе. Интерактивное руководство направляет пользователя. Если в задачи сканирования входит получение текстуры – дополнительно настраивают баланс белого, с использованием бумажного белого листа.

Аке, Бангкокский владелец 3D-сканера, провел эксперимент и поделился им в сети интернет. Молодой человек создал модель круассана в режиме захвата текстуры. Он настроил баланс белого и оцифровал пирожное в автоматическом режиме. Всего за пять минут от получил яркую модель натурального цвета, которую можно использовать для мультипликации и трехмерной печати. Со слов Аке, результат его полностью устроил (рис 3.5).

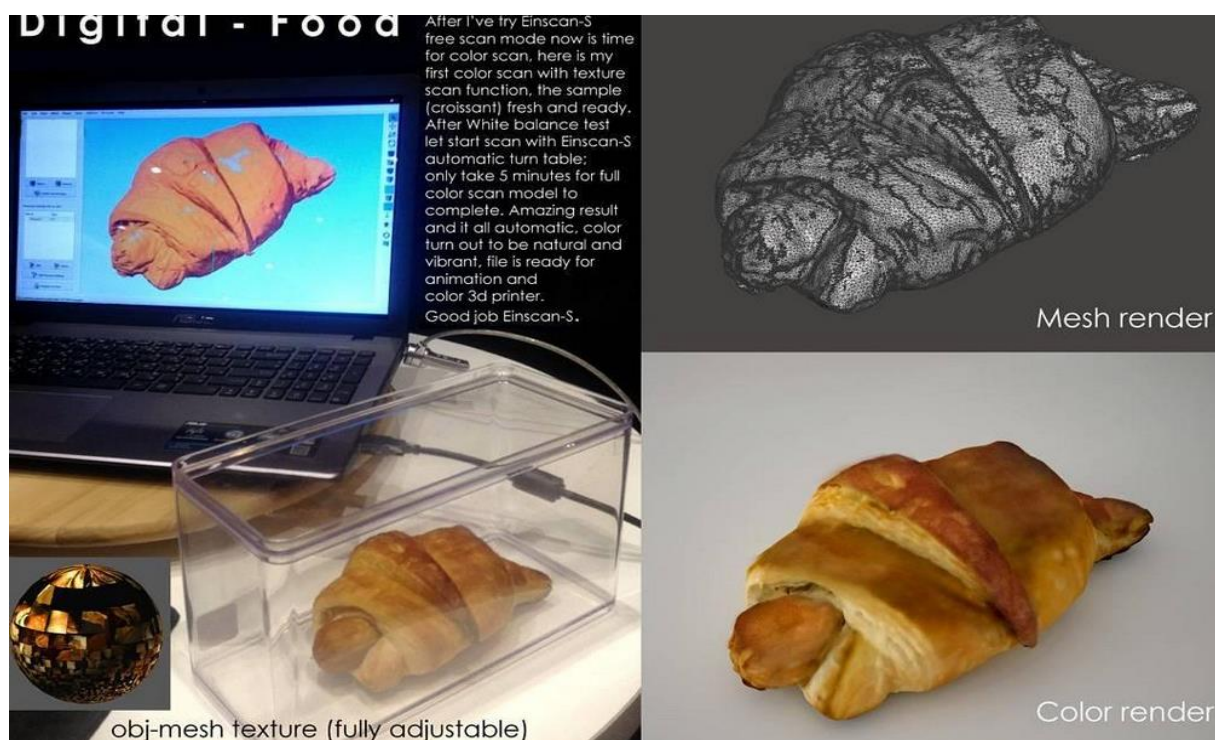


Рис. 3.5. 3D-модель круассана

Завладеть вниманием учащихся и сделать обучение действительно интересным – задача современного образования.

Знакомство с новыми технологиями на практике, а не на бумаге, повышает вовлеченность учеников, помогает учителю донести информацию (рис.3.6). В данном примере учащиеся слепили из пластилина



Рис. 3.6. 3D-модель персонажа

фигурку мультипликационного персонажа, отсканировали ее при помощи Shining 3D Einscan SE. В программе обработали модель, сгладили неровности, исправили недостатки ручной лепки и доработали изображение. Затем распечатали на 3D-принтере подставку для ручек и карандашей в виде любимого героя. Помимо

удовольствия от творческого процесса, учащиеся познакомились с цифровыми технологиями и получили практический опыт работы с ними [12].

Одно из преимуществ 3D-сканера в образовании – это возможность создания реалистичных трехмерных моделей, которые отражают детали и форму объектов. Визуализация таких моделей позволяет студентам более глубоко погрузиться в изучаемый предмет и понять его особенности. Например, при изучении анатомии человека, 3D-сканер позволяет создавать точные модели внутренних органов, что делает процесс обучения более наглядным и интересным.

Второй важной особенностью 3D-сканера в образовании является его применение в исследовательской работе. С его помощью можно сканировать и анализировать объекты и их свойства, что открывает возможности для проведения различных экспериментов и исследований. Например, студенты, изучающие физику, могут использовать 3D-сканер для измерения и анализа формы и размеров различных предметов, что помогает им понять основные законы и принципы физики.

В заключение, 3D-сканеры являются хорошим инструментом в образовании, который позволяет преобразовывать трехмерные модели объектов, создавать интерактивные обучающие материалы и проводить исследования. Их использование в образовании помогает студентам более глубоко понять и запомнить изучаемый материал, развивает их критическое мышление и способствует активному обучению. 3D-сканеры дают возможность открывать новые горизонты в образовании и делают его более интересным и эффективным.

Глава 4

ТРЕХМЕРНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ

Фотограмметрия по своему принципу не является новой техникой, она широко использовалась в картографии и геодезии, но в последнее время благодаря развитию компьютерных технологий и повышению вычислительной мощности систем данная дисциплина стала набирать популярность в качестве одного из методов 3d-сканирования и получения 3d-моделей для самых разнообразных целей использования. Кроме того, для создания готовой модели в большинстве случаев достаточно камеры мобильного телефона и специального приложения, использующего облачные вычислительные ресурсы и позволяющего делиться созданными моделями между пользователями. Для более сложных проектов существует специализированное ПО, которое позволяет более гибко управлять настройками обрабатываемых снимков и создаваемых моделей. Благодаря широкой доступности на сегодняшний день фотограмметрию можно активно применять как один инструмент в интерактивных методах обучения.

Фотограмметрия позволяет определить по снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, а также его площадь, объём, различные сечения на момент съёмки и изменения их величин через заданный интервал времени. Фотограмметрическая обработка снимков имеет следующие преимущества:

1) по снимкам объекта можно получить числовую информацию о нём такой густоты, какой практически невозможно достичь при непосредственных промерах;

2) числовую и графическую информацию об объекте можно получить, не вступая с ним в контакт, когда объект недоступен для человека или находится в среде, опасной для его жизни;

3) оператор-фотограмметрист находится в благоприятных для человека кабинетных условиях. С учётом этого фотограмметрию используют в различных областях науки, техники и производства.

Например:

- для определения деформаций сооружений и их отдельных частей, происходящих в ходе эксплуатации и с течением времени. Например, сравнение измерений, проведённых по стереопарам моста или

подъемного крана, полученных до их нагрузки, во время нагрузки и после, позволяет определить их деформации в зависимости от веса нагрузки;

- для определения характеристик движущихся объектов: транспортных средств, ковша экскаватора, ракет, снарядов, элементарных частиц при проведении ядерных исследований и т.п.;

- при изысканиях железных и автомобильных дорог, трасс трубопроводов, линий электропередач и других линейных объектов;

- при гидротехнических, гляциологических, геологических, географических изысканиях и исследованиях;

- при реставрации памятников архитектуры, скульптурных монументов, уникальных предметов;

- для фиксации и составления плана дорожно-транспортного происшествия или места преступления;

- для определения по снимкам, полученным в электронном микроскопе, характеристик микрорельефа, например, полированных поверхностей;

- для лечения сетчатки глаз и установки контактных линз, изготовления зубных протезов, изучения внутренних органов человека и его внешней формы.

Например, измерения фигуры космонавта по стереопарам, полученным до полёта, во время нахождения космонавта на орбитальной станции и после посадки, позволяют составить подробную картину изменений, происходящих в теле человека в связи с перераспределением крови и жидкости под влиянием земного притяжения и невесомости. Эту же методику можно использовать при пошиве одежды с учётом индивидуальных особенностей строения тела человека.

Появлению фотограмметрии предшествовал многовековой период возникновения и совершенствования графического способа получения перспективных изображений местности и преобразования их в план. Для этого использовалась камера-обскура (темная), являвшаяся прообразом фотокамеры. Описания работы с ней имеются в трудах Леонардо да Винчи (Leonardo da Vinci, 1500 г.) и немецкого астронома и математика И. Кеплера (J. Kepler, 1611 г.). Для удобства работы на свету была разработана камера-клара (светлая). Внутри камеры стояло поворачивающееся зеркало, которое отклоняло лучи либо вверх на матовое стекло, прикрытое козырьком, либо вниз через отверстие в дне

камеры на полочку, прикреплённую снизу. Лист бумаги укладывался либо на матовое стекло, либо на полочку. Швейцарец М. А. Каппелер (M. A. Carreler) в 1725 г. нарисовал две панорамные картины с целью составления карты горного массива Пилатус. Для этого он впервые использовал принцип пространственной засечки, названной впоследствии фотограмметрической.

В 1759 г. немецкий математик И. Г. Ламберт (I. H. Lambert), используя принцип пространственной засечки, изложил теоретические основы перспективных изображений объектов. В 1791-1793 гг. на основе этих разработок французский гидрограф Ш. Ф. Ботан-Бопре (Ch. F. Beautemps-Beaupre) провел съёмку камерой-клара территорий Вера Круз и Ван Дименсленд и составил планы с помощью разработанного им способа иконометрии (от греческого слова *eikon* - изображение). Однако требовался способ закрепления для длительного хранения изображения, полученного в камере-обскура.

В 1839 г. француз Л. Ж. Дагер (L. J. Daguerre) и англичанин Ф. Талбот (F. Talbot) объявили о разработанных ими способах получения фотоизображений в камере-обскура, а английский астроном Д. Гершель (J. Herschel) впервые применил термин фотография. Дальнейшие достижения в фотографии и создании мобильных фотокамер открыли дорогу появлению фотограмметрии.

В 1852 г. французский топограф, инженер-майор Эме Лосседа (Aime Laussedat) первым в мире выполнил фотосъёмку местности с целью создания по снимкам плана местности. С этого года начинается история фотограмметрии, хотя это название появилось позже. Э. Лосседа назвал свой способ метрофотография, т.е. измерительная фотография. Т.к. съёмка производилась для топографических целей, её назвали фототопографической.

В 1858-1859 гг. под руководством Э. Лосседа с учётом набранного опыта была изготовлена первая в мире съёмочная система, приспособленная для наземных фототопографических съёмок и названная фототеодолит. Его конструкция представляла собой сочетание фотокамеры и теодолита. В 1858 г. французский фотограф Ф. Турнашон (F. Tournachon), публиковавший свои статьи под псевдонимом Надар (Nadar), первым в мире выполнил фотосъёмку местности с воздушного шара. Он взял привилегию на воздушную фотосъёмку с целью опреде-

ления границ земельных участков. Однако, столкнувшись со сложностями преобразования снимков в план, ограничился выполнением и ретушированием воздушной фотосъёмки.

В 1858 г. немецкий архитектор А. Мейденбауэр (F. Meudenbauer) использовал фотосъёмку для составления планов зданий и тем самым положил начало прикладному применению фотограмметрии, в данном случае в архитектуре. Он же предложил название фотограмметрия.

В России 18 мая 1886 г. первую фотосъёмку с воздушного шара произвел поручик А. М. Кованько (впоследствии генерал-лейтенант).

В этом же году В. И. Срезневский создал первый в России фотоаппарат, предназначенный для воздушной фотосъёмки и являющийся прототипом аэрофотоаппарата. Этим фотоаппаратом 6 июля 1886 г. Л. Н. Зверинцев произвел фотосъёмку с воздушного шара, управляемого А. М. Кованько. Они пролетели от Санкт-Петербурга до Кронштадта и отметили возможность изучения по воздушным фотоснимкам рельефа дна. В своем отчёте они написали, что наблюдали "прекрасную карту мелей, глубокой воды и фарватера".

В 1887-1889 гг. немецкий профессор К. Коппе (С. Корре) создал фототеодолит, у которого впервые в мире на прикладной рамке были установлены координатные метки, которые закрепили на снимке координатную систему.

В начале 90-х годов XIX века инженер-поручик В. Ф. Найденев (впоследствии полковник, профессор Военно-инженерной академии (ВИА)) начал проводить работы с целью созданию планов местности по воздушным фотоснимкам и в 1907 г. написал первый русский учебник "Измерительная фотография и применение её к воздухоплаванию".

В 1891 г. инженер путей сообщений Н. О. Виллер впервые в России применил наземную фотосъёмку при изысканиях железных дорог на Кавказе.

В 1892 г. немец Ф. Штольц (F. Stolze) предложил для стереоскопических измерений снимков способ мнимой марки, который впоследствии стали использовать в большинстве стереофотограмметрических приборов, в том числе и на современных цифровых фотограмметрических системах, работающих на базе компьютеров. В 1895-1896 гг. Ф. Н. Чернышев и академик Б. Б. Голицын провели наземные фототопографические съёмки на Новой Земле. В отчёте Б. Б. Голицын отметил, что по сравнению с мензуральной съёмкой этот вид съёмки является

сложным и неудобным, но он имеет преимущество во времени выполнения съёмки и в количестве измеряемых точек с одной постановки инструмента.

В конце 1896 г. и начале 1897 г. инженер МПС Р. Ю. Тиле находился в заграничной командировке, в которую его послали с целью изучения разработок в области фототопографии. Собранная информация была им издана в 1897 г. в трёх номерах журнала МПС, а затем в 1898 г. в брошюре "Практическая фототопография (фотограмметрия)". Сам Р. Ю. Тиле был назначен заведующим фототопографическими работами МПС.

В 1908-1909 г. г. он издал трёхтомную монографию "Фототопография в современном развитии", в которой впервые в России в единой связности описал историю развития фотограмметрии, её теоретические основы, съёмочное и обрабатывающее оборудование, применение фотограмметрии в различных областях деятельности человека.

В 1898 г. для съёмки с воздушного шара поручик С. А. Ульянин создал фотокамеру под названием "телеаппарат", который в то время был наиболее совершенным и использовался в течение долгого времени.

В 1901 г. научный сотрудник немецкой фирмы Карл Цейсс (Carl Zeiss) К. Пулфрих (C. Pulfrich) разработал конструкцию стереокомпаратора, который до настоящего времени является самым высокоточным оптико-механическим стереофотограмметрическим прибором.

В 1908 г. австрийский военный топограф Э. Орел (E. Orel) на основе стереокомпаратора разработал конструкцию первого стереофотограмметрического прибора для составления топографических карт по наземным фотоснимкам и дал ему название "автостереограф".

В сотрудничестве с К. Пулфрихом прибор был усовершенствован и под названием стереоавтограф серийно выпускался фирмой К. Цейсс в разных модификациях до 70-х гг. 20 века.

В России в 1910 г. были выполнены первые опытные фотосъёмки с самолёта лётчиками Севастопольской школы, а С. А. Ульянин создал первый в России фотоаппарат, предназначенный для съёмки с борта самолёта. В этом же году С. М. Соловьев опубликовал брошюру "О стереофотограмметрии".

В 1911 г. прошли первые испытания и с 1913 г. началась эксплуатация первого в мире полуавтоматического плёночного аэрофотоаппарата полковника В. М. Потте. Конструкция этого аэрофотоаппарата была в то время лучшей в мире, и он использовался у нас до конца 20-х гг.

В 1915 г. в Германии М. Гассер (M. Gasser) сконструировал двойной проектор, который был первым фотограмметрическим прибором для создания топографических планов и карт по аэрофотоснимкам. Однако он не нашел применения, т.к. не было использовано стереоскопическое наблюдение и измерение снимков.

Наведение марки на точку производилось устранением двоения изображения точки на экранчике, перемещаемом по высоте. Этот прибор положил начало созданию нового класса приборов - универсальных стереофотограмметрических приборов (УСП), которые позволяли оператору выполнить все процессы, связанные со съёмкой плановой и высотной частей топографической карты по аэроснимкам.

В 1917 г. Р. В. Животовский написал "Курс аэрофотограмметрии", что указывает на смену термина "воздушная фотосъёмка" на аэрофотосъёмку.

В России в 1920 г. Н. М. Алексапольский начал чтение курса по фотограмметрии в Московском межевом институте (ММИ), а в 1921 г. на геодезическом факультете ВИА.

В 1925 г. под руководством Н. М. Алексапольского в ММИ была организована кафедра фотогеодезии (с 1939 г. фотограмметрии). Он же с 1932 г. был первым заведующим кафедрой фотограмметрии в ВИА. Н. М. Алексапольский был энтузиастом внедрения аэросъёмки в топографическое производство и своими работами способствовал развитию контурно-комбинированной съёмки.

Совместно с П. П. Соколовым Н. М. Алексапольский разработал фототрансформатор МГИ. В разработку теории фотограмметрии и фотограмметрического приборостроения, кроме упомянутых соотечественников, свой вклад внесли Ф. В. Дробышев, А. С. Скиридов, Н. Я. Бобир, Н. Н. Веселовский, Н. А. Урмаев, М. Д. Коншин, Г. В. Романовский, А. Н. Лобанов, В. Б. Дубиновский, Р. П. Овсянников, Е. И. Калантаров и др. Ф. В. Дробышев создал линейку для построения координатной сетки, стереометр для рисовки горизонталей по стереопаре,

стереограф для создания топографических карт по стереопарам аэроснимков и другие приборы.

А. С. Скиридов получил авторские свидетельства (1927, 1929, 1933 гг.) на автоматическое вычерчивание горизонталей путём сравнения перемены плотностей фотоизображений вокруг соответственных точек на левом и правом фотоснимках.

Только с появлением компьютеров данная проблема была частично решена. Н. Н. Веселовский был в числе первых, кто выполнял опытные производственные работы по аэросъёмке городов в крупных масштабах. Разработанные в ходе выполнения всех этих работ методики легли в основу последующих подобных съёмок.

Н. А. Урмаев в 1941 г. опубликовал "Элементы фотограмметрии", где изложил теорию фотограмметрии с использованием векторной алгебры. Эта работа, стала основой для написания учебников и монографий по фотограмметрии. Труды М. Д. Коншина способствовали разработкам теории и технологии дифференцированного метода создания топографических карт. Его теория обработки аэроснимков с преобразованными связками проектирующих лучей позволила создать в середине 50-х гг. отечественные универсальные стереофотограмметрические приборы: стереопроектор и стереограф. Г. В. Романовский и Е. И. Калантаров разрабатывали самые современные для того времени фотограмметрические приборы, например, стереопроектор и автоматизированный стереокомпаратор.

А. Н. Лобанов, В. Б. Дубиновский, Р. П. Овсянников своими работами способствовали внедрению в нашей стране аналитических методов обработки снимков с использованием вычислительной техники.

В 1957 г. канадский фотограмметрист Ю. В. Хелава (U. V. Helava) на 1-м Международном фотограмметрическом съезде сообщил о конструкции аналитического фотограмметрического прибора. Первый в мире образец этого прибора, созданный фирмами ОМІ (Италия) и Bendix (США) под названием AP-1 (analytical plotter), был продемонстрирован в 1960 г.

Конструкция прибора состояла из измерительного блока, в качестве которого был использован стереокомпаратор, и электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Программное обеспечение составил Ю. В. Хелава. Это было началом перехода фотограмметрии на использование компьютерной техники [11].

В 90-е годы XX века произошел полный переход на компьютерные технологии и цифровую обработку снимков, полученных различными съёмочными системами. Компьютер с программным пакетом полной обработки снимков стал цифровой фотограмметрической системой. Появился термин цифровая фотограмметрия и новые виды картографических документов - цифровая карта и цифровая модель местности, построенная по снимкам фотограмметрическими методами. Был создан высокоточный фотограмметрический сканер, преобразующий в цифровую форму снимки, полученные с помощью фотокамеры, с сохранением их геометрических, фотометрических и точностных характеристик. Фотокамеры уступают место цифровым фотокамерам, позволяющим вводить снимки в компьютер без использования сканера.

Трёхмерная фотограмметрия является одной из самых важных и перспективных областей в современной науке трёхмерного моделирования. Она представляет собой метод восстановления трёхмерной информации о объектах и их окружающей среде с помощью анализа фотографий (рис. 4.1). В данной главе мы рассмотрим особенности трёхмерной фотограмметрии и ее применение в различных сферах.

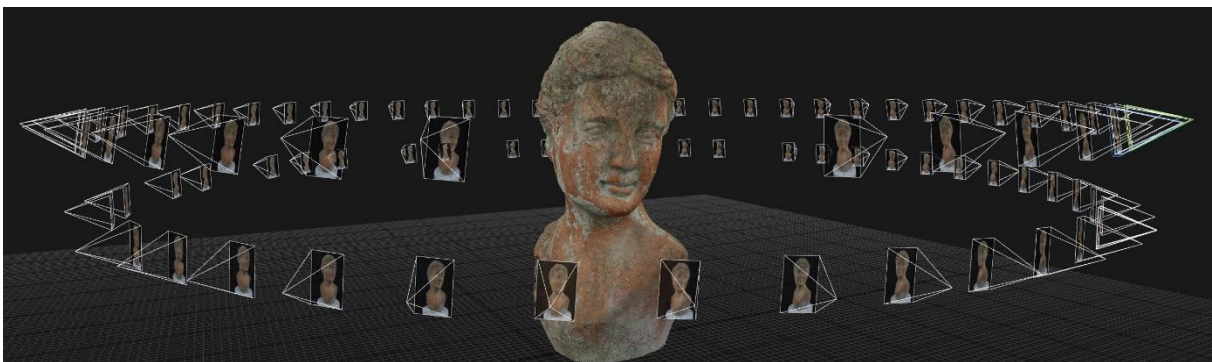


Рис. 4.1. Трёхмерная фотограмметрия

Одной из основных особенностей трёхмерной фотограмметрии является ее высокая точность. Благодаря использованию специальных алгоритмов и методов обработки изображений, трёхмерные модели объектов могут быть воссозданы с высокой степенью детализации. Это позволяет исследователям и специалистам в различных областях получать максимально точные данные о форме, размерах и структуре объектов.

Еще одной особенностью трехмерной фотограмметрии является ее универсальность и применимость в различных отраслях науки и промышленности. Она активно используется в геодезии и картографии, архитектуре и строительстве, а также в археологии, медицине и многих других областях. Благодаря трехмерной фотограмметрии, специалисты получают возможность детального изучения объектов и создания точных моделей для дальнейшего анализа и принятия решений.

Еще одной важной особенностью трехмерной фотограмметрии является ее эффективность и экономичность в сравнении с традиционными методами измерений и моделирования объектов. Благодаря использованию фотографий, специалистам не требуется особых затрат на дорогостоящее оборудование и дополнительные измерительные инструменты. Кроме того, трехмерная фотограмметрия позволяет проводить измерения и моделирование в условиях, когда непосредственный контакт с объектом затруднен или невозможен (рис. 4.2). Ее особенности, такие как высокая точность, универсальность и экономичность, делают ее незаменимой во многих областях науки и промышленности. Будущее трехмерной фотограмметрии предвещает еще большее развитие и применение в сферах, где требуется получение точной и детальной информации о реальных объектах.

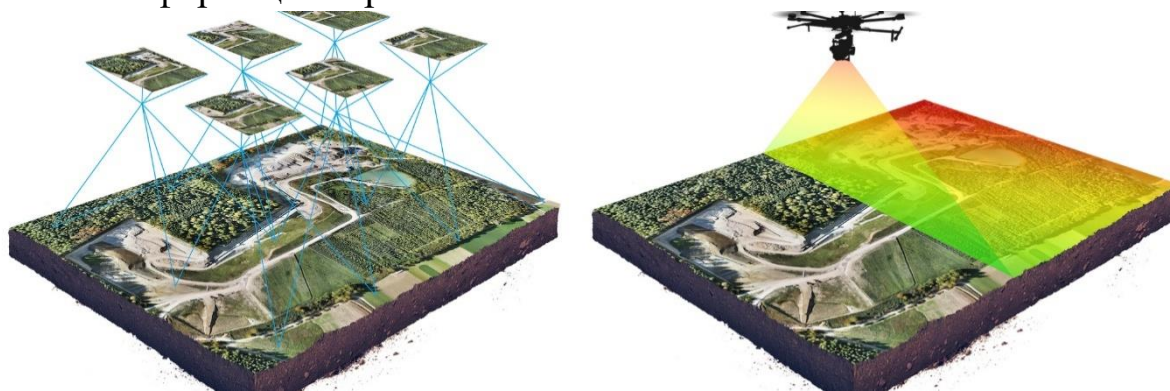


Рис. 4.2. Создание рельефа земли по фото

Одной из программ трехмерного моделирования, позволяющего работать с фотограмметрией является Agisoft Metashape.

Программа Agisoft Metashape является одним из ведущих инструментов в области трехмерной фотограмметрии. Она широко используется в таких отраслях, как археология, геология, геодезия, а также в игровой индустрии и визуальных эффектах.

Для создания 3D моделей существующих объектов отлично подходит фотограмметрическая программа, разработанная компанией

Геоскан – Agisoft Metashape Standart. Надо отметить, что программа признана одной из лучших для решения построения трёхмерных моделей на основе фотографий, является универсальной и поставляется за рубеж уже в более 100 стран нашего мира. Это передовое программное обеспечение, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии в совокупности с компьютерным зрением. Metashape позволяет создавать высокодетализированные 3D модели только по фотографиям, без использования дорогостоящего оборудования.

Возможность экспорта во все внешние пакеты для постобработки, например, в программу Autodesk 3Ds Max или в Autodesk Meshmixer, делает Agisoft Metashape универсальным инструментом для 3D моделирования и её последующей доработки.

Ядро Metashape – методы классической цифровой фотограмметрии, подкреплённые современными алгоритмами компьютерного зрения. Слияние этих технологий позволяет создать универсальную сканирующую систему, которая может легко управляться даже новичком, а интуитивно понятный интерфейс очень прост в освоении. Даже не обладая специальными знаниями, вы можете получать высокоточные результаты практически без участия оператора.

Agisoft Metashape предлагает мощный набор инструментов для создания высокоточных 3D-моделей на основе фотографий. Программа использует принципы стререозрения и компьютерного зрения, чтобы автоматически вычислить точки соответствия на изображениях и построить полигональную сетку объекта. Затем она производит текстурирование и визуализацию, создавая фотореалистичные модели.

Важно отметить, что Agisoft Metashape обладает уникальной способностью работать с большими наборами фотографий. Программа может обрабатывать сотни и даже тысячи изображений, что позволяет создавать детальные и точные модели сложных объектов, таких как архитектурные сооружения, ландшафты или даже природные образования.

Одной из важных особенностей Agisoft Metashape является его способность создавать точные геометрические модели с высоким разрешением. Благодаря современным алгоритмам и оптимизированным процессам, программа обеспечивает высокую точность реконструкции, что особенно важно для научных и исследовательских целей.

Кроме того, Agisoft Metashape предлагает множество инструментов для анализа данных, таких как измерение расстояний, площадей и объемов объектов. Это позволяет проводить геометрический анализ и получать точные характеристики объектов с высокой степенью достоверности. Программное обеспечение имеет простой и интуитивно понятный интерфейс, что делает его доступным для широкого круга пользователей, включая и тех, кто не имеет специальных навыков в области фотограмметрии. Это позволяет максимально упростить процесс создания 3D-моделей и сэкономить время на обработке данных.

Благодаря своим возможностям, она находит широкое применение в научных исследованиях, инженерных проектах и визуальных эффектах, представляя собой незаменимый инструмент для трехмерной фотограмметрии, объединяющий высокую точность реконструкции, мощный набор инструментов анализа данных и простой интерфейс.

Если перед нами крошечная травинка или огромный утес – Metashape способен воссоздать 3D модели предметов любых размеров в мельчайших деталях. Вы можете отсканировать природный ландшафт или интерьер целого здания для своего проекта.

Инструменты ретопологии и делаятинга позволят улучшить качество моделей для создания визуальных эффектов, игр и дизайна. И всё, что для этого нужно – только фотокамера нормального разрешения.

Надо отметить, что существует и профессиональное ответвление программы – Agisoft Metashape Professional, которая позволяет обрабатывать изображения, получаемые с помощью RGB- или мультиспектральных камер, включая мультикамерные системы с БПЛА, преобразовывать снимки в плотные облака точек, текстурированные полигональные модели, геопривязанные ортофотопланы и цифровые модели рельефа/местности (ЦМР/ЦММ). Дальнейшая постобработка позволяет удалять тени и искажения текстур с поверхности моделей, рассчитывать вегетационные индексы и составлять файлы предписаний для агротехнических мероприятий, автоматически классифицировать плотные облака точек и т.д.

Для поиска общих точек Metashape использует алгоритм, который сначала находит «особые» точки на отдельных фотографиях, а потом, на основе уникальных идентификаторов – дескрипторов, точки

отождествляются. Если точка опознана на 2-ух и более кадрах она становится соответствием.

После этого следует выравнивание кадров, оно же – фототриангуляция. Этот процесс реализован с помощью алгоритма Bundle Block Adjustment, в основе которого лежит метод наименьших квадратов.

Bundle Block Adjustment – это интерпретация способа связок, который является самым строгим способом решения фототриангуляции. В расчёт могут быть включены координаты точек привязки (центров фотографирования или опорных точек) и проекции маркеров на кадре. Всем параметрам можно задать веса, т.е. масштаб их участия в расчёте.

Далее строится Плотное облако точек на основе карт глубины, для построения которых, в свою очередь, используется алгоритм Semi-Global Matching. Суть алгоритма заключается в том, что каждому пикселю левого снимка стереопары находится соответствующий пиксель на правом снимке. Каждый пиксель левого снимка сравнивается с поднабором («строкой») пикселей правого снимка с соответствующей ординатой. Далее формируется куб (параллелепипед), для всего снимка, где каждому пикселю соответствует одна «линия» ячеек, а строке пикселей на снимке соответствует одно продольное сечение куба. Элементами куба являются значения критерия соответствия, анализируя которые находят минимальные значения для каждого пикселя.

Кроме того, анализируются связи между соседними пикселями по восьми направлениям вокруг данного пикселя. В результате, для каждого пикселя левого снимка находится соответствующее значение продольного параллакса и, как следствие, пространственные координаты точек плотной модели (в результате решения прямых засечек).

Рассмотрим технологию работы поближе: информация о каждой фотографии записывается в специальный файл: высота, угол поворота камеры, данные долготы и широты. Программа использует технологии машинного зрения и фотограмметрии для нахождения общих точек на многих фотографиях. В результате каждому пикселю на фотографии находится цветное соответствие на других фотографиях. Каждое соответствие становится ключевой точкой. Если ключевая точка найдена на трех фотографиях и более, программа строит эту точку в пространстве. Чем больше таких точек, тем лучше определяются координаты точки в пространстве. Следовательно, чем больше пересечений между

фотографиями, тем точнее будет модель. Пересечение от 60 до 80% является оптимальным.

Пространственные координаты каждой точки вычисляются методом триангуляции: от каждой точки съемки к выбранной точке автоматически проводится линия зрения, и их пересечение дает искомое значение. Кроме того, в фотограмметрии применяются алгоритмы, целью которых является минимизирование суммы квадратов множества ошибок. Обычно для решения используют алгоритм Левенберга – Марквардта (или метод связок), основанный на решении нелинейных уравнений методом наименьших квадратов.

В процессе обработки фотографий создается расширенное облако точек (совокупность всех 3D-точек), которое используется для генерирования поверхности, составленной из полигонов. В заключение вычисляется разрешение и определяется, какие пиксели на фотографии соответствуют какому полигону. Для этого 3D-модель развертывается в плоскость и затем пространственное положение точки ставится в соответствие оригинальной фотографии для задания цвета.

Вызовите меню **Workflow – Align Photos**. В открывшемся окне будут доступны настройки:

Accuracy – точность, определяемая разрешением используемого уровня дискретизации. Значение **High** соответствует исходному разрешению снимков, каждый последующий уровень точности приводит к увеличению размера пикселя в 4 раза, соответственно время обработки данных с менее высокой точностью будет уменьшаться;

Generic preselection – использование изображений с худшим разрешением (пирамидальные слои) для предварительного отождествления соответственных точек на снимке;

Reference preselection – использование геотегов из EXIF фотографий для их предварительного ориентирования;

Reset current alignment – сброс текущих параметров ориентирования снимков;

Key point limit – лимит нахождения ключевых точек на снимке. Рекомендуется использовать значение *40 000*, а значение *0* означает отсутствие лимита;

Tie point limit – лимит нахождения связующих точек на снимке. Рекомендуется использовать значение *4 000*, а значение *0* означает отсутствие лимита;

Adaptive camera model fitting – при уравнивании связок проектирующих лучей происходит самокалибровка камеры.

Для построения плотного облака точек в главном меню вызовите **Workflow – Build Dense Cloud...**. После окончания работы инструмента в окне **Workspace** появятся слои карт глубины (**Depth Maps**) и плотное облако точек (**Dense Cloud**).

Для более комфортной работы с программой первым делом необходимо зайти в настройки, чтобы выбрать язык программы, стиль интерфейса и активировать ускорение обработки при помощи GPU. Для этого нужно перейти в «Tools – Preferences», если программа запустилась на английском языке, или в «Инструменты – Настройки», если на русском (рис. 4.3).

Далее, перейти в раздел «настройки» - «основные» - «ГПУ» и активировать аппаратное ускорение с помощью видеокарты, установленной в компьютере, путём установки галочки напротив строки с видеокартой, а также активировать параметр «Использовать ЦПУ для обработки совместно с ГПУ», что должно ещё сильнее повысить производительность (рис. 4.4).

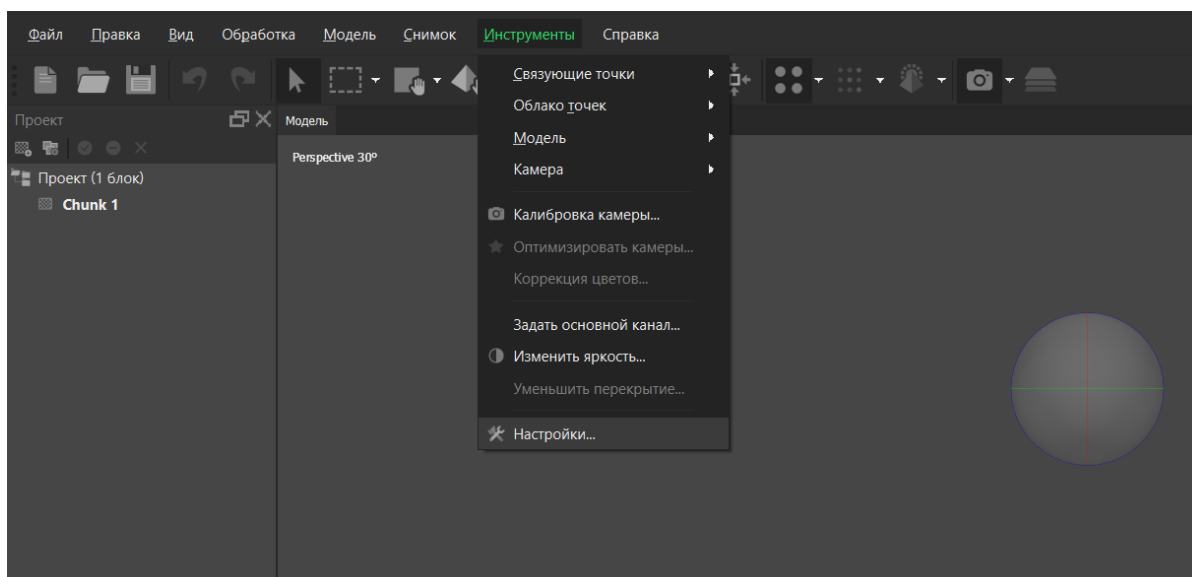


Рис. 4.3. Смена языка в программе

Для применения настроек нужно нажать «Применить» и «Ок». Для того, чтобы начать проект, необходимо загрузить фотографии в программу, путём перетаскивания всей папки, либо выделенных фотографий в «Chunk 1».

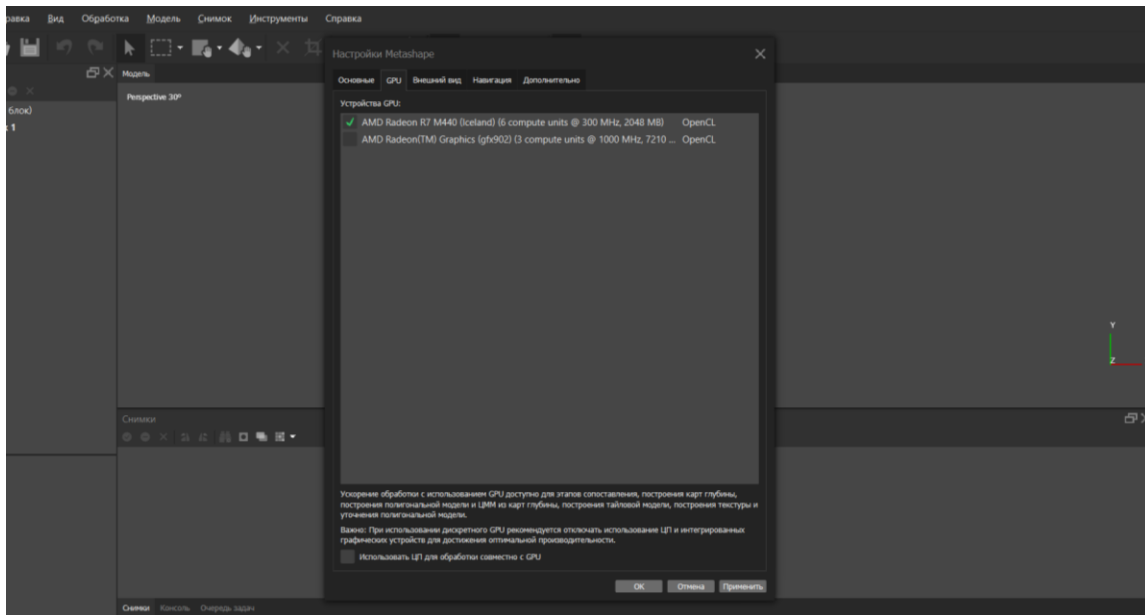


Рис. 4.4. Повышение производительности

Далее, после того как фотографии будут загружены в проект, появится количество камер (то есть фото) слева, в списке проекта, каждую фотографию также можно открыть из нижнего окна двойным щелчком мыши.

Первым этапом непосредственного создания модели является выравнивание фотографий – процесс, когда машинное зрение определяет положение и ориентацию камер (фотографий), после чего строится разреженное облако точек. Для запуска процесса необходимо выбрать «Обработка – Выровнять снимки».

При «Выравнивании снимков» возможно изменение следующих настроек:

- Точность – при выборе высокой точности используются изображения в исходном размере – именно данная настройка оптимальна для создания моделей. При средней точности каждое изображение сжимается в 4 раза относительно высокой. Выбор низкой точности приводит к сжатию изображения ещё в 4 раза и т. д. Более того, выбор «Очень высокой» точности увеличивает исходные изображения в 4 раза, что целесообразно использовать только когда исходные фотографии – очень резкие, что приводит к значительному увеличению времени обработки.
- Общая преселекция – может повысить скорость обработки, предварительно отбираются пары изображений, с низкой точностью

поиска соответствий, что может привести к снижению качества выравнивания.

- Макс. количество точек и макс. количество проекций – ограничивает количество точек и проекций при выравнивании фото. При установке значений, равных 0, ограничение отключается, и компьютерное зрение может использовать столько точек и проекций, сколько требуется, что должно приводить к повышению точности выравнивания, но и увеличению общего количества затраченного времени на данном этапе.

- Адаптивное уточнение модели камеры – автоматически изменяет предыдущие параметры в зависимости от оценки каждого снимка. Все остальные параметры рекомендуется не менять.

После завершения предыдущей задачи на экране появится разреженное облако точек, исходя из которого можно оценить, правильно ли компьютерное зрение распознало геометрию объекта. В левом окне отобразится количество точек в разреженном облаке

Параметры при создании модели, следующие:

- Исходные данные – выбор на основе разреженного или плотного облака точек строить модель. Разреженное облако следует использовать, только если нужно создать модель в кратчайшее время. Рекомендуется использовать плотное облако в качестве исходных данных.

- Тип поверхности – для создания объёмной 3D модели музейной атрибутики необходимо выставить «Произвольный (3D)».

- Количество полигонов – возможно выбрать уже предложенное количество полигонов (низкое, среднее, высокое количество), либо указать собственное количество. Рекомендуется выбирать либо среднее, либо высокое значение параметра.

- Интерполяция – функция заполнения каких-либо отверстий в модели. Пункт «Отключена» восстанавливает модель без интерполяции, «Включена» - заполняет отверстия лишь небольшого радиуса, «Экстраполированная» - создаёт закрытую модель, без каких-либо отверстий. Рекомендуемое значение параметра интерполяции – «Включена».

- Галочка «Рассчитывать цвета вершин» - должна быть установлена, если модель необходимо реконструировать в цвете.

Текстура – изображение, накладываемое на модель, на котором изображена поверхность объекта. Для того, чтобы её создать, необходимо выбрать «Обработка – Построить текстуру». Параметры при создании текстуры, следующие:

- Тип текстуры – для создания моделей скульптур нужно установить пункт «Карта цветов».

- Исходные данные - для создания моделей скульптур нужно установить пункт «Снимки».

- Режим параметризации - для создания моделей скульптур нужно установить пункт «Общий».

- Режим смешивания – принцип, согласно которому выбираются части изображений из исходных снимков для создания итоговой текстуры. «Мозаика» - наиболее подходящий вариант в случае создания 3D-моделей культурного наследия – используется поэтапное смешивание всех деталей с исходных фотографий для получения максимально детализированной текстуры. «Усреднение» - применяется среднее значение по всем точкам. «Макс. яркость» и «Мин. яркость» - для финальной текстуры выбираются снимки с максимальной и минимальной яркостью соответственно. «Отключен» - работает по схожему алгоритму с «Мозаикой», однако возможно возникновение артефактов на текстуре.

- Размер и количество текстур – данный параметр отвечает за изменение разрешения текстуры в пикселях. Чем больше разрешение, тем лучше внешний вид финальной модели, однако при этом возрастает и нагрузка на компьютер. На данный момент в некоторых программах, которые используются на следующих этапах существуют ограничения в 8192 на 8192 пикселя на текстуру. Если в компьютере недостаточно ОЗУ, и программа отключается или зависает на этапе создания текстуры, то можно либо снизить качество, либо разбить текстуру на несколько частей, однако на следующих этапах возникнет гораздо меньше проблем при использовании лишь одной текстуры.

- Включить заполнение отверстий – данную опцию не рекомендуется отключать, так как при отключении некоторые области могут остаться без текстуры.

- Включить фильтрацию шумов – при активации данного параметра активируется функция борьбы с шумами, что положительно сказывается на качестве финальной текстуры.

Теперь попробуем протестировать работу программы на примере, где интерфейс настроен на английский язык. Собрав скриншоты с видео о волке, мы загружаем их в программу, с присвоенным названием «Chunk 2», где всего получилось 17 фото.

Нажимаем правой кнопкой мыши по папке и выбираем «Process» - «Align Photos». В зависимости от скорости процессора и размера оперативной памяти, загрузка будет занимать разное время, в среднем не более пяти минут. На экране появится скопление точек, при приближении к которым станет понятно очертание 3d-модели (рис. 4.5).

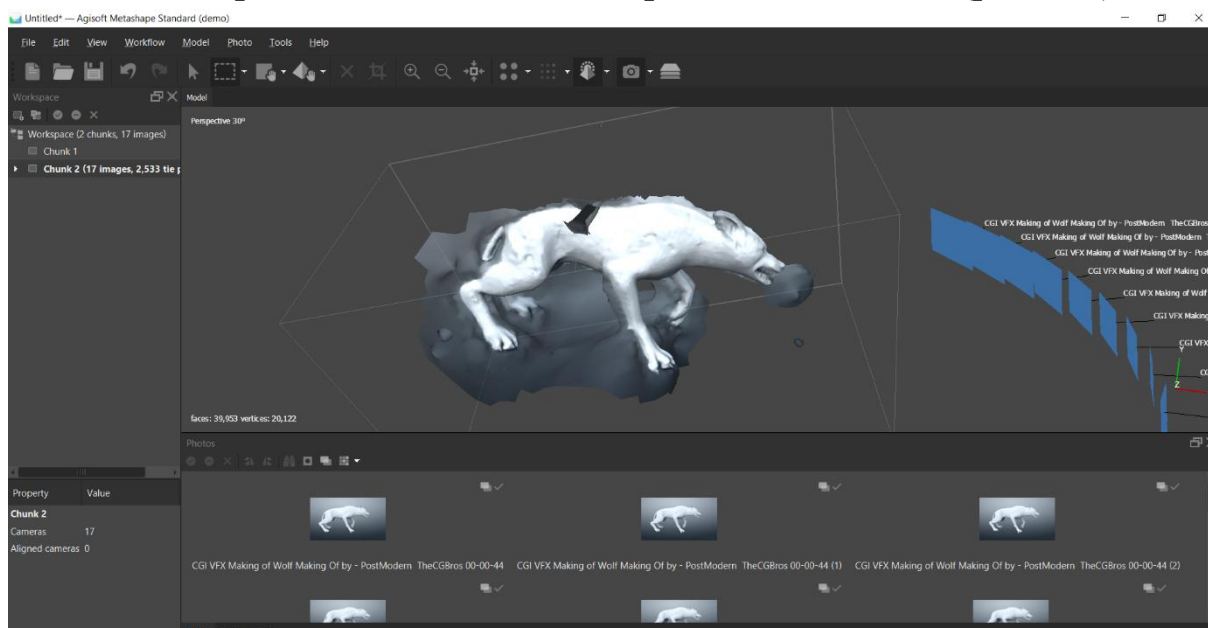
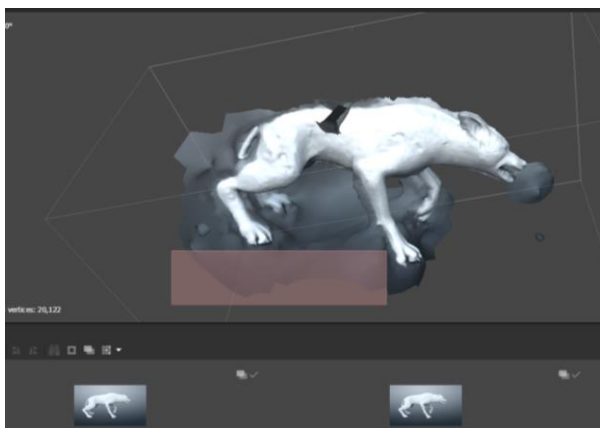


Рис. 4.5. Первоначальный вид 3D-модели

В зависимости от наличия заднего плана, могут быть созданы лишние «артефакты» (дефекты), для их удаления нужно воспользоваться инструментом «прямоугольник», для захвата и удаления ненужных деталей (рис. 4.6). При выделении лишних деталей и нажатии delete – элемент будет удален (рис. 4.7).



**Рис. 4.6. Инструмент
прямоугольник**



Рис. 4.7. Удаление элемента

При рассмотрении с разных сторон, будут найдены пробелы и разрывы в модели, это свидетельствует об отсутствии точек для построения в этой области (рис. 4.8).

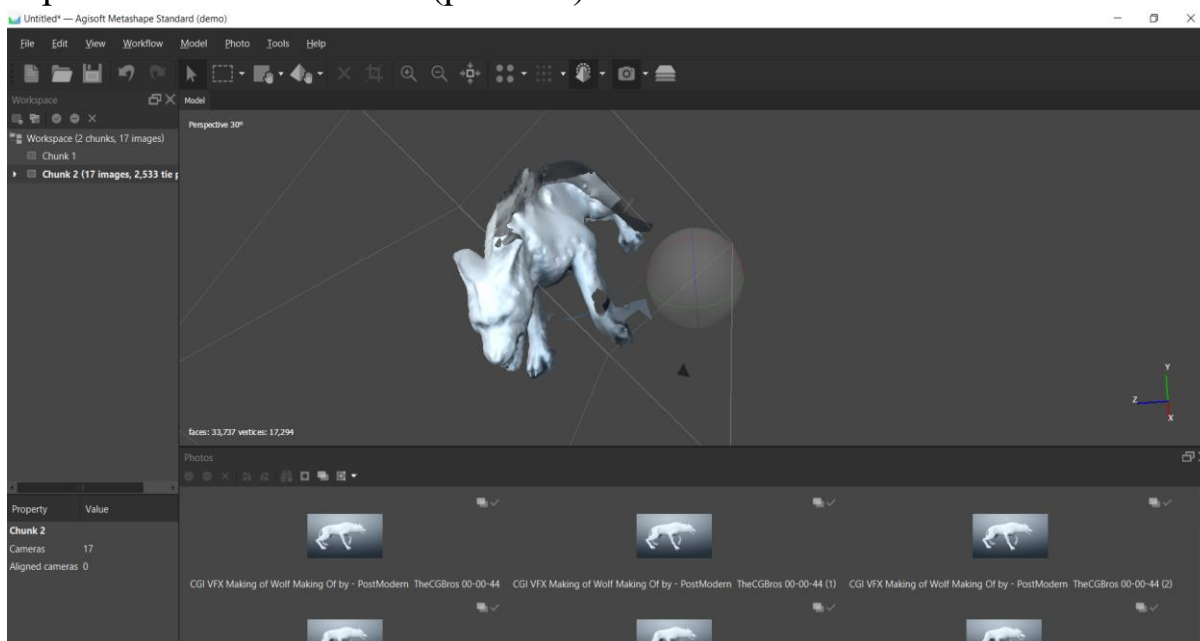


Рис. 4.8. Пробелы в модели

Продолжаем рассматривать фигуру с разных сторон, удаляя лишние фрагменты, созданные в процессе фотограмметрии. Обратим внимание, что голубые прямоугольники – фотографии, загруженные нами в программу. Не случайно программа не смогла достроить задний план волка – там нет фотографий, по которым можно было бы достроить точки (4.9).

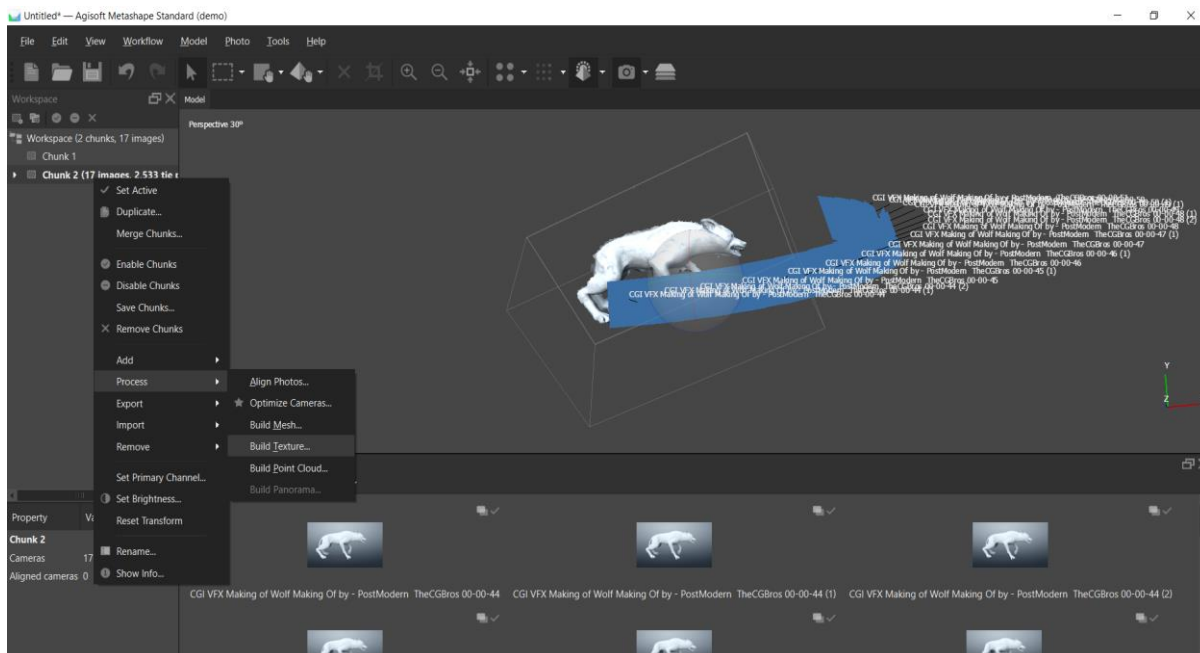


Рис. 4.9. Расположение фотографий

Для продолжения работы с 3D-моделью выбираем «Process», «Build Mesh». Здесь загрузка может идти чуть дольше, но это позволит создать сетку на фигуре.

По окончании работы над моделью, необходимо снова нажать на «Process», «Build Texture». Лучше сохранить текстуру в формате png, это может понадобиться при импортировании модели для следующей обработки.

Здесь можно остановиться, если результат устраивает. У нас есть некоторые пробелы в 3D-модели, которые нам нужно исправить. Импортируем модель в любую 3D-программу и можем продолжить редакцию.

Импортированная модель сохраняется в формате .obj, её и загружаем в программу по трехмерному моделированию – blender (рис. 4.10).

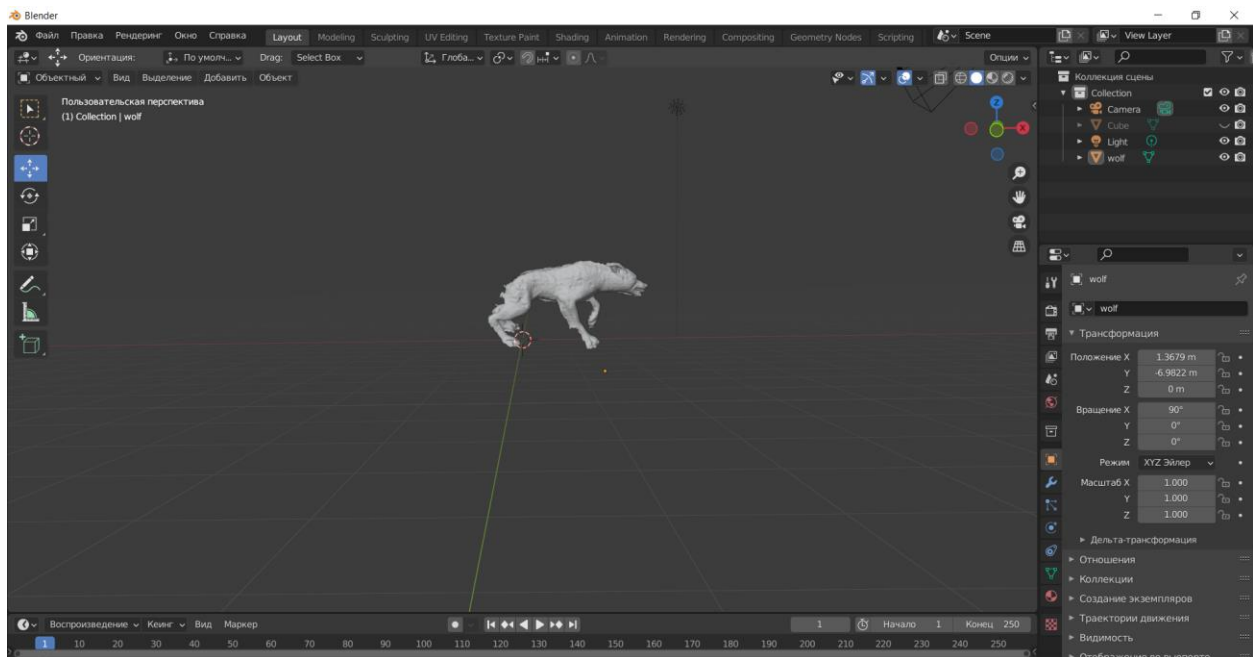


Рис. 4.10. Импорт модели в программу blender

Далее попробуем другие фотографии для создания 3D-модели. В этом случае у нас есть видео, где вращается статуэтка. Сохраняем скриншоты и загружаем в программу. Есть один недочет – часть фотографий затемнена, проверим влияет ли это на итоговый результат (рис. 4.11).

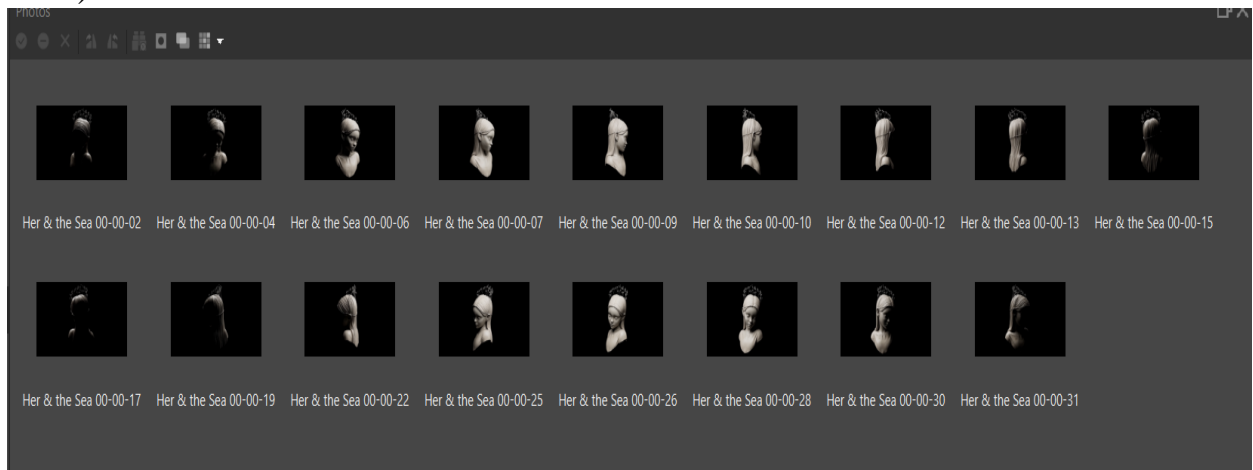


Рис. 4.11. Загрузка черно-белых фото

После запуска обработки изображений программа не смогла разобрать половину фото из-за черного цвета и большого количества затемненного фона. Галочками отмечены выбранные фото, темные фото программа не смогла распознать.

Соответственно, достаточно проблематично достроить фигуру без необходимых точек (рис. 4.12).

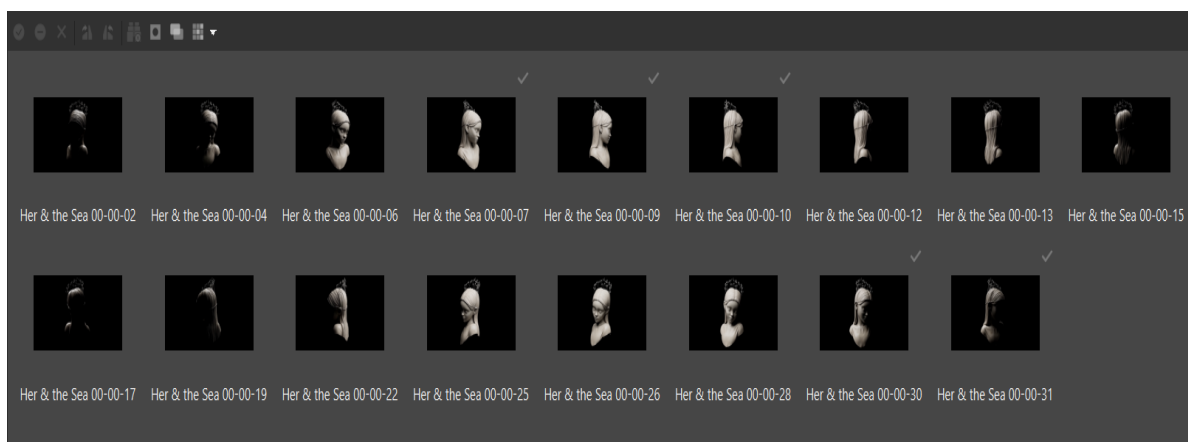


Рис. 4.12. Выбранные фото

Слишком темные изображения с трудом поддаются анализу и чтению, выберем другой объект для повторного запуска. Пробуем добавить фото с разных ракурсов, выбрав видеоролик о животном, при этом ось движения сдвинута. У нас получается сделать несколько кадров с разных сторон, при этом они не образуют единую линию – движения оси (рис. 4.13).

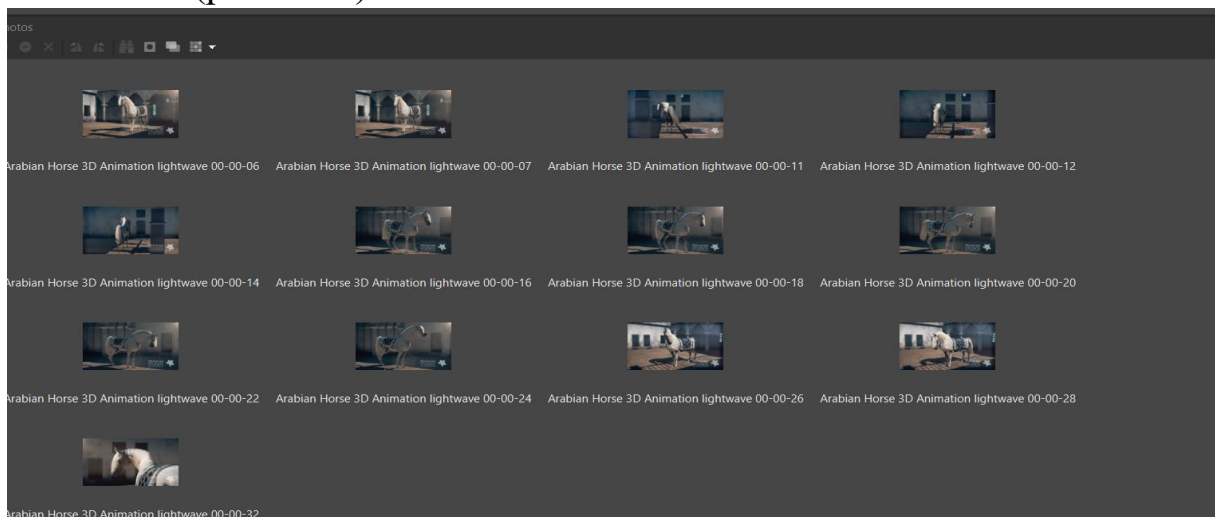


Рис. 4.13. Фото на разной траектории

В результате получилось лишь несколько точек, отдаленно напоминающих нашу фигуру. Из-за того, что все фотографии разные, пусть на них и изображена одна модель – программе недостаточно данных, для построения полноценной фигуры. Точки переносятся лишь на «основную» картинку, отдаленно напоминающую общую цветовую

гамму. При этом, если приблизить такую модель, то эти точки будут висеть в воздухе, не соединяясь друг с другом.

Делаем вывод: фотографий мало, все они с разных ракурсов, что затрудняет их «сцепление» друг с другом (рис. 4.14).

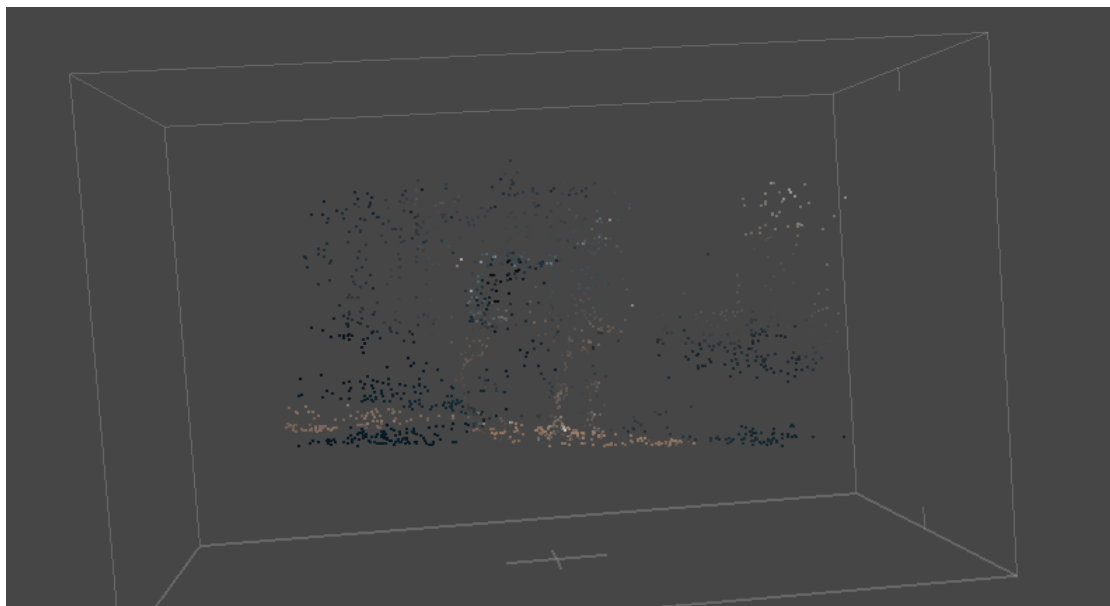


Рис. 4.14. 3D-модель из фотографий с разного ракурса и разной траектории

Тогда попробуем создать 3D-модель имея только фотографии с одного вида – спереди. При этом фотографии у нас в ограниченном количестве и всего их 7 штук. Допустим, нам нужна фигура пасущейся лошади, делаем фото и загружаем в программу по тому же алгоритму.

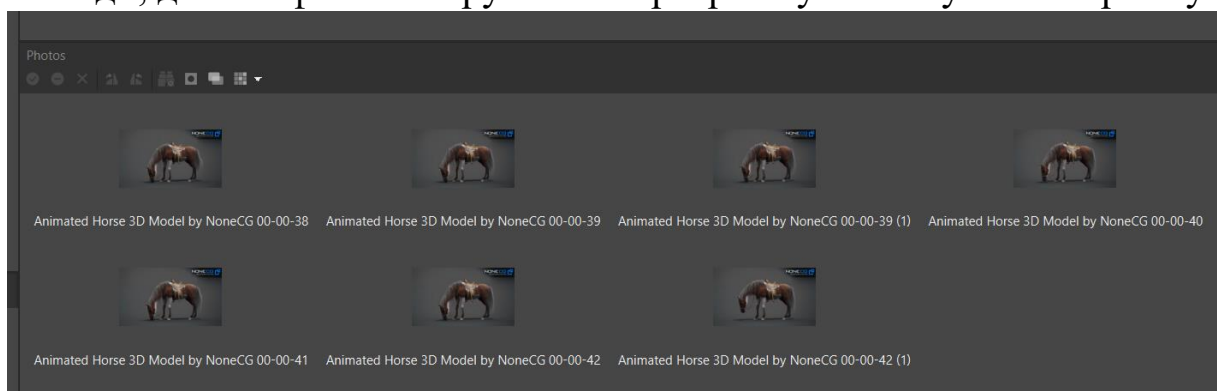


Рис. 4.15. 3D-модель из фотографий с одного ракурса

Снова ошибка: фотографий недостаточно и с одной стороны не удается воссоздать объект. Не имея дополнительных данных, программа не может воссоздать модель в объеме, работая лишь со снимками одного вида (рис. 4.15).

Если развернуть модель и посмотреть со стороны, то мы увидим набор точек на одной плоскости, лишь отдаленно напоминающих нашу выбранную фигуру для воссоздания 3d-объекта (рис. 4.16).

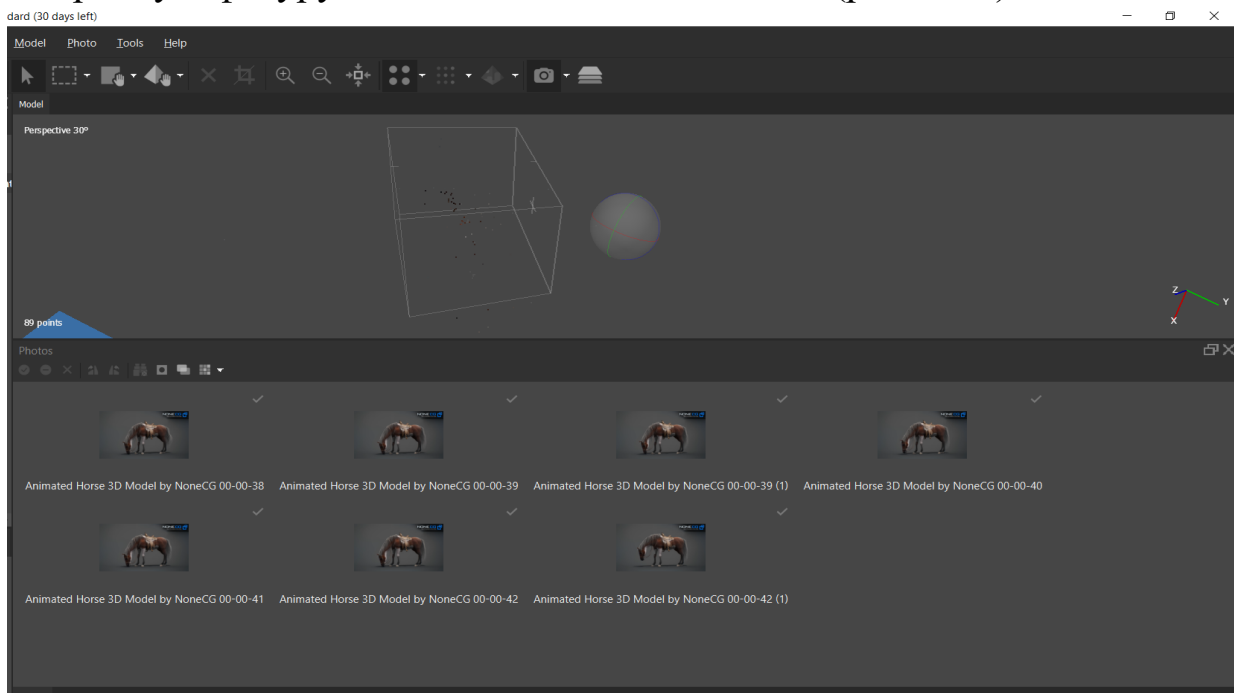


Рис. 4.16. 3D-модель из фотографий с одного ракурса

Попробуем создать 3D-модель одного объекта, совершающего движение. Подгружаем 51 изображение бегущего коня, отчетливо выделяющегося на темном фоне (рис. 4.17). Все изображения контрастные, с хорошо освещенными тенями и бликами. Запускаем программу по аналогичному действию, проделанному пунктами выше.

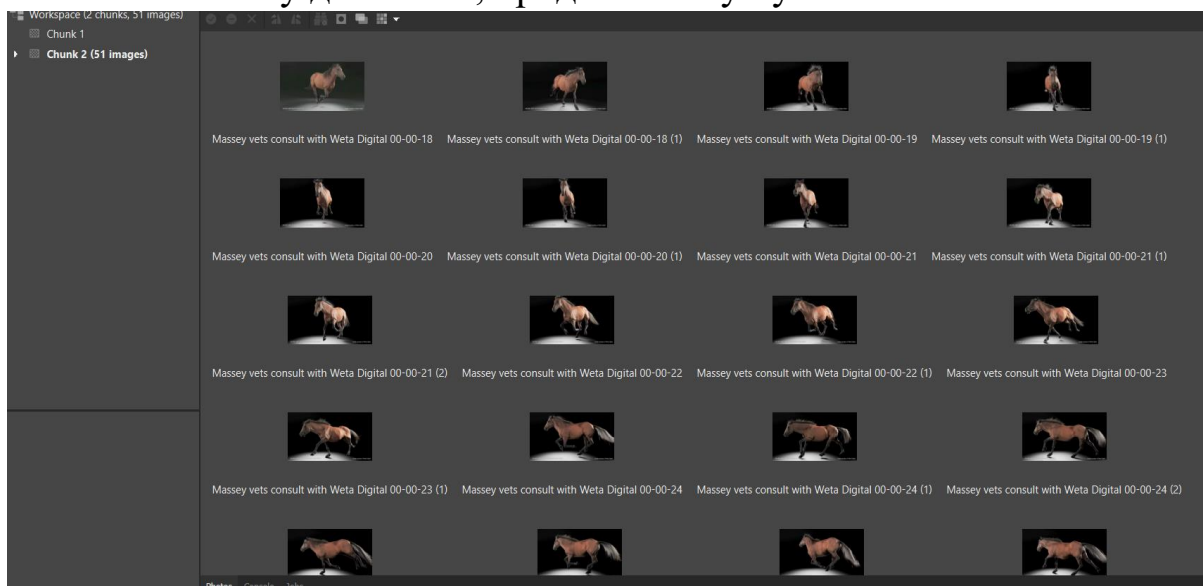


Рис. 4.17. Объект в движении

После запуска обработки изображений у нас появляется ошибка (рис. 4.18), оповещающая о невозможности обработки движущейся модели.

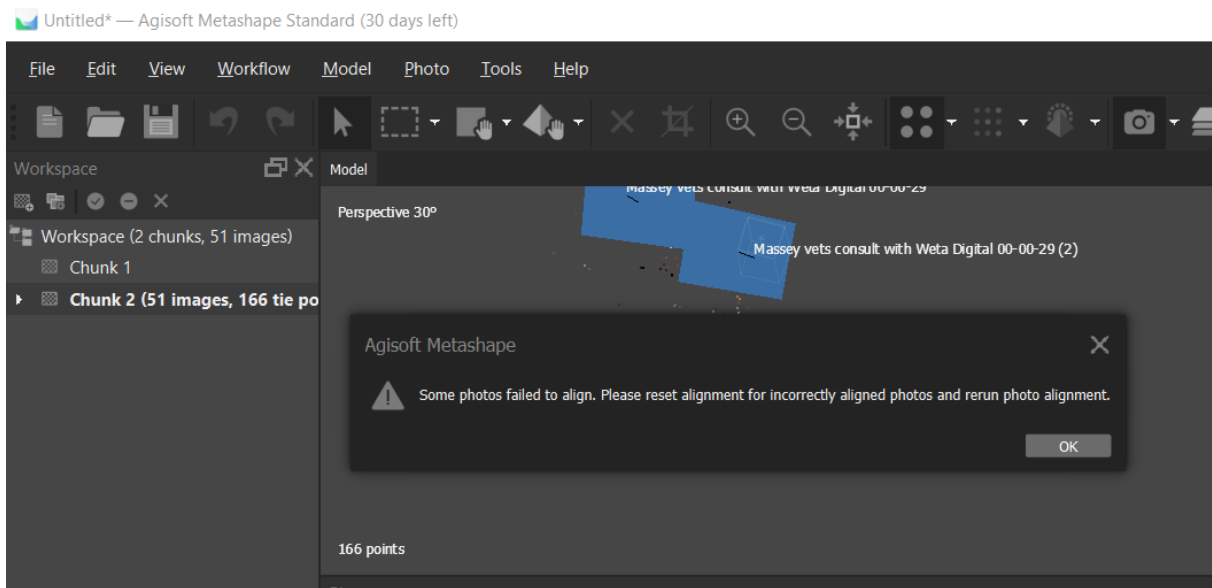


Рис. 4.18. Ошибка моделирования

В таком случае выбираем модель попроще, с минимальным отклонением от траектории движения, неподвижную и относительно примитивную.

Находим видео-вращение скульптуры и сохраняем скриншоты.

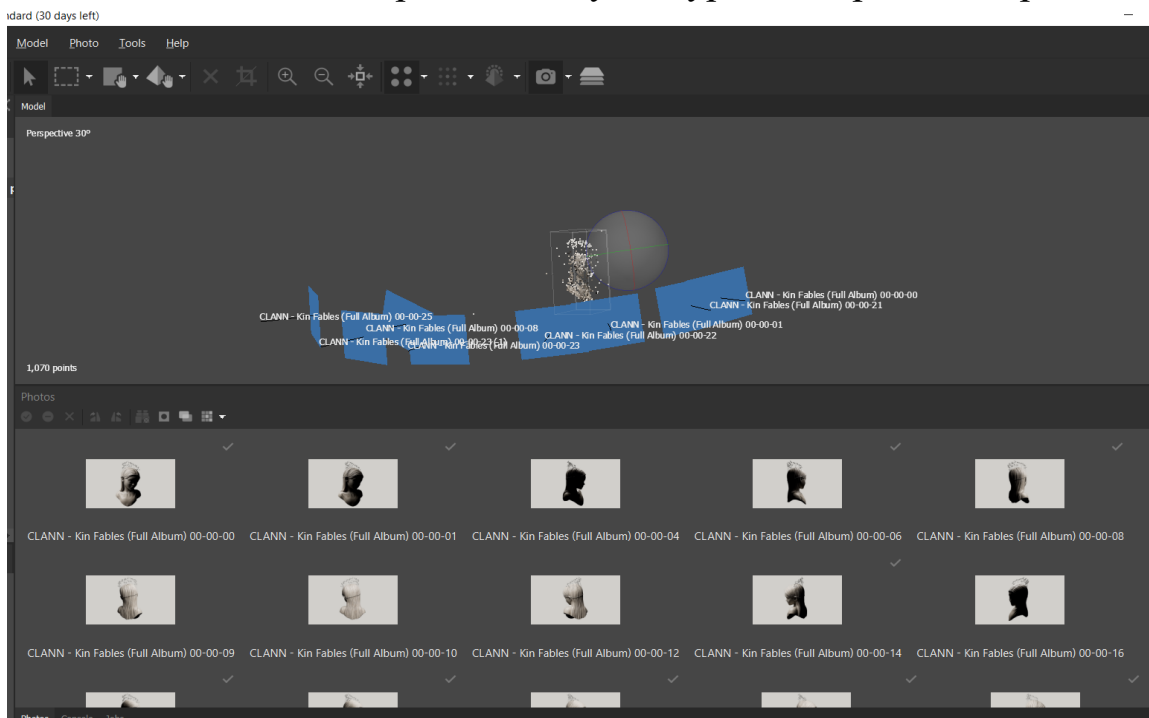


Рис. 4.19. Фотографии вращающейся скульптуры

После обработки фото обращаем внимание, что программа не может распознать «черные» изображения, где фигура затемнена (рис. 4.19). Повторный запуск не решает проблему, в таком случае добавляем еще фотографии к 13 уже имеющимся картинкам.

38 фотографий дают более качественный результат (рис. 4.20). При этом программа распознала все фото без исключений. Пробуем объединить и увеличить количество фотографий до 51. Преобразование изображений длится вдвое больше времени, но в сравнении мы получаем более качественную 3D-модель (рис. 4.21).

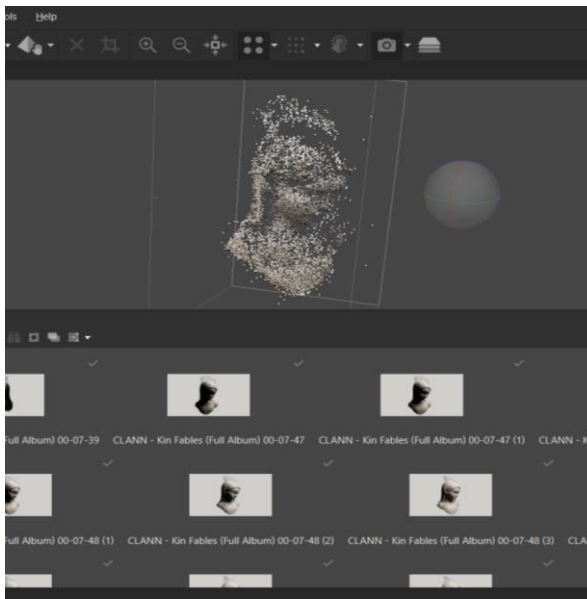


Рис. 4.20. Обработка 38 фотографий

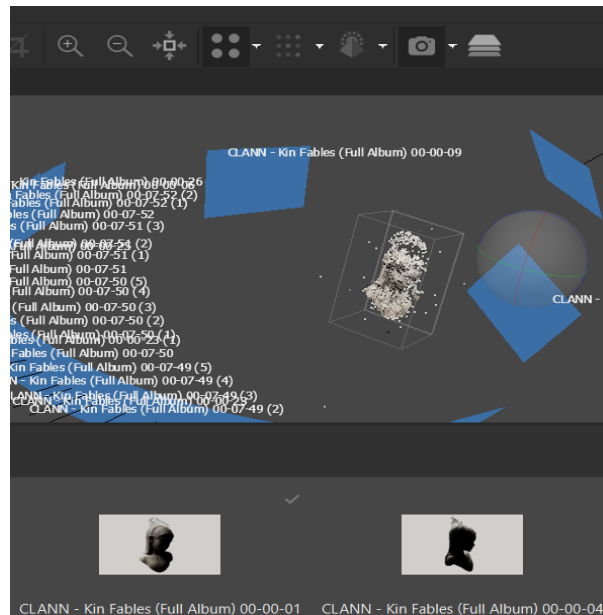


Рис. 4.21. Обработка 51 фотографии

Производим все остальные преобразования – сохранение текстур, удаление лишних деталей на модели, проверяем все недочеты и сохраняем её в формате .obj, для последующей загрузки в программу трехмерного моделирования – 3ds max.

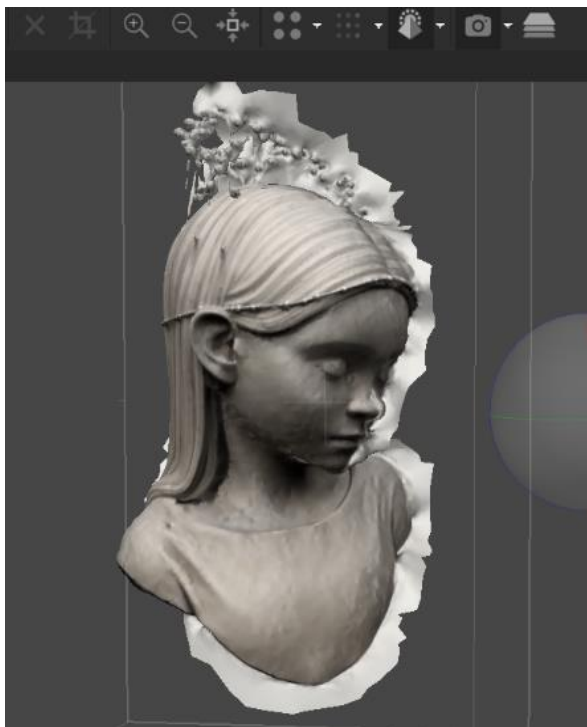


Рис. 4.22. 3D-модель скульптуры

При рассмотрении её со всех сторон, мы заметим, что часть лица скульптуры было затемнено и достроить точки в той области было невозможно, в связи с чем текстуры налегли друг на друга и сместились с искомым координат (рис. 4.22).

Если у нас есть недостающие фотографии – лучше подгрузить их в программу по фотограмметрии и запустить алгоритм еще раз, но у нас других фото нет, поэтому будем исправлять этот недочет вручную, при помощи 3D-моделирования.



Рис. 4.23. 3D-модель скульптуры



Рис. 4.24. 3D-модель скульптуры в 3ds max

Обратите внимание, что после импорта модели, созданной при помощи фотограмметрии, на фигуре образуется очень плотная сетка,

иногда затрудняющая работу с дополнительной обработкой или построением недостающих частей.

Добавив часть лица скульптуре, мы можем сохранить уже полноценную модель, потратив на её создание гораздо меньше времени, чем ежели бы строили с нуля (рис. 4.24).

Допустим, что нам необходимо воссоздать 3D-модель ювелирного украшения, имея лишь его видео-обзор. Находим искомый видеоматериал кольца, в нашем случае это видео про камень турмалин, авторство российского ювелира Максима Демидова (рис. 4.24).



Рис. 4.24. Кольцо «Океан счастья»

Предположим, что нас интересует создание 3D-модели такого детализированного украшения. Моделировать вручную по фотографии будет сложно и долговременно, поэтому воспользуемся возможностями программы по фотограмметрии.

Сохранив скриншоты из видео обзора, загружаем 45 фотографий в Agisoft Metashape для запуска создания 3D-модели.

По итогу получаем набросок из большого количества точек на поле, схематично представляющих 3d-модель, необходимую нам. Следующий шаг: build mesh (рис 4.25).

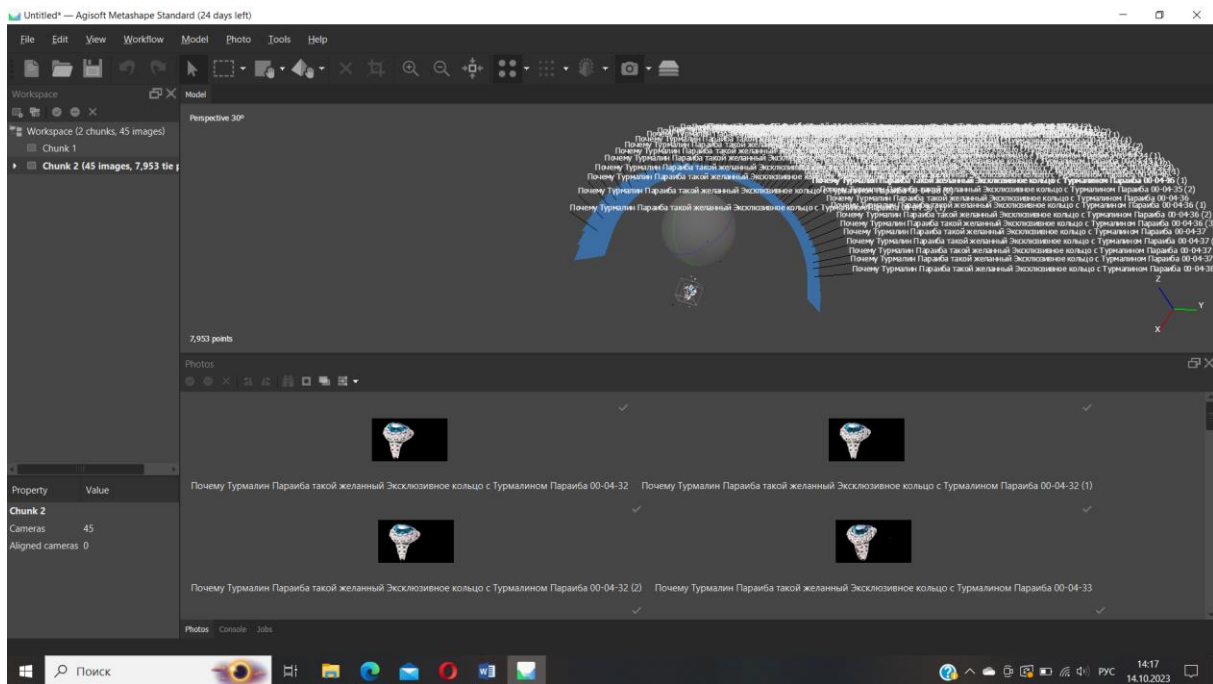


Рис. 4.25. 3D-модель кольца

По направлению «голубой» дуги мы видим, что фотографии снимались лишь на 180 градусов. Преобразовываем текстуры и импортируем 3D-модель для более детального рассмотрения нашего результата.



Рис. 4.26. 3D-модель кольца «Океан счастья»

В целом, результат хороший, учитывая, что модель создана полностью без разрывов и артефактов. Не очень качественно выглядят текстуры; из-за маленького размера объекта – достаточно проблематично удалить лишние элементы, перенесенные с темного фона (рис. 4.26).

Для доработки модели можем повторить вышеописанные шаги и загрузить модель в программу 3ds max для последующего редактирования.



Рис. 4.27. Фото кольца «Моя любовь»

Далее мы попробуем воссоздать 3D-модель кольца «Моя любовь», загрузив пакет фотографий обзора с разных сторон. После обработки фотографий ошибка покажет, что программа нас не поняла. Удаляем все лишнее, оставляя лишь фотографии, сделанные с одного угла, но с разных сторон.

Фотографии распознать не удалось, и программа создала лишь край от кольца. Такая ошибка произошла из-за низкого качества снимков, где основа кольца слилась с темным фоном и машинному зрению было сложно определить необходимые точки, для построения фигуры.

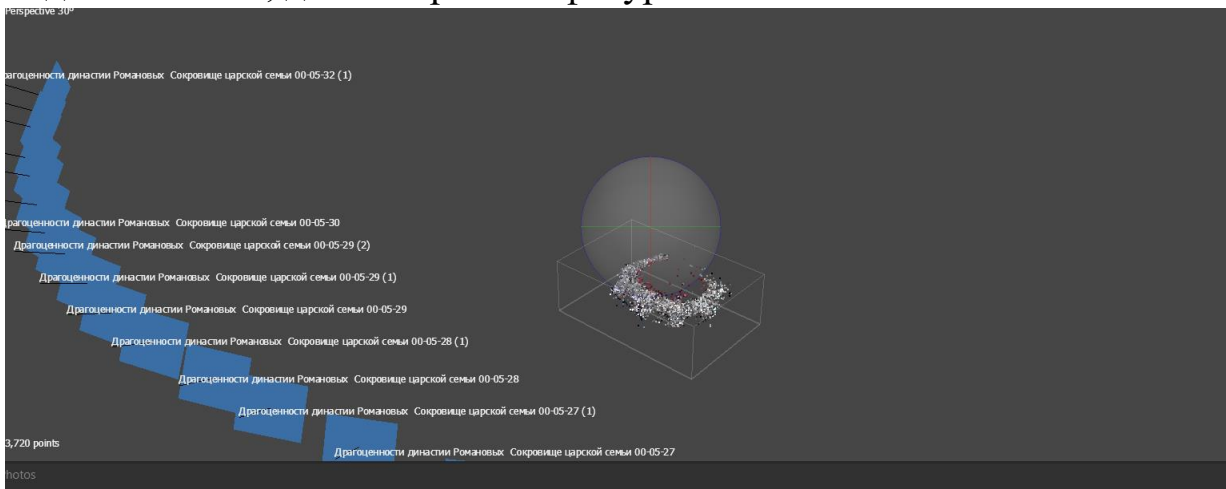


Рис. 4.28. Проба создать облако точек

Из-за того, что основание кольца сливается с темным фоном, программе удалось построить лишь верхнюю часть. С этим мы ничего сделать не можем, придется воспользоваться другими фотографиями или обработать имеющиеся в фоторедакторе, для выделения контрастности сторон и границ.



В этом случае мы выбрали кольцо «Виолетта» (рис. 4.28), отчетливо выделяющееся на черном фоне.

Здесь у нас 46 фотографий, снятых с разных сторон, но движущихся по одной траектории.

Рис. 4.28. Фото кольца «Виолетта»

Обработав все фотографии, мы получаем достаточно плотную сетку точек, которые легко сформируются в модель. Фотографии были качественные, яркие, поэтому проблем с дальнейшей обработкой модели не возникнет.

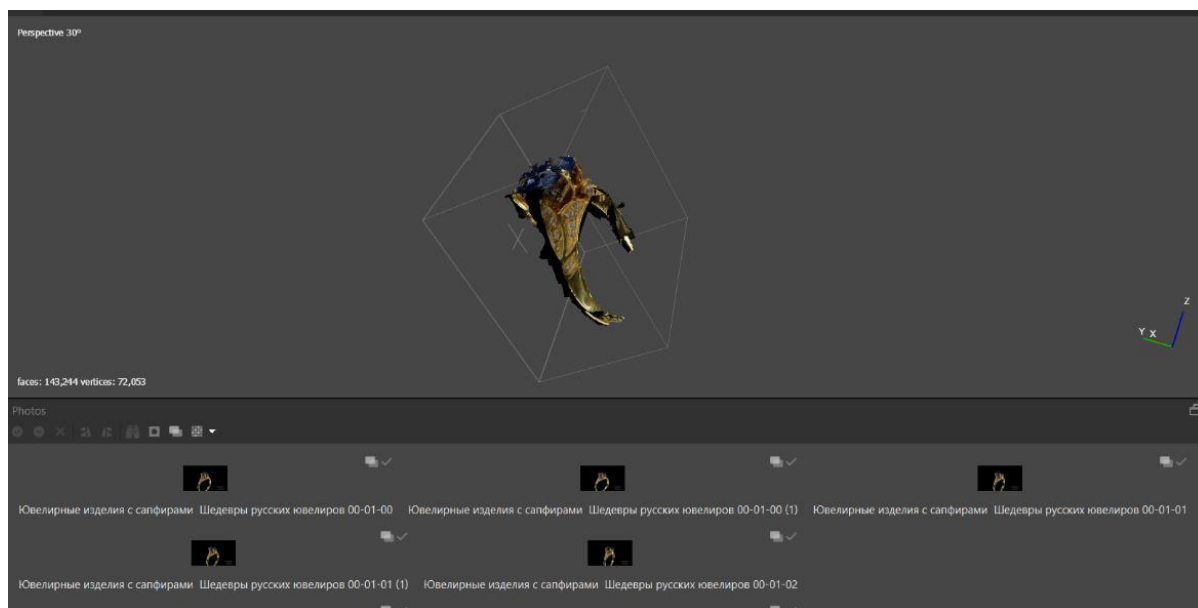


Рис. 4.29. 3D-модель кольца «Виолетта»

Сохраняем полученную фигуру (рис. 4.29) в формате obj., импортируем карту текстур и можем обрабатывать 3D-модель в следующих программах, если это необходимо. Но уже сейчас можно использовать полученную модель в образовательных целях, если нет задачи запускать ее на печать. В случае печати модель может содержать разрывы и пустоты, от которых нужно будет избавиться в программах по 3D-моделированию.

На этих примерах мы рассмотрели насколько большое значение играет обработка и качество исходных фотографий.

Попробуем воссоздать скульптуру лошади, имея фотографии со всех сторон. Всего у нас 28 изображений, снятых на одной линии, очертив скульптуру со всех сторон (рис. 4.30).

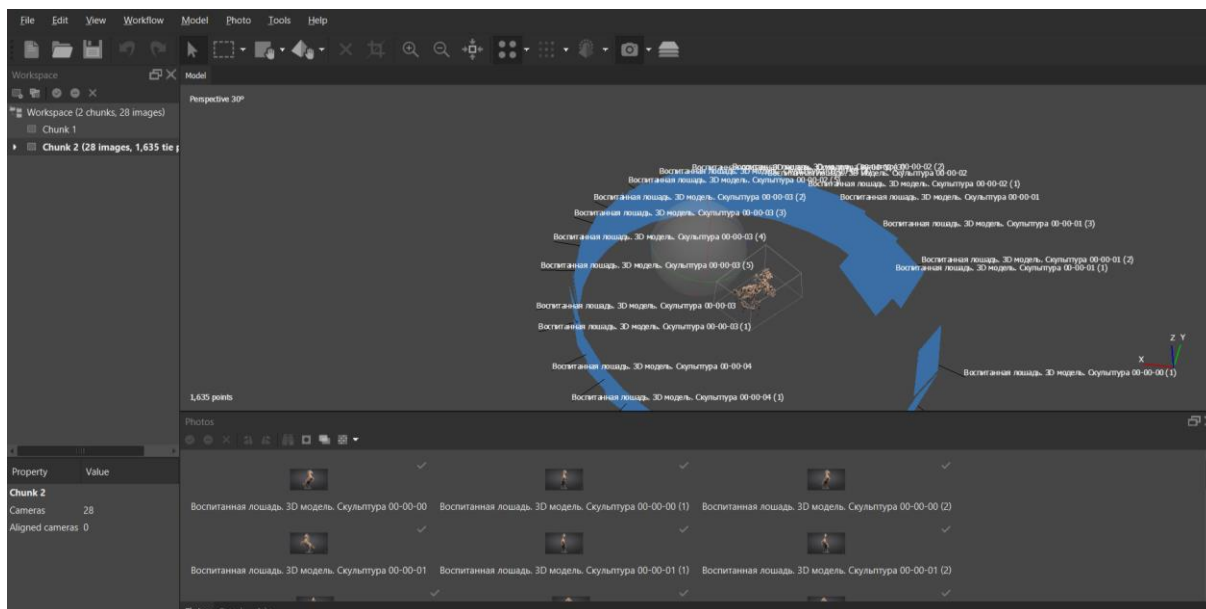


Рис. 4.30. Облако точек скульптуры

Обработка почти тридцати фотографий заняла пять минут времени, где мы получили достаточно плотное облако точек и можем продолжать обработку фигуры (рис. 4.31).

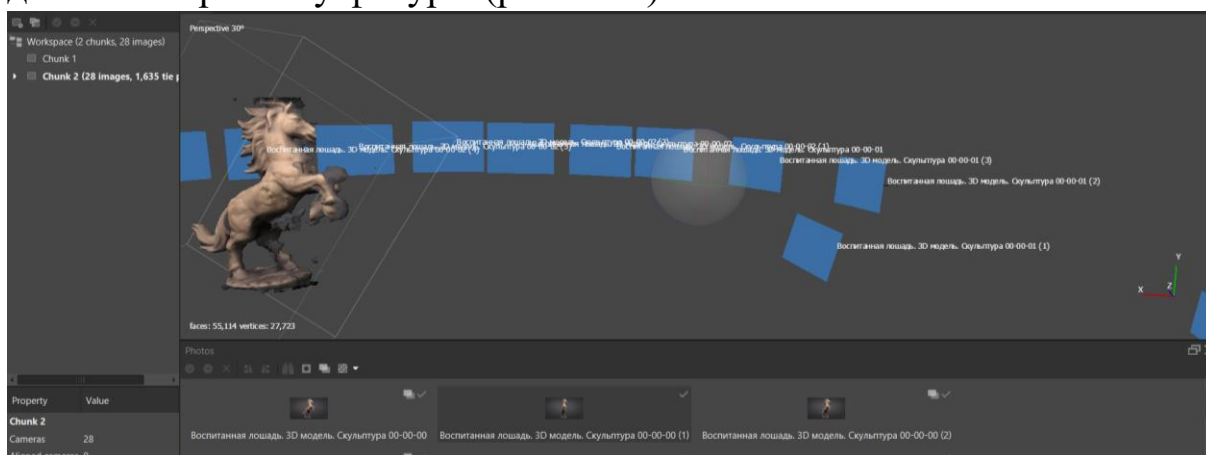


Рис. 4.31. 3d-модель скульптуры

Уже сейчас заметно, что скульптура получилась качественно, с построенными сторонами, без разрывов и пустот. Удаляем лишние объекты, взятые с заднего фона и можем сохранять.

На этом примере мы убедились, что имея даже около тридцати фотографий можно построить плотную фигуру, затратив небольшое количество времени.

Стереофотограмметрический метод позволяет определить деформацию пространственных объектов. Для использования геометрических закономерностей их применения необходимы их точные чертежи, планы и карты. Самое точное изображение зданий дается фотографиями. Качество фотографий должно быть таким, чтобы по ним можно было бы определять размеры зданий. Это требование можно удовлетворить с помощью фотограмметрии.

Задачи архитектурной фотограмметрии следующие:

- задачи, связанные с восстановлением зданий, и особенно памятников архитектуры;
- задачи, связанные со строительством новых зданий с целью вписывания их в уже существующие архитектурные ансамбли;
- задачи, направленные на определение вписывания зданий в окружающую природу;
- задачи, связанные со съёмкой фасадов с целью архивного хранения.

Архитектурные сооружения, за исключением самых современных, были построены и строятся в настоящее время с вертикальными фасадами. Поэтому съёмку фасадов удобнее всего производить камерами наземной фотограмметрии с горизонтальными осями. Задачи наземной фотограмметрии при этом двойные: с одной стороны, надо изготовить фотограмметрический снимок, а с другой стороны, его надо обработать на фотограмметрическом приборе.

При съёмке зданий с помощью фотограмметрии характерным является тоже самое основное требование, которое предъявляется и при картографировании. Изготовленная карта, чертёж фасада или план здания должны быть абсолютно объективными, они должны точно отображать действительность, как в отношении общей формы, так и в отношении деталей.

Попробуем воссоздать 3D-модель памятника Покрова на Нерли, имея фотографии со съёмки квадрокоптера. При первичной обработке у нас было только 30 фотографий, которых хватило, чтобы создать примерную область 3D-модели (рис. 4.32). Подгрузив еще изображения, мы увеличили их количество до 74.

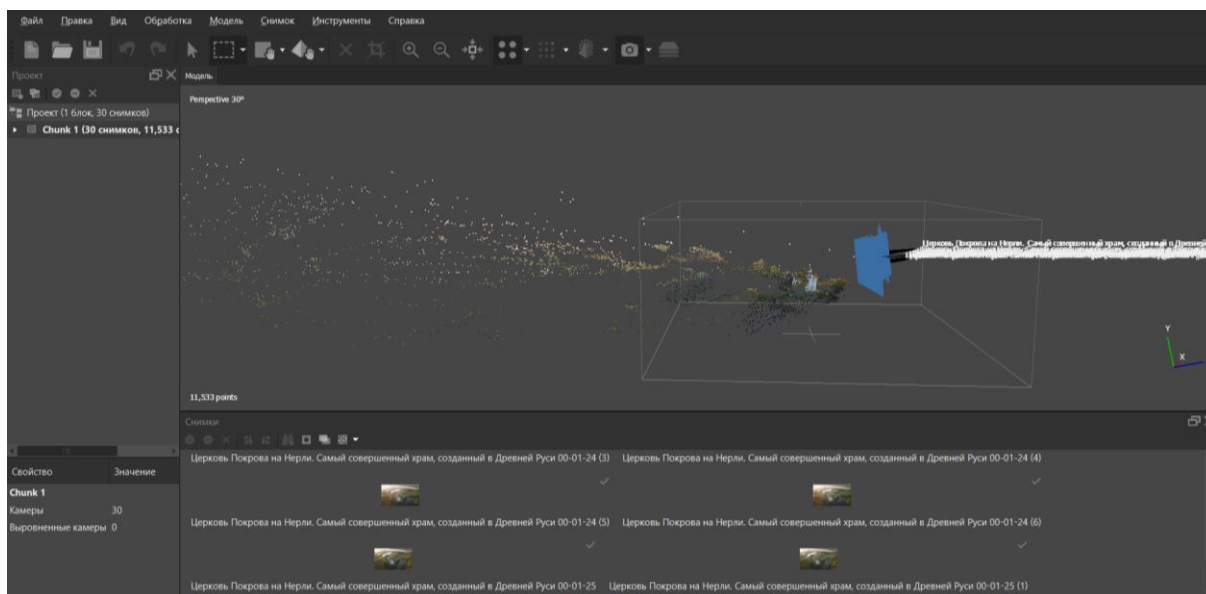


Рис. 4.32. Облако точек храма

Удалив ненужные детали, очерчиваем тем самым области нашей модели и храма. Фотографии достаточно яркие и контрастные, построить объект не составляет особого труда. При этом, из-за детализации объекта приходится затратить минут 10-15, вместо привычных пяти. По истечению срока получаем 3D-модель храма с прилегающей территорией (рис. 4.33)

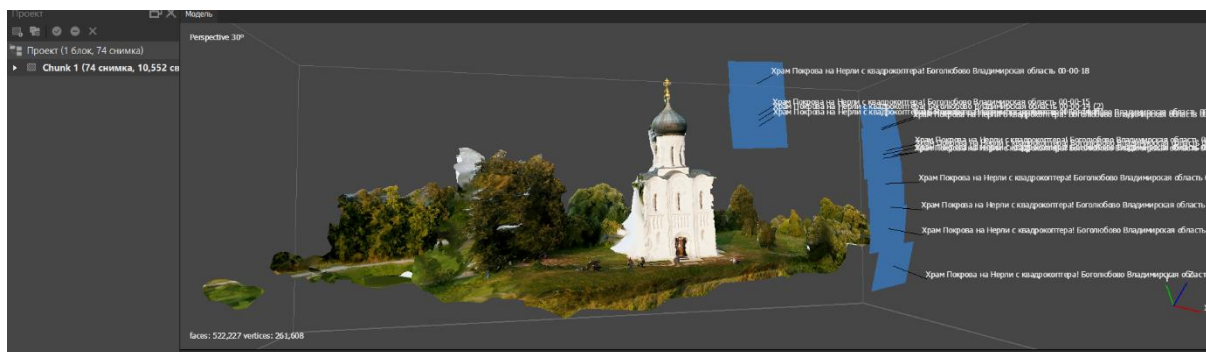


Рис. 4.33. 3D-модель храма в Agisoft

Технология фотограмметрии может применяться в архитектуре, а также в тандеме – архитектура и образование. С помощью полученной модели можно восстановить 3D-модели исторического наследия, восстановив первоначальный образ храмов.

Сложность создания 3D-моделей старых зданий – отсутствие чертежей. В этом случае современные технологии: 3D-моделирование, квадрокоптеры и программы по фотограмметрии могут помочь нам в образовательной и технической сферах (рис. 4.34).

Архитектурная фотограмметрия является только одним из видов применения фотограмметрии. Задачи её заключаются в изготовлении планов и чертежей фасадов архитектурных памятников и прочих зданий, и сооружений с целью их реконструкции, проектирования и архивного хранения. Съёмка фасадов ведётся фотограмметрическим методом с одним снимком или методом стереофотограмметрии.

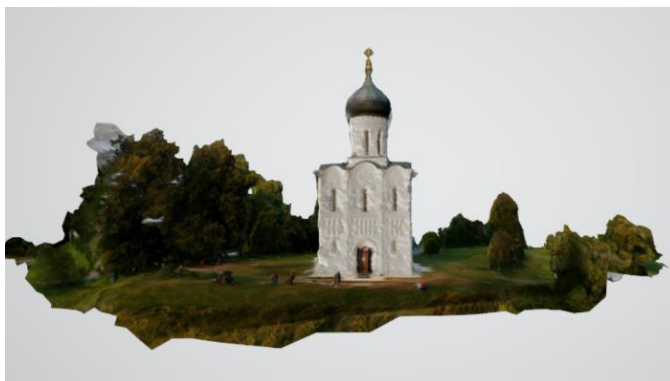


Рис. 4.34. 3d-модель храма Покрова на Нерли

Съёмку плоского объекта (например фасада здания) необходимо производить перпендикулярно самому объекту, без углов поворота камеры. Примечательно, что расстояние от объекта до камеры, с последующим фотографированием, должно быть примерно одинаковым. Также необходимо правильно соблюдать перекрытие снимков, как продольное, так и поперечное (60% поперечное перекрытие + 80% продольное перекрытие). Исходя из размеров фотографируемого объекта должно получиться достаточное количество фотографий, для последующей корректной обработки данных. Если съёмка произведена в солнечный день, поэтому на фотографиях могут встречаться блики солнца или тени здания. Такие фотографии лучше исключить из общего числа фотографий. Рекомендуется снимать объект в дневное время, при этом в облачную погоду.

Если же, мы хотим снять объект по окружности (например, скульптуру или памятник), фотографий хорошего разрешения (более 5Мп) должно быть достаточно, для необходимого перекрытия каждой зоны порядка 30%. Иначе программа может выдавать ошибку или выставлять неправильно камеры съёмки. Исходя из размеров фотографируемого объекта должно получиться достаточное количество фотографий, для последующей корректной обработки данных. В итоге, чем больше фотографий и выше их разрешение, тем лучше. Однако с повышением этих параметров возрастают требования к ПК, обрабатывающий эти данные.

На стадии построения плотного облака точек Metashape рассчитывает карты глубины для каждого изображения. В случае, если текстура некоторых элементов сцены плохо выражена, или изображение нечетко сфокусировано, а также вследствие цифрового шума, некоторые точки могут быть неправильно позиционированы. Для фильтрации выбросов Metashape имеет несколько встроенных алгоритмов, которые могут применяться в зависимости от задач конкретного проекта.

Мягкая

При сложной, с многочисленными мелкими деталями на переднем плане, геометрии реконструируемой сцены, рекомендуется выбрать для параметра Фильтрация карт глубины значение “Мягкая”. В этом случае важные элементы сцены не будут исключены из построения. Мягкий режим фильтрации карт глубины может быть также полезен при обработке аэрофотоснимков, если область исследования содержит плохо текстурированные поверхности (например, крыши зданий).

Агрессивная

При реконструкции области без значимых мелких деталей, рекомендована к применению “Агрессивная” фильтрация карт глубины, чтобы исключить максимальное число ошибочно позиционированных точек. Данное значение параметра обычно рекомендовано для обработки аэрофотоснимков, однако в некоторых проектах (см. комментарий для случая выше) может применяться “Мягкая фильтрация”.

Умеренная

При использовании режима фильтрации карт глубины “Умеренная”, параметры фильтрации устанавливаются на уровне, среднем между режимами “Мягкая” и “Агрессивная”. С настройками можно экспериментировать, в случае сомнений, какой из режимов фильтрации следует применить. Кроме того, фильтрация карт глубины может быть “Отключена”. Однако использование такого сценария не рекомендовано, так как он ведет к сильному увеличению «шума» в плотном облаке точек.

Для решения задач цифровой фотограмметрии на современном этапе развития применяются полнофункциональные цифровые фотограмметрические системы, ориентированные на решение всего комплекса задач по созданию топографических и специальных карт и планов, эксплуатируются во многих специализированных топографо-геодезических и изыскательских организациях и не только.

Во время съёмки можно менять ориентацию фотографий, то есть переходить с горизонтальной серии на вертикальную серию кадров, однако лучше избегать данного перехода. Если съёмка производится внутри помещения с перемещаемым освещением, то нужно минимизировать количество бликов и теней на объекте съёмки – для этого нужно избегать прямого попадания направленных источников света на глянцевые скульптуры. Оптимальным решением данной проблемы будет направление потока света на потолок, чтобы свет рассеяно поступал на модель, тем самым, не создавая лишних бликов.

Если на объект отражаются какие-то поверхности, то с помощью однородной ткани или хромакея нейтрально серого цвета необходимо закрыть источник отражения. Однако, не стоит полностью закрывать фон при съёмке объекта. Объект съёмки должен освещаться со всех сторон равными по мощности источниками света – чем больше данных источников, тем лучше будет финальное качество фотографий. Перед началом съёмки рекомендуется разложить кодировочные маркеры по всей поверхности съёмки.

Сначала, нужно сделать полный круг общих фотографий, куда, желательно, должна помещаться фигура во весь рост. Данные снимки должны быть сделаны с большим перекрытием – на каждом снимке должна быть значительная часть предыдущего снимка, чтобы компьютерное зрение могло соединить фотографии воедино. Не обязательно каждый раз чётко измерять одинаковое расстояние между точками съёмки, однако желательно, чтобы количество снимков было равномерным. При съёмке нужно думать, как компьютер – каждый кадр нужно запечатлеть так, чтобы на нём была какая-нибудь отличительная особенность, относительно которой могло бы происходить выравнивание данных фотографий на следующем этапе.

Далее, нужно поменять высоту съёмки – например снять объект снизу, а затем сверху. На изображении ниже показан примерный ход фотографирования объекта (рис. 4.35).

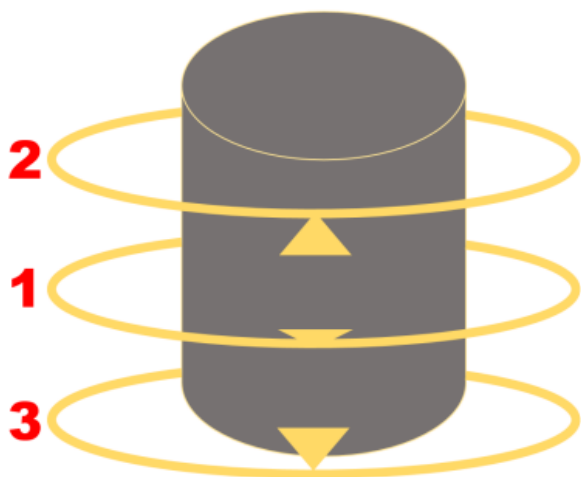


Рис. 4.35. Очередность съемки объекта

После того, как модель была отснята на нескольких высотах вокруг, можно приступить к съёмке деталей, которые уже нужно снимать крупным планом, желательно с двух и более сторон, для точного запечатления рельефа.

После того, как съёмка мелких деталей с разных сторон окончена, можно переходить к следующему этапу – обработке полученных фотографий.

С помощью постобработки изображений можно: увеличить экспозицию снимков, изменить цветовую температуру, настроить чёткость, насыщенность, контрастность, понизить яркость бликов, осветлить тени, убрать хроматическую aberrацию.

На сегодняшний день можно смело сказать, что фотограмметрия переживает взрывной рост в архитектуре и строительстве, социально-культурной сфере, киноиндустрии и анимации в компьютерных играх.

Для примера возьмем мониторинг процесса строительства – весьма актуальная проблема. Уже несколько лет 3D-модель объекта строительства используют для отображения прогресса стройки. Например, готовая в срок часть объекта на модели отображается зеленым, находящаяся в процессе – желтым, к строительству которой еще не приступили – серым (или скрыта вовсе), а просроченная – красным. Однако эти данные могут быть необъективны, так как не показывают непосредственно строительную площадку, а определить общий прогресс по фотографиям, как правило, довольно тяжело.

Фотограмметрия предлагает инновационное решение этой проблемы. Используется БЛА, который по заданной траектории облетает строительную площадку и производит аэрофотосъемку объекта. Далее массив фотографий выгружается в один из программных комплексов и производится сборка актуальной модели. Установив период облета, будь то неделя или месяц, удастся отследить объективный прогресс строительства, который можно использовать для отчетов начальству.

С помощью дополнительного ПО можно даже сравнивать эти две модели и подсвечивать разницу в них.

Большинство архитекторов и проектировщиков сталкиваются с задачей реставрации старых зданий, а иногда и ремонта новых. Задача приобретает масштаб катастрофы в тот момент, когда срочно необходимы чертежи объектов с указанными размерами, а они утеряны или уже потеряли свою актуальность. В помощь архитекторам и другим специалистам, связанным с реконструкцией и реставрацией зданий, приходит именно фотограмметрия. Нужный объект фотографируется, а после по смежным изображениям выявляются одинаковые точки и определяется их положение в координатах базового снимка. Точки складываются воедино на воображаемых каркасах, и получается готовая модель

Социально-культурная сфера – это другая область инновационного применения фотограмметрии. Сейчас в музеях и выставочных центрах во всем мире наиболее популярна технология виртуального тура. Это набор сферических панорам, соединенных между собой ссылками для перехода. У нее определенно есть свои плюсы – это дешево, быстро и просто.

С помощью фотограмметрии можно создать интерактивный трехмерный тур в виртуальной реальности. Фотореалистичность, универсальность, интерактивность – отличие колоссальное. Цифровой камерой делается массив фотографий, например, скульптуры и комнаты, в которой она находится. Далее этот массив загружается в программные продукты, и после доработки специалистами на выходе мы имеем трехмерную комнату со скульптурой, которую можно буквально обойти вокруг и посмотреть со всех ракурсов.

В последние годы фотограмметрия нашла свое место в современной киноиндустрии, объемное изображение фильмов по так называемой 3D-технологии получило особую популярность у молодежи. Главный метод мультипликации с ее самого начала развития всегда завораживал своими конечными результатами в виде популярных мультипликационных фильмов. А всем известный фильм «Аватар» Дж. Кэмерона был частично совмещен с анимацией и технологиями фотограмметрии для воссоздания эффектной планеты «Пандора».

Особо следует отметить применения технологического процесса фотограмметрии в разработке современных компьютерных игр. Он заключается в пошаговом качественном фотосканировании и получении при помощи специальных программ объемной геометрии от многочисленных фотоизображений различных ракурсов. К примеру, с помощью такой технологии были созданы игры «Star Wars: Battlefront» и «Cyberpunk 2077»

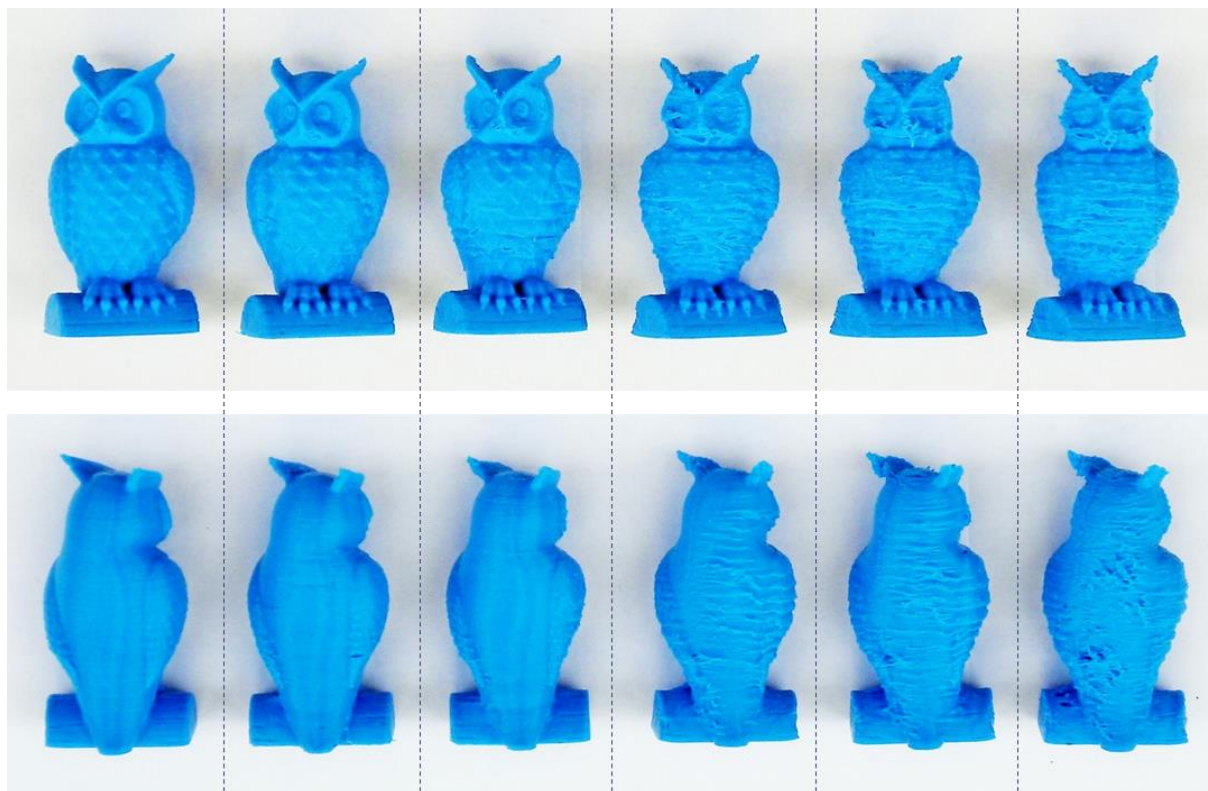
Примечательно, что теперь с помощью фотограмметрии и специального ПО любой желающий может с легкостью создать любую 3D модель существующего объекта с помощью камеры и сделанных на неё фотоснимках.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие три основные направления в фотограмметрии? Что они решают?
2. С чем связано появление такой науки как фотограмметрия?
3. Что такое цифровая карта?
4. Какая технология начала историю развития 3D-печати?
5. Какой вид 3D-моделирования наилучшим образом подходит для использования в промышленной и инженерной сфере?
6. Корпус какого телефона был впервые напечатан на 3D-принтере?
7. Как называется совокупность вершин, рёбер и граней, которые определяют форму многогранного объекта в трехмерной компьютерной графике объемном моделировании?
8. Как называется процесс разделения модели на слои для 3D-печати?
9. Как называется процесс отклеивания краев модели от стола из-за неоднородности остывания модели при печати?
10. Что такое толщина слоя?
11. Как назывался первый коммерчески успешный 3D-принтер, использующий струйный подход к быстрому созданию прототипов (RP)?
12. В какой формат необходимо преобразовать файл перед 3D-печатью?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Определите скорость печати по качеству напечатанной детали и заполните таблицу:

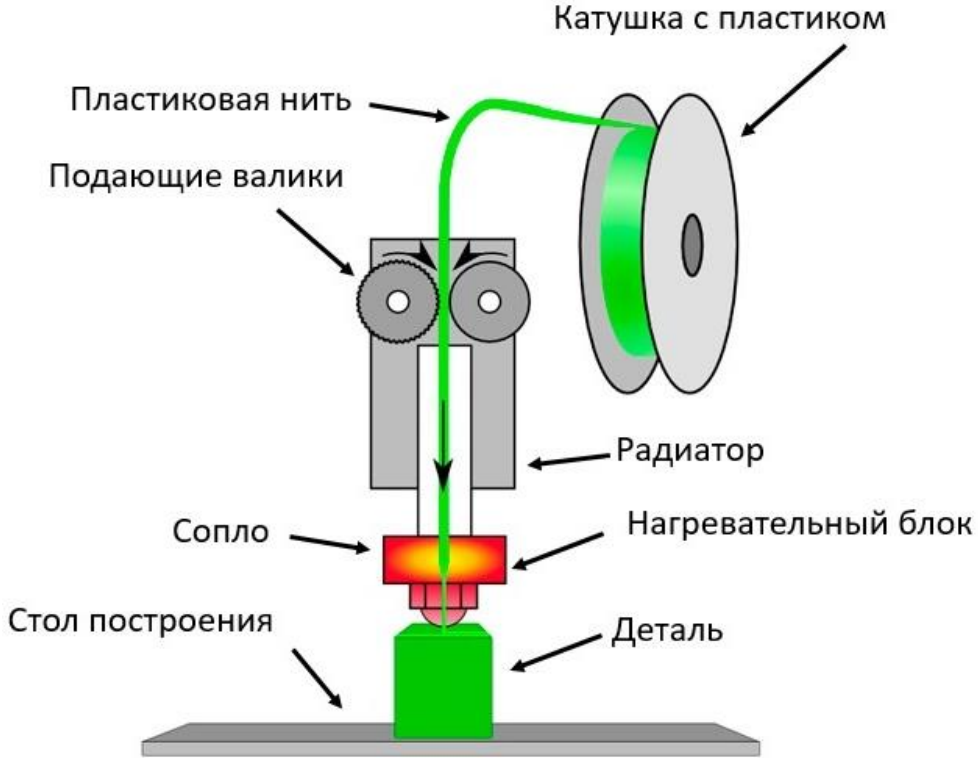
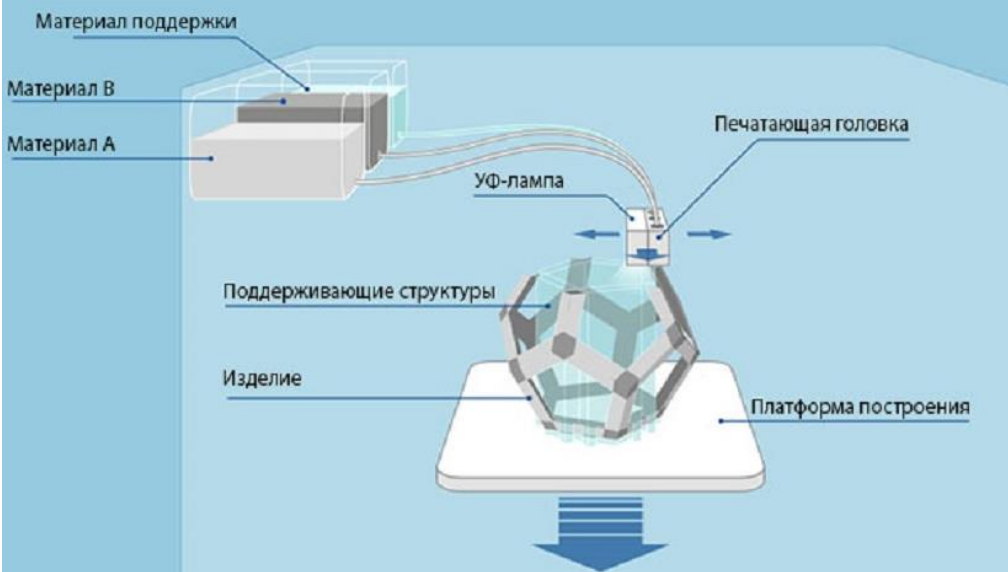


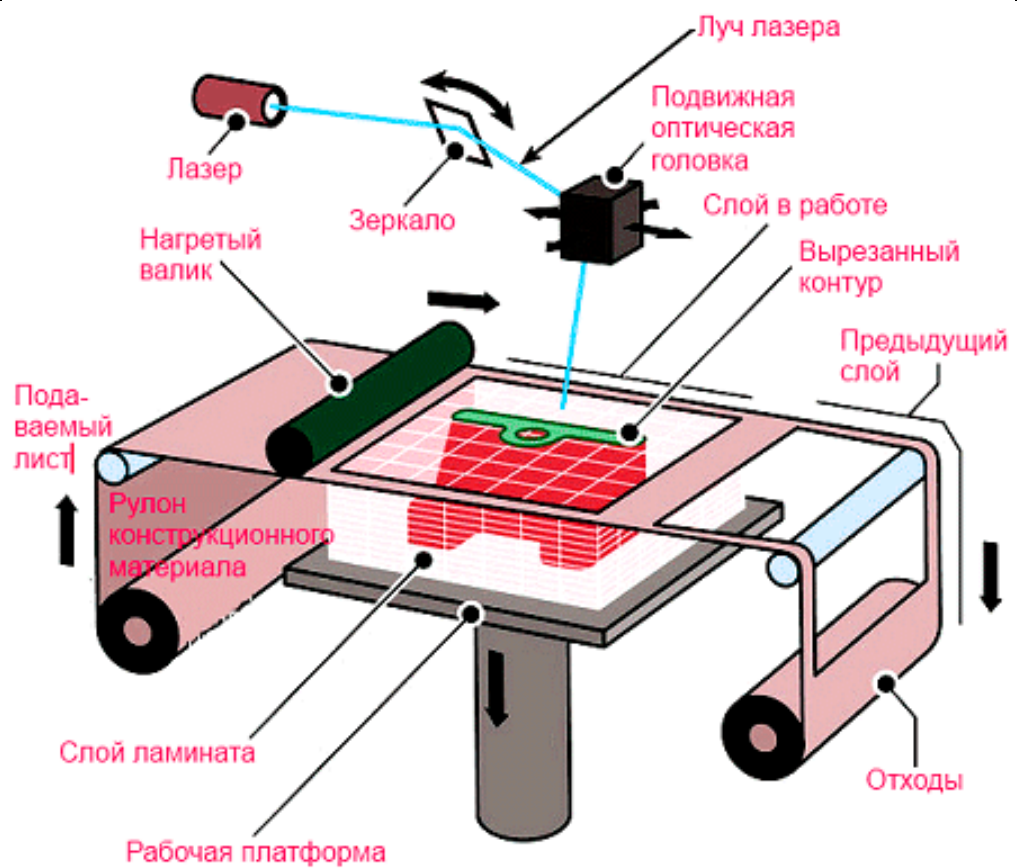
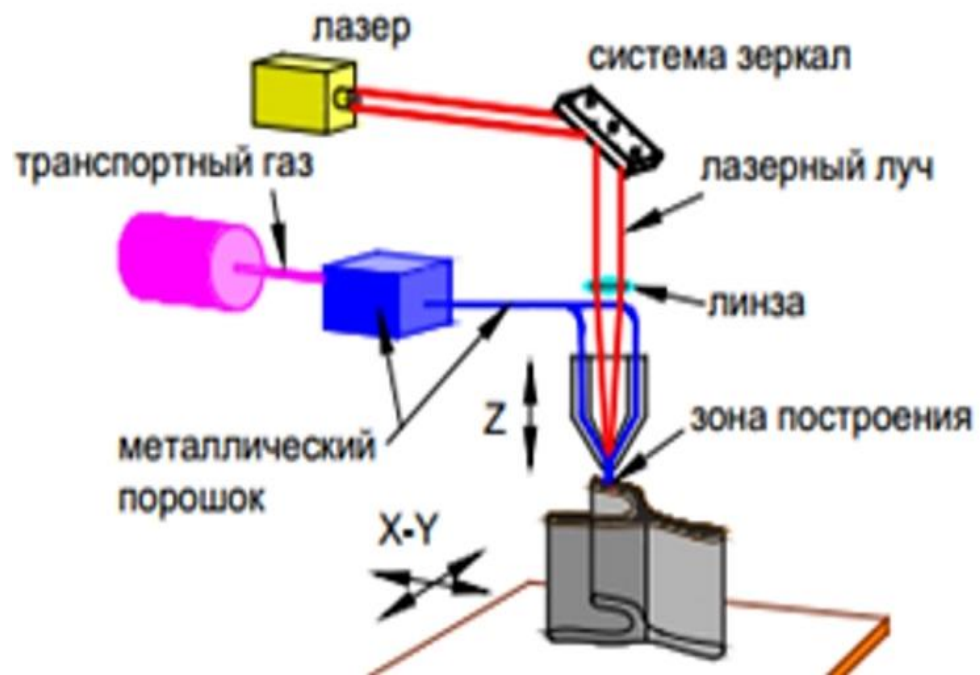
	1	2	3	4	5	6
Скорость печати						

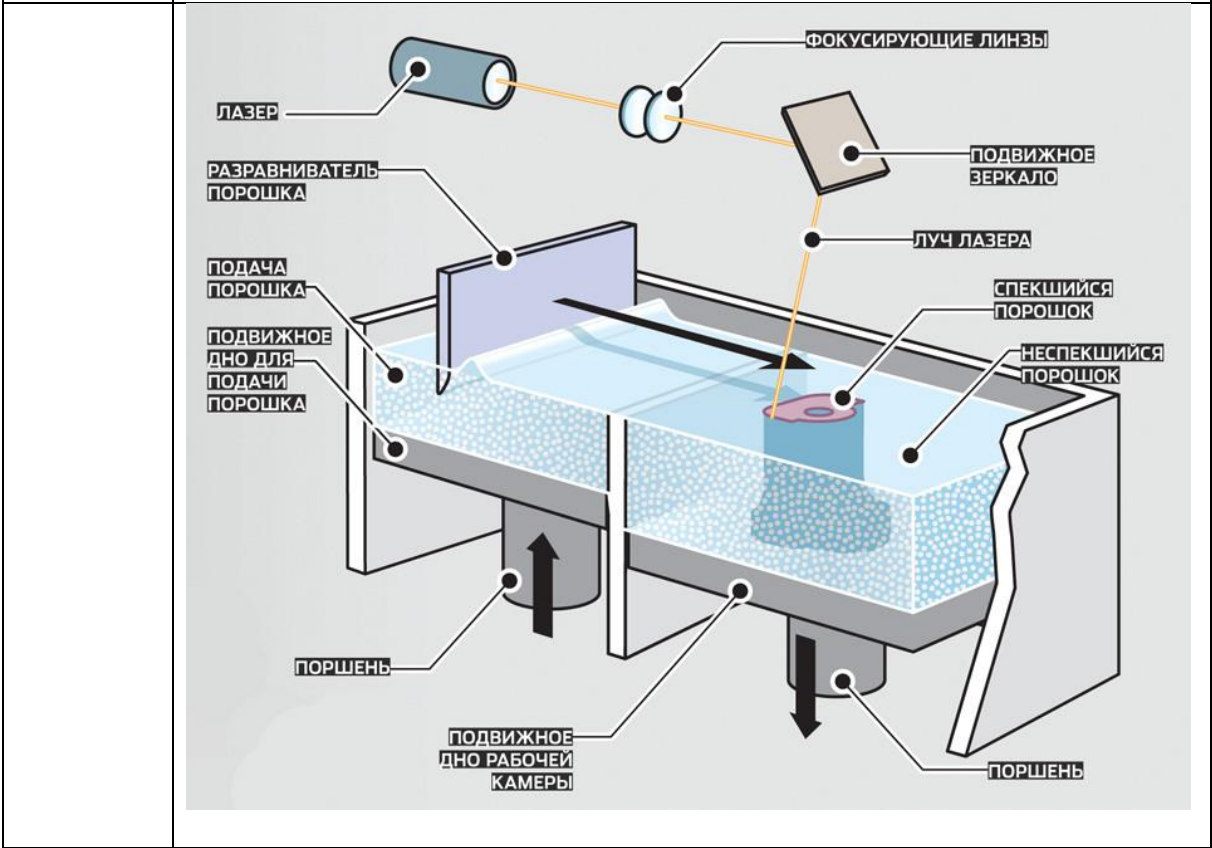
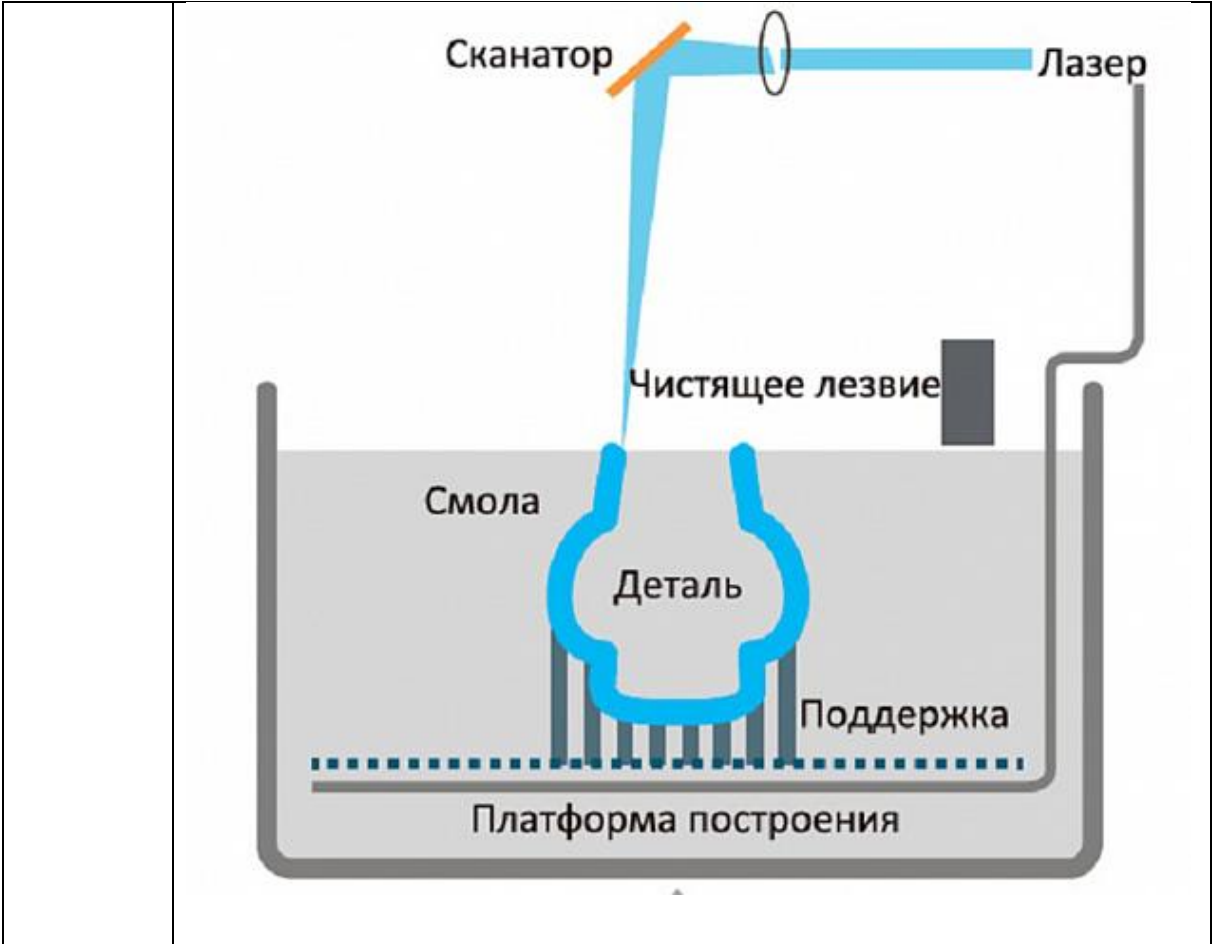
Возможные варианты:

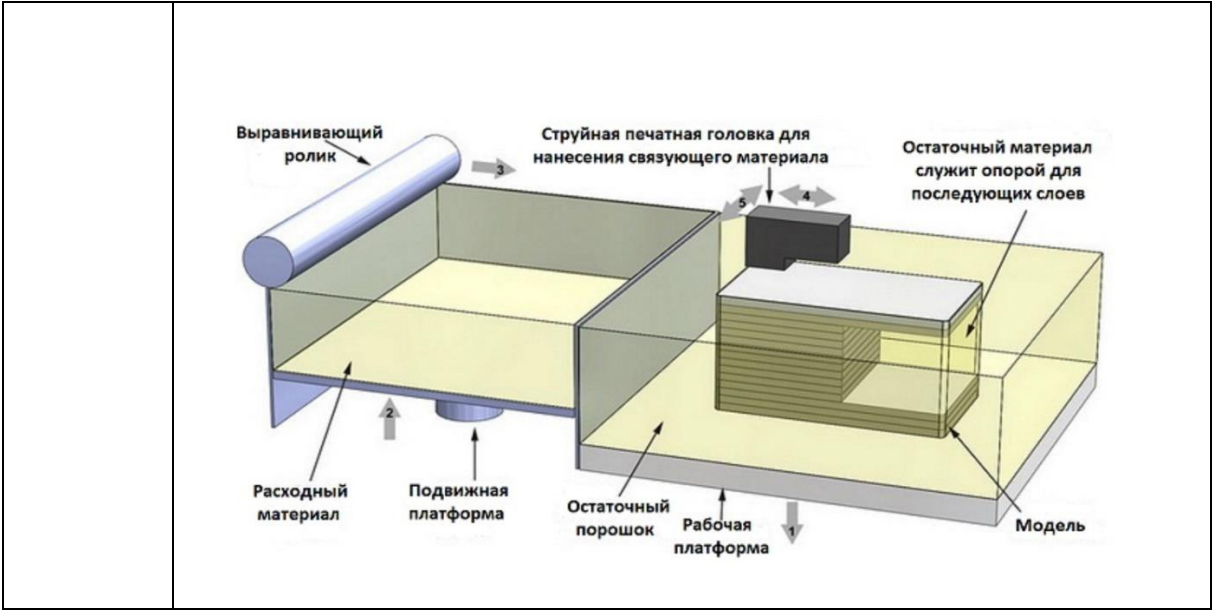
- 10 мм/с
- 15 мм/с
- 30 мм/с
- 60 мм/с
- 90 мм/с
- 120 мм/с

Задание 2. Определите вид печати по изображению и заполните таблицу:

Вид 3D-печати	Изображение
	 <p>Катушка с пластиком</p> <p>Пластиковая нить</p> <p>Подающие валики</p> <p>Радиатор</p> <p>Сопло</p> <p>Нагревательный блок</p> <p>Стол построения</p> <p>Деталь</p>
	 <p>Материал поддержки</p> <p>Материал В</p> <p>Материал А</p> <p>УФ-лампа</p> <p>Печатающая головка</p> <p>Поддерживающие структуры</p> <p>Изделие</p> <p>Платформа построения</p>

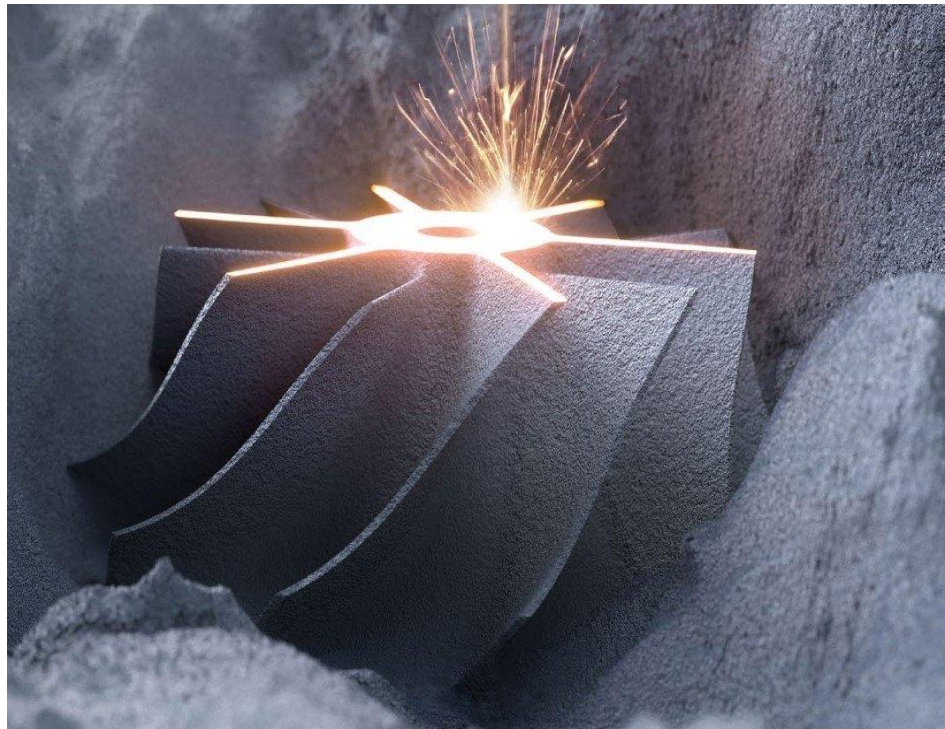






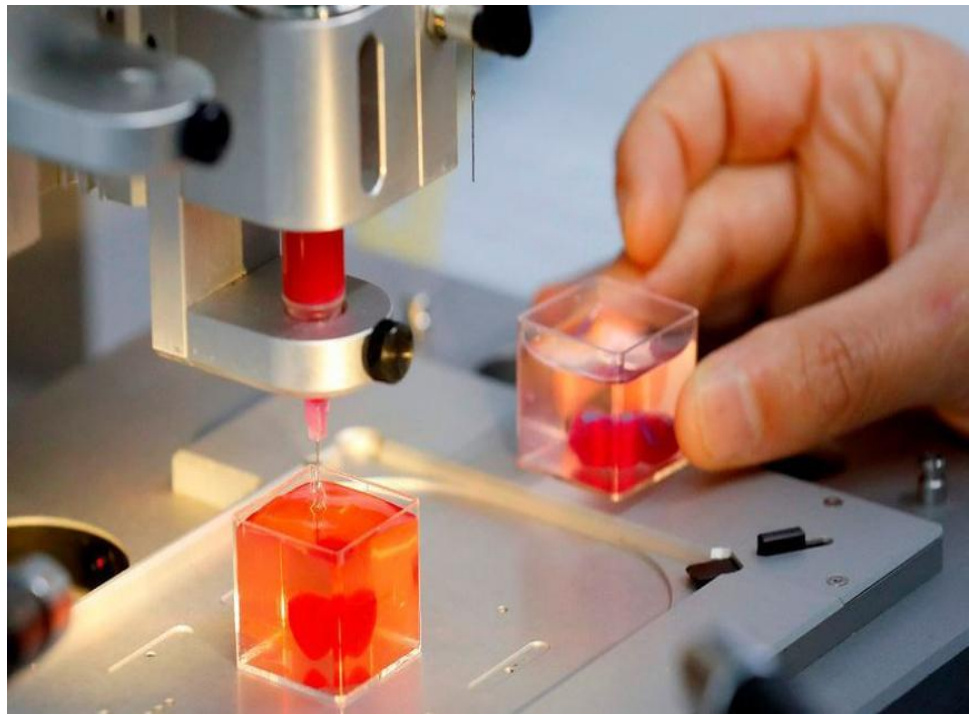
Задание 3. Определите используемую технологию печати по изображению и заполните таблицу:

Технология 3D-печати	Материал
	
	





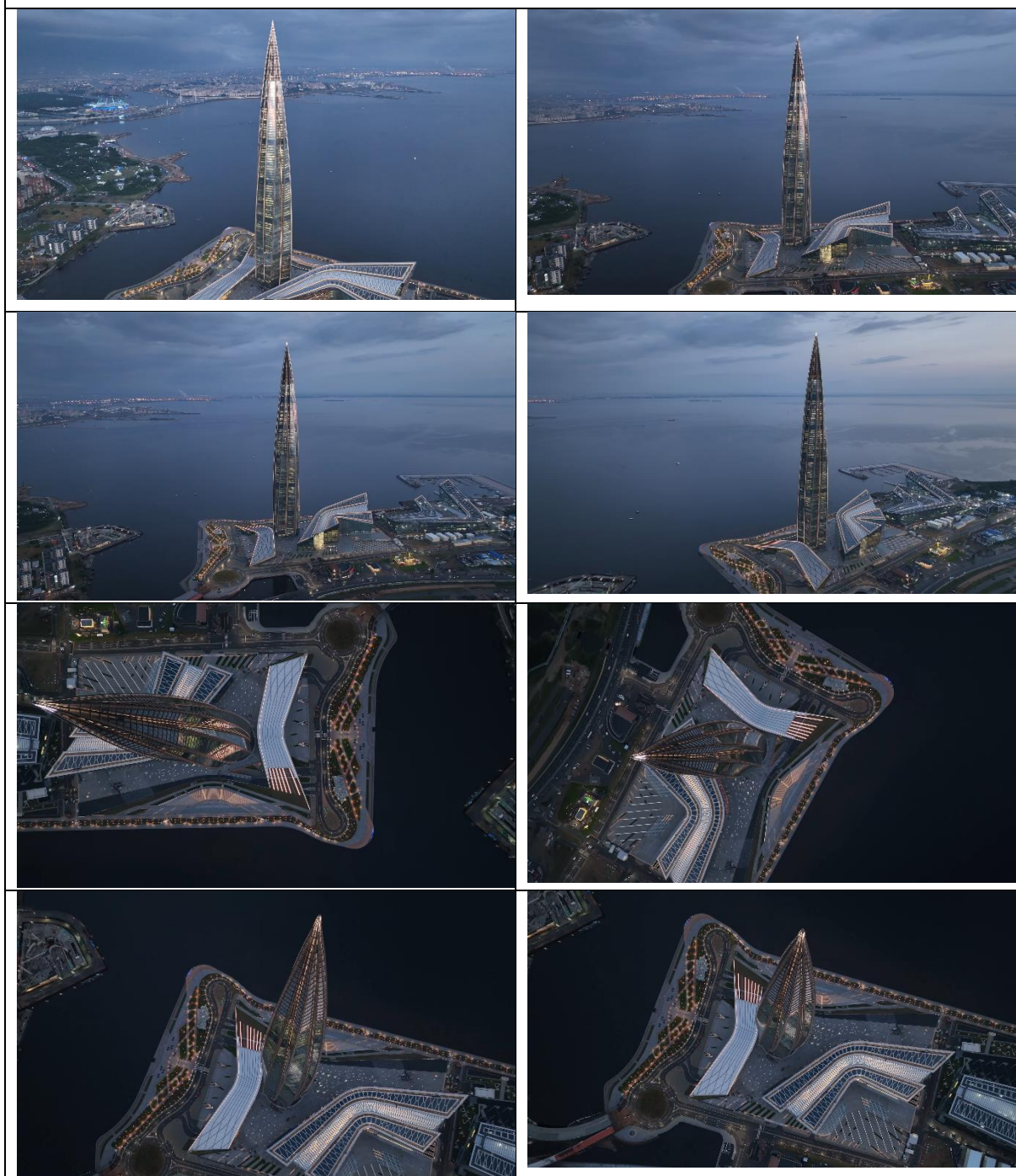


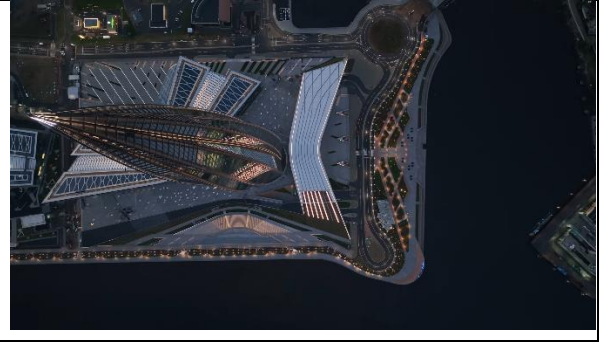




Задание 4. Рассмотреть фотографии в соответствии с вариантом и определить, возможно ли построить 3D-модель при помощи программ по фотограмметрии. Описать ошибки и недочеты изображений, нарисовать эскиз предполагаемой 3D-модели, которая построится по имеющимся фото.

Вариант 1. Лахта Центр. Санкт-Петербург





Вариант 2. Обзор яхты Sun Skipper

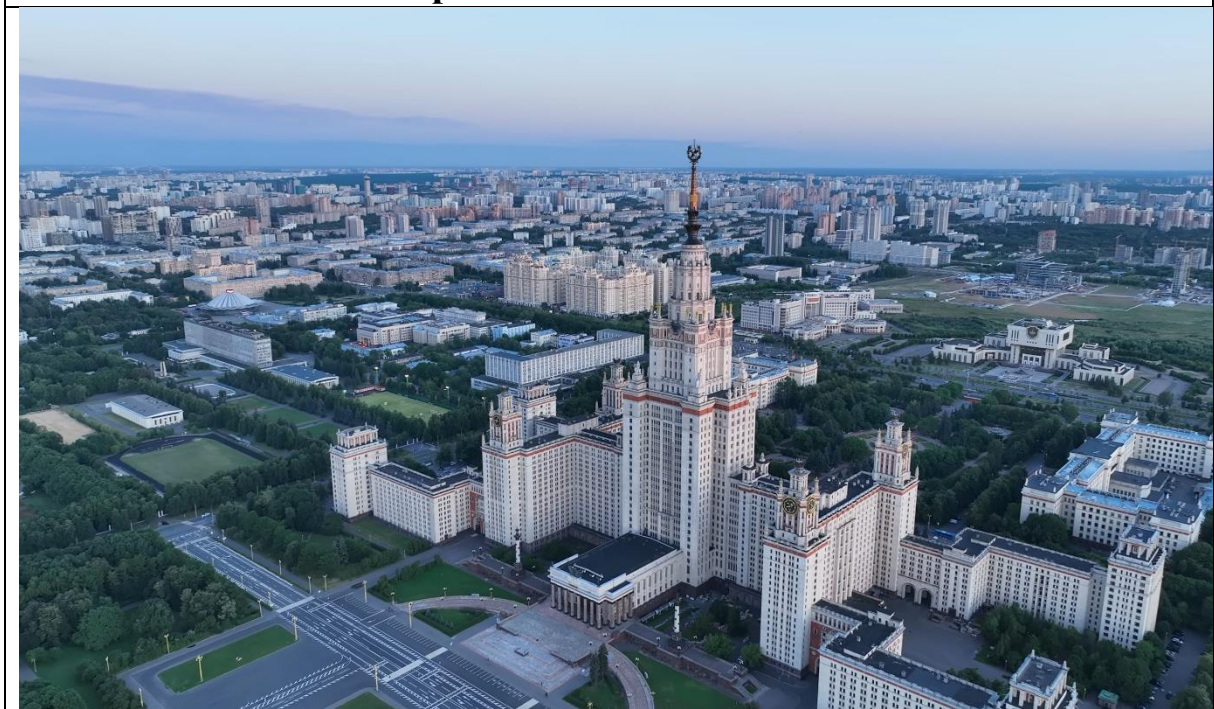


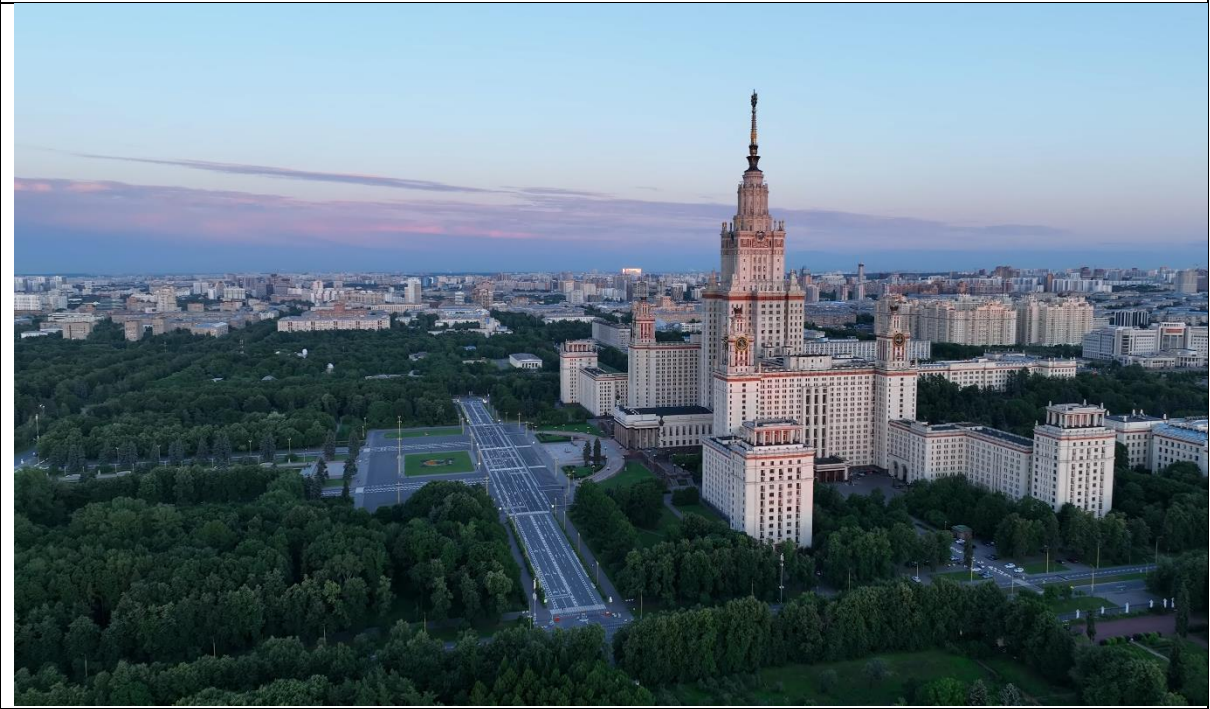


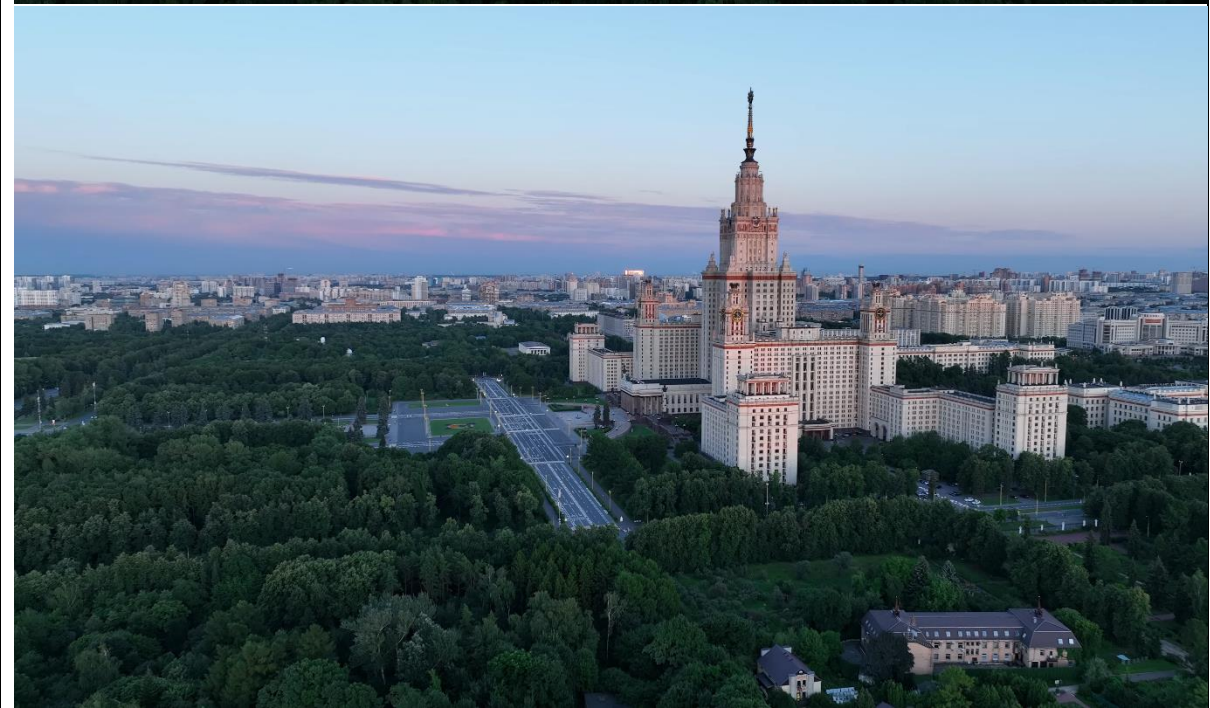
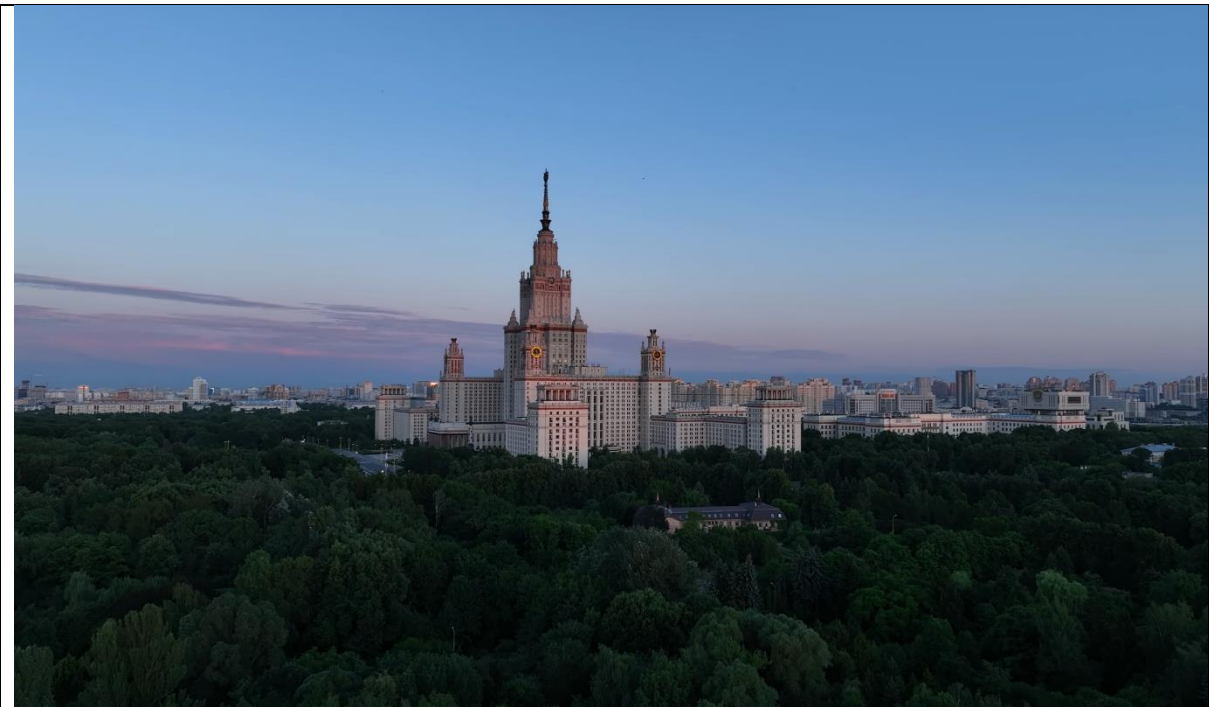




Вариант 3. МГУ Москва







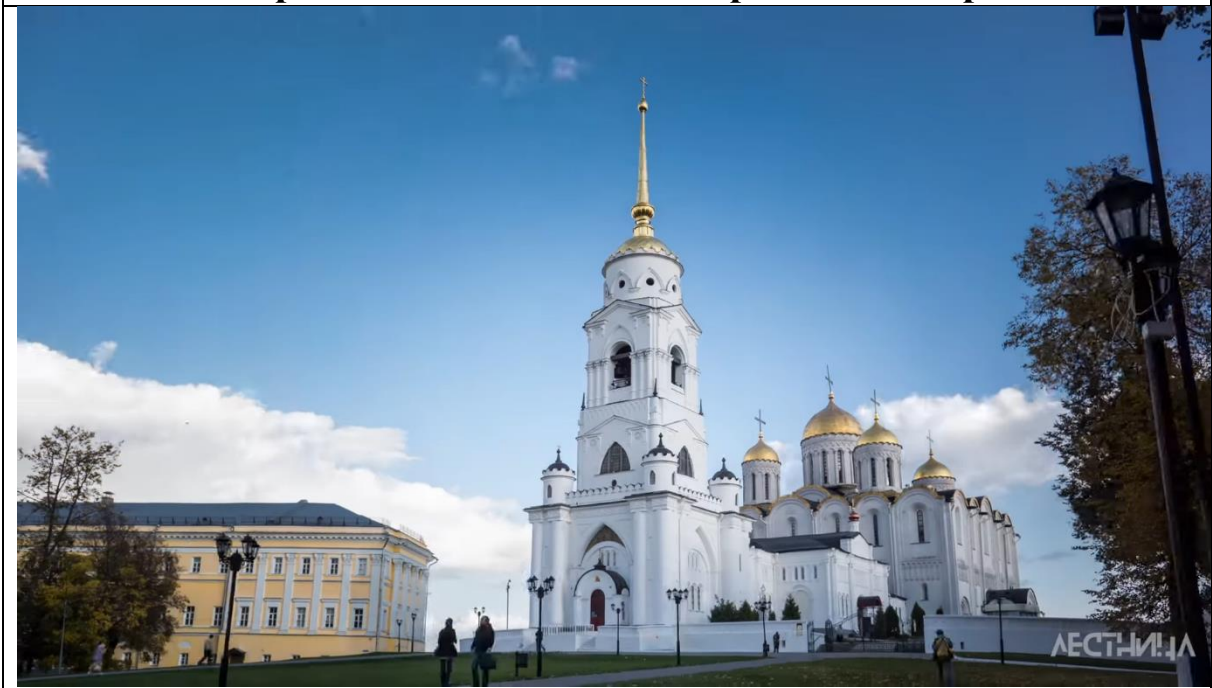


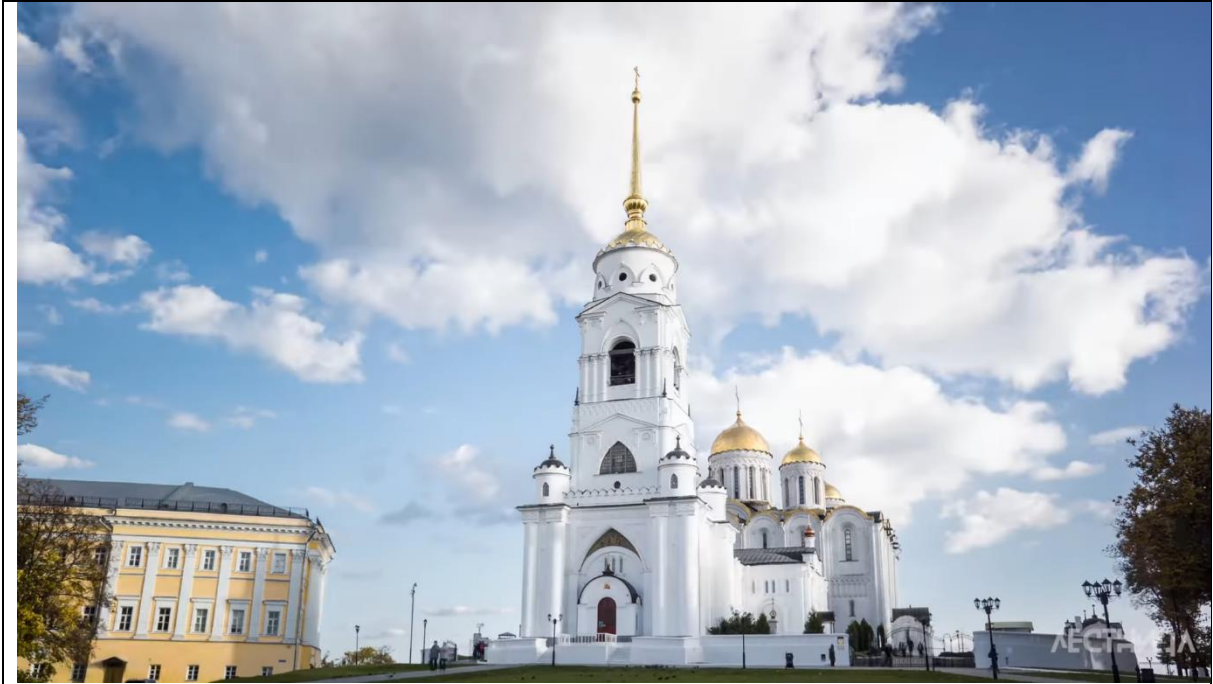
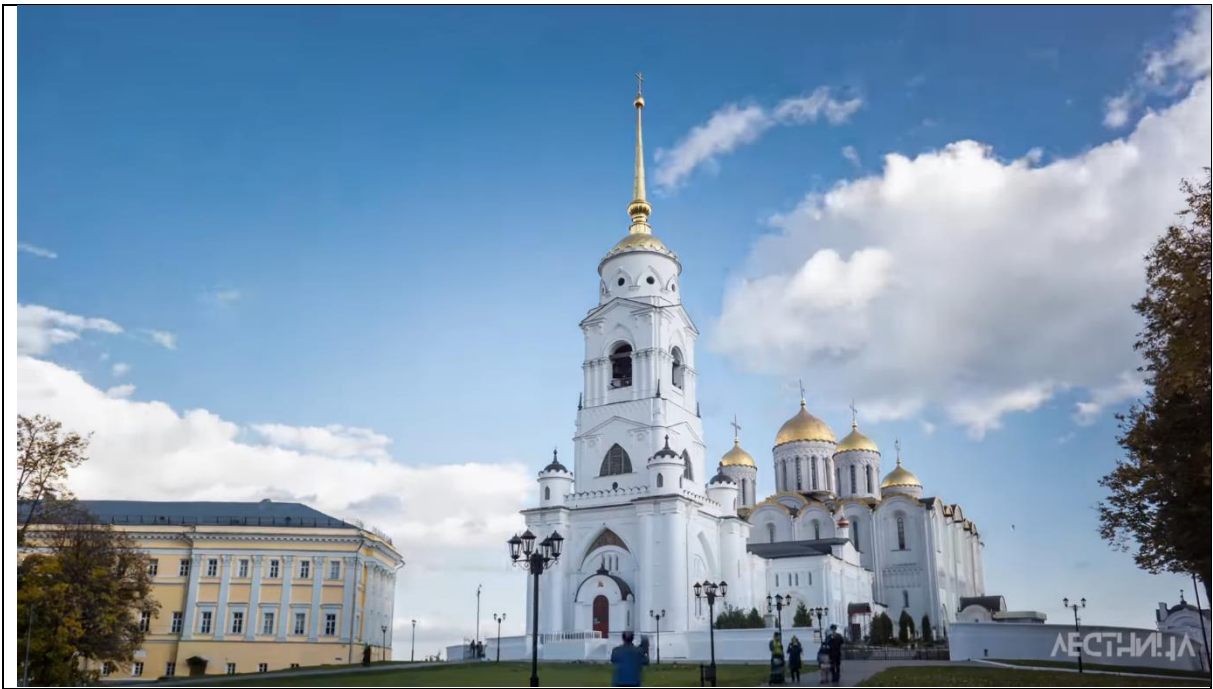


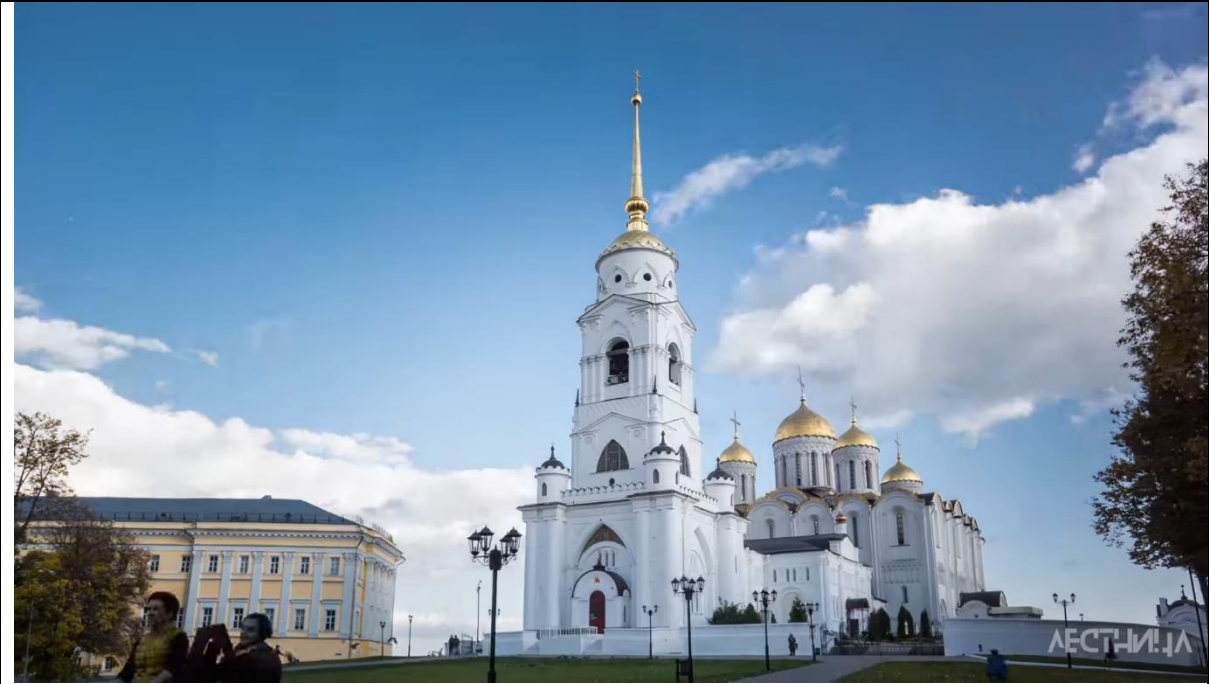
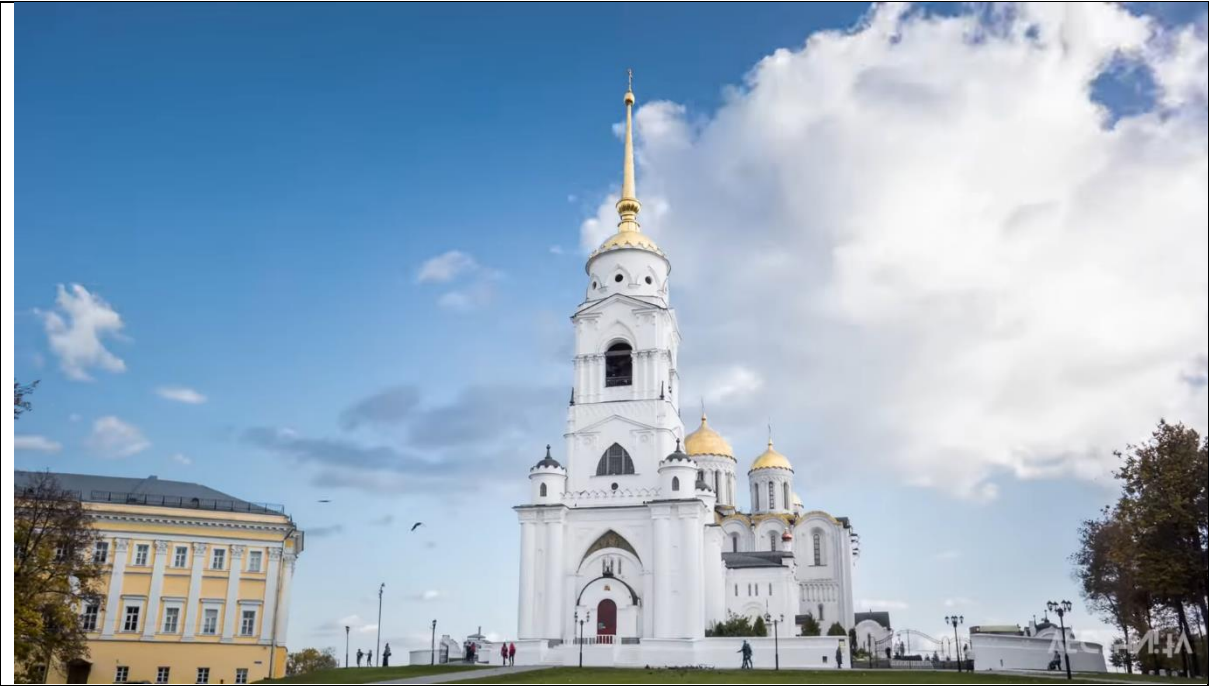


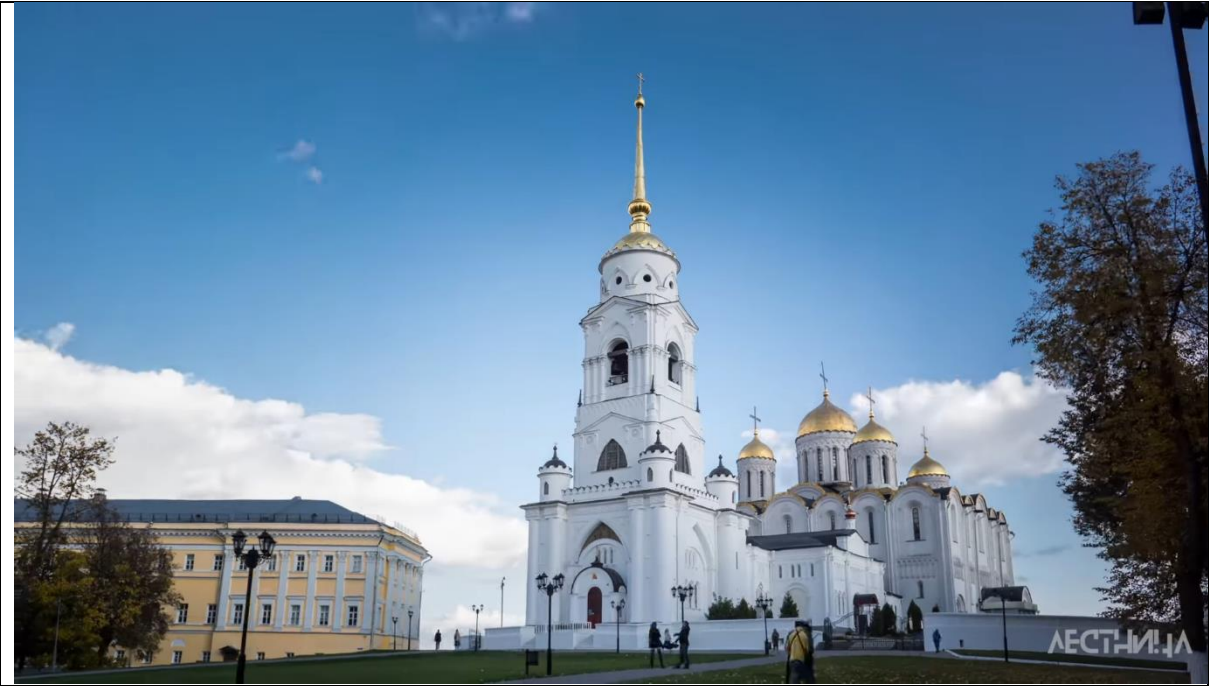


Вариант 4. Успенский Собор г. Владимир



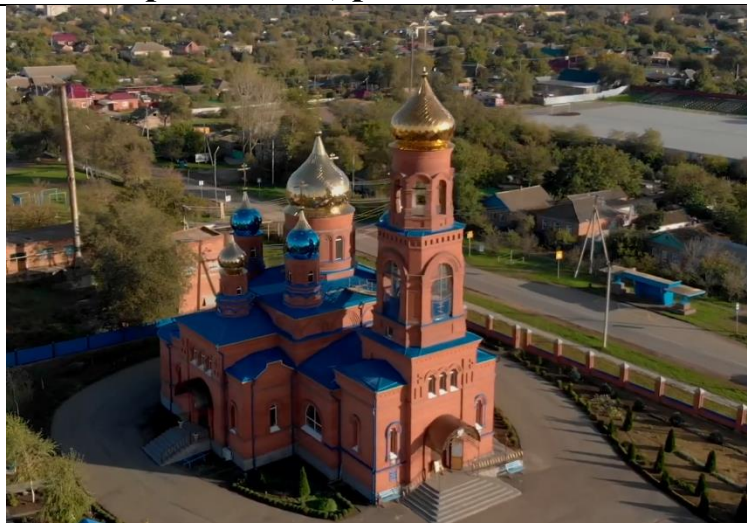


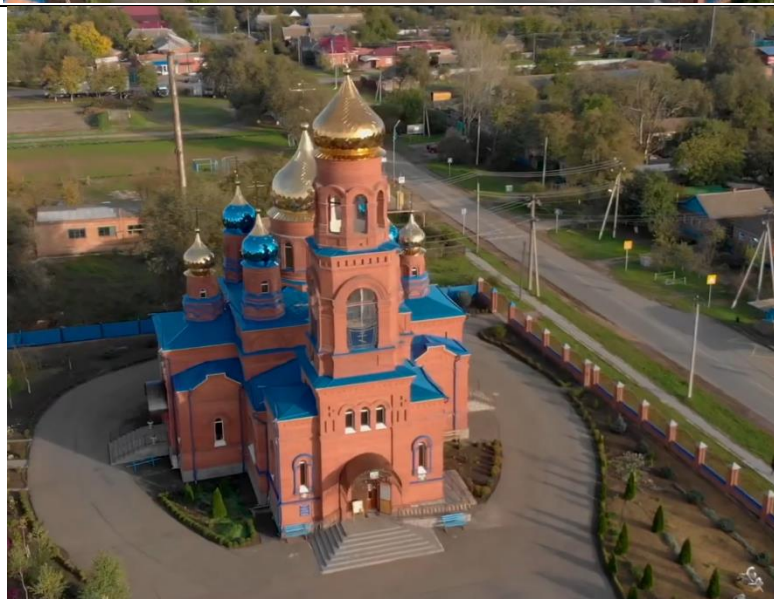
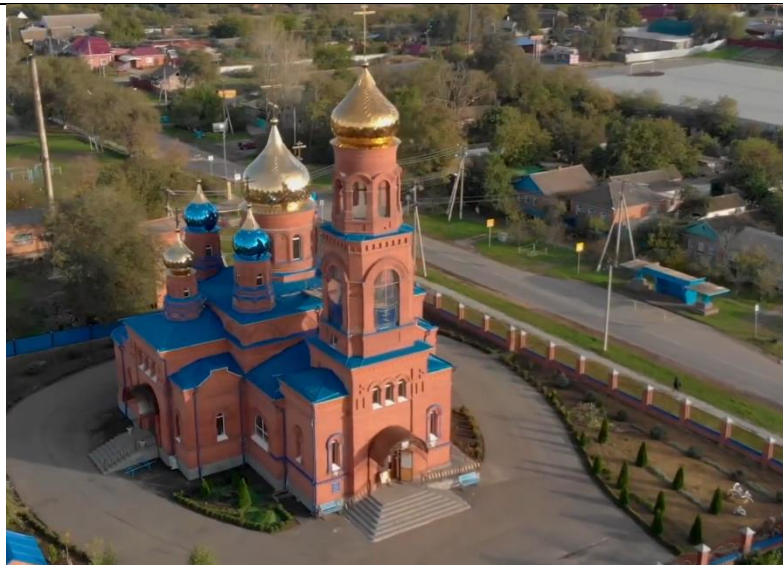




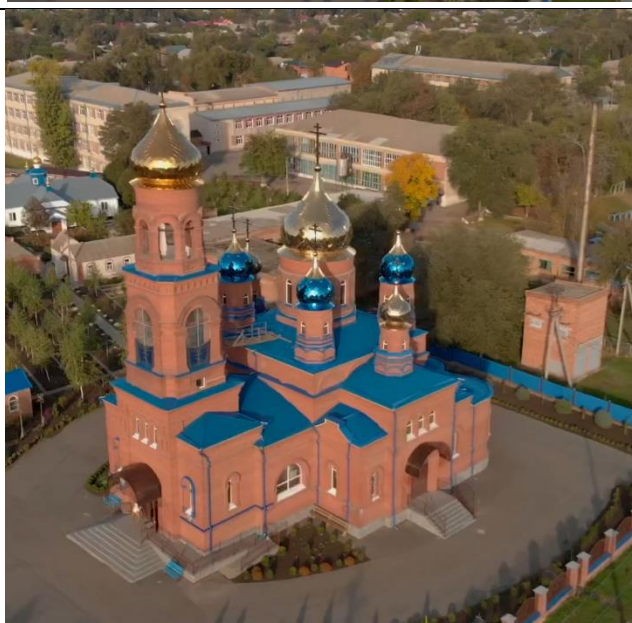


Вариант 5. Церковь г. Ипатово









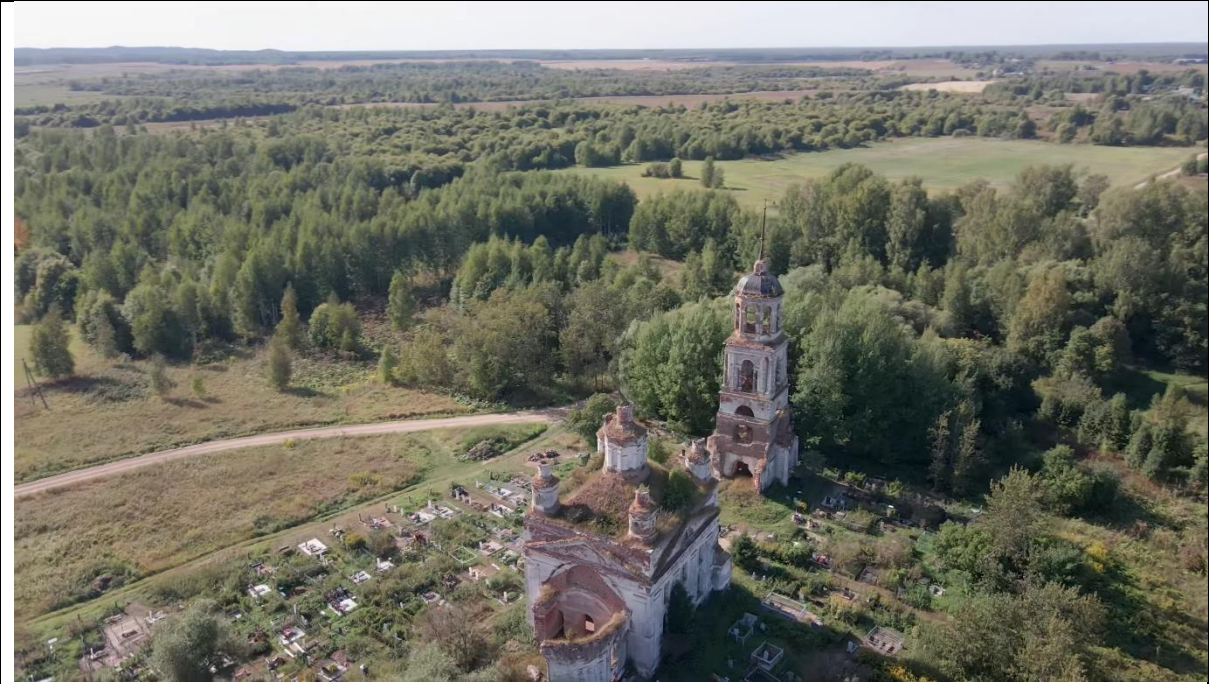
Вариант 6. Зброшеный храм села Бежицы

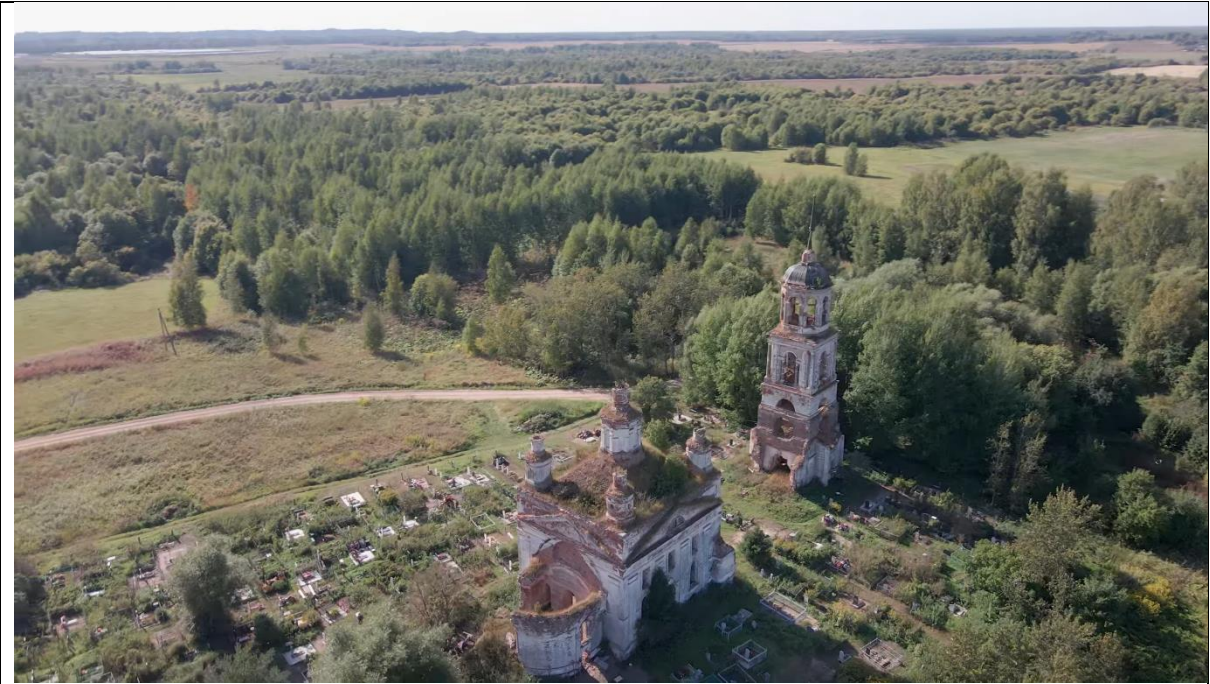














СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

3D-принтер – это периферийное устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели.

FDM (Fused deposition modeling) – Моделирование методом послойного наплавления (ММПН).

Филамент (пластиковый пруток) (от англ. filament – нить) – расходный материал, используемый для печати на 3D-принтере. Представляет собой пластмассовую нить сечением 1,75 или 3 мм.

Gcode (G-код) – условное именование языка программирования (разметки) устройств с числовым программным управлением (ЧПУ).

Адгезия (от лат. adhaesio – прилипание) в физике – сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел.

Ацетоновая (Дихлорметановая, Дихлорэтановая) баня - метод постобработки объекта печати, в котором изделие помещают в среду насыщенных паров того или иного химического соединения для плавного воздействия на модель, после чего модель меняет свои свойства. Ацетоновая баня для ABS делает деталь гладкой, глянцевой. Дихлорметановая баня для PLA превращает его в подобие флекса/резины.

Боуден-экструдер ('экструдер Боудена', Bowden extruder) - экструдер блок подачи филамента которого и сопло разнесены: холодный конец жестко закреплен на раме 3D-принтера, а горячий конец находится на подвижной печатающей головке. Филамент, при этом, подается в сопло по длинной тефлоновой трубке. Используется для печати жесткими/упругими пластиками.

Брим (кайма) - юбка вокруг объекта печати связанная с самим объектом, используется для улучшения адгезии и увлечения плоскости соприкосновения с кроватью.

Гигроскопичность (от др.-греч. ὑγρός – влажный и σκοπέω – наблюдаю) – способность некоторых веществ поглощать водяные пары из воздуха, в нашем случае способность филамента набирать влагу из окружающей среды.

Горячий конец (hot-end) – включает в себя в классическом понимании сопло, нагревательный блок, термобарьер и радиатор экструдера. Именно внутри данного блока происходит расплав филамента и его формовка наплавлением.

Горячий стол (hotbed) - то же самое что и рабочий стол только с функцией подогрева, позволяющая уменьшить коробление наплавляемой модели, за счёт плавного снижения температуры объекта. Так же улучшает адгезию с наплавляемым объектом к платформе.

Деламинация (расслоение) - термин позаимствован из биологии, по простому расщепление клетки на два слоя, в 3д печати это значит как отклеивание детали от кровати так и расщепление самого объекта печати по слоям в виду коробления объекта.

Джус (ABS сок) - раствор ABS в ацетоне с консистенцией похожей на топленое молоко, используется для улучшения адгезии объекта печати с кроватью.

Драйвер - микросхема, назначение которой преобразовывать команды контроллера шагового двигателя в импульсы подаваемые на обмотки Шагового двигателя и усиливать их.

Концевик - датчик отвечающий за нахождением каретки в габаритах конструкции принтера, другими словами ограничители по концам осей. Создаются как на кнопочных сенсорах так и на оптических или на основе датчика Хола. При срабатывании данного датчика управляющая плата принтера обнуляет положение каретки, а далее уже ведёт отсчёт положения от этой начальной точки.

Коробление - искажение формы изделия вследствие действия внутренних напряжений, вызванных неравномерным нагревом или охлаждением.

Нагреватель экструдера (тэн экструдера) – элемент преобразующий электрический ток в тепловую энергию, отвечает за нагрев камеры расплава филамента внутри нагревательного блока.

Нагревательный блок – блок состоящий из нагревателя (тэн), термистора (термопара, датчик температуры) ну и самого блока объединяющего в себе эти элементы.

Поддержка - дополнительные элементы печати не являющиеся частью модели, призванные поддержать нависающие элементы. Принтер попросту не может печатать по воздуху, ему требуется основание куда наплавлять материал.

Постобработка - обработка модели после печати, шлифовка, термообработка, химическая обработка, покраска, оклейка и т.д.

Радиатор экструдера - устройство созданное для отвода излиш-

него тепла от термобарьера, обычно за счет рубашки воздушного охлаждения, но есть и модели с жидкостным охлаждением. Рабочий стол (print bed, платформа, кровать) - площадка на которую непосредственно выплавляется материал из экструдера. Поверхность стола может быть как идеально гладкой так и перфорированной/гофрированной в обоих случаях требуется для улучшения адгезии с объектом печати.

Рафт (плот, raft) - горизонтальная сетка филамента, расположенная под моделью. Рафты призваны повышать уровень адгезии, и нивелировать неровности кровати и плохую калибровку экструдера относительно стола.

Ретракт - реверс отвод филамента из горячего конца, используется для предупреждения вытекания расплава пластика из сопла в моменты холостого перемещения экструдера над наплавляемой моделью.

Слайсер - программное обеспечение преобразующее 3д модель (обычно из STL формата) в gcode с конкретными параметрами печати и под конкретный материал и принтер.

Сопло (nozzle) – металлическая, керамическая или рубиновая шпилька с продольным отверстием, данный элемент отвечает за форму и размер экструзионного расплава на выходе из экструдера.

Сушка - процесс сушки 'сырого' пластика, печать сырым пластиком затруднительна в виду вскипания воды внутри материала и вспенивании одного при выходе из сопла. Сушку пластика можно проводить как на батарее так и в специальных термокамерах. В отдельных случаях достаточно хранить материалы вместе с силикагелем в одной упаковке.

Термистор (термопара, датчик температуры) - снимает показания температуры для управления подачей напряжения на тэн для удержания температуры в заданных промежутках. Используется как в экструдере так и в горячем столе.

Термобарьер - устройство задача которого уменьшить расстояние между двумя фазами пластика - жидкой и твёрдой, другими словами не даёт пластику плавиться выше чему нужно, обычно соединяет нагревательный блок и радиатор экструдера.

Холодный конец (cold-end) – устройство отвечающее за подачу филамента в горячий конец, в классическом понимании состоит из по-

дающей шестерни, прижимающего ролика и шагового двигателя. Зачастую используется промежуточный понижающий редуктор между подающей шестерне и шаговым двигателем, для улучшения точности подачи материала при печати тонким слоем или при печати на низкой скорости.

Шаговый электродвигатель – это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.

Экструдер прямой подачи (direct) - тип экструдера когда холодный конец расположен непосредственно перед горячим концом. Используется для печати гибкими пластиками, резиной. Основной минус данной конструкции большой вес.

Экструдер (от extrude – выдавливать) - устройство подающее пластиковый пруток в нагревательный блок, в котором под действием температуры происходит расплав и выдавливается через сопло. Тюбик с зубной пастой, клеевой пистолет, шприц с силиконовым герметиком – действуют по аналогичной схеме. В широком понимании это блок состоящий из холодного и горячего конца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня становится очевидной необходимостью в талантливых и хорошо подготовленных специалистах, которые способны решать все новые возникающие задачи в быстро меняющемся информационном пространстве. Важнейшая задача современной образовательной системы – подготовка таких кадров. Особую роль в этом процессе играет российское инженерное образование. Многие эксперты отмечают, что важно начинать обучение инженерным навыкам еще в школе. Использование современных информационных технологий, таких как 3D-моделирование, может предоставить дополнительные возможности для профессиональной ориентации школьников и повышения их готовности к выбору технических профессий.

Освоение 3D-технологий – новый мощный инструмент в образовании, развивающий творческое мышление и самостоятельную работу обучающегося. Эти технологии позволяют школьникам и студентам воплощать свои идеи в конструкторской и дизайнерской сфере, а также способствуют развитию междисциплинарных связей и открывают широкие возможности для проектного обучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хрусталева, Н. В. Применение аддитивных технологий в проектной деятельности студентов педагогических вузов / Н. В. Хрусталева, А. Н. Логинов, Д. Н. Логинова // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2022. – Т. 7. – № 8. – С. 871-877. – DOI 10.30853/ped20220133. – EDN KGIQPP.

2. Кунина, М. В. Использование 3D-моделирования в обучении как метод активизации творческого потенциала учащихся / М. В. Кунина, Н. В. Хрусталева // Development of the creative potential of a person and society : Materials of the VII international scientific conference, Prague, 17–18 января 2019 года. – Prague: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2019. – С. 12-16. – EDN YWFKST.

3. Бугрова, Е. П. Бумажное моделирование: практика развития творческой деятельности у школьников в процессе обучения технологии посредством работы с бумагой / Е. П. Бугрова, Н. В. Хрусталева // Лучшая студенческая статья 2019 : Сборник статей XX Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 30 марта 2019 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. – С. 215-220. – EDN ZBMGQP.

4. Хрусталева, Н. В. Методика проведения внеурочных занятий по технологии с использованием 3D-технологий / Н. В. Хрусталева // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых : Сборник материалов заочных научно-практических конференций, Владимир, 15–30 апреля 2020 года. – Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2020. – С. 2763-2770. – EDN UUEFCO.

5. Хрусталева, Н. В. Программно-методическое обеспечение кружка по технологии «мир аддитивных и лазерных технологий» / Н. В. Хрусталева // Лучшая студенческая статья 2020 : Сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса. В 5-ти частях, Петрозаводск, 29 ноября 2020 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2020. – С. 168-175. – EDN OXNEMV.

6. Хрусталева, Н. В. Проектная деятельность с использованием 3D-технологий / Н. В. Хрусталева // В мире студенческой науки : сборник статей Международного научно-исследовательского кон-

курса, Пенза, 10 мая 2021 года. – Пенза: Общество с ограниченной ответственностью "Наука и Просвещение", 2021. – С. 138-140. – EDN ZKADSJ.

7. Хрусталева, Н. В. Совершенствование профориентационной работы школьников с применением 3D-технологий / Н. В. Хрусталева // Молодой педагог : сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 30 мая 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 6-8. – EDN IVOOYL.

8. Петелин Александр SketchUp - просто. 3D! Учебник-справочник Google SketchUp Pro v.8 Книга 1. Практик, 2011 – 154 с.

9. Art&Shock: [url]:<https://artandshock-school.com/3dblog/kak-bystro-nastroit-interfeys-v-3ds-max-instruktsiya-dlya-novichkov/>

10. Петров Е.Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБУЧЕНИИ // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум».

11. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. - М.: УПП "Репрография" МИИГАиК, 2008. - 160 с.

12. Баженов С.Л., Берлин А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы: Научное издание / Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 352 с.

13. Основы технологии переработки пластмасс. Учебник для вузов/ С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. . – М.: Химия, 2004. – 600

14. Производство изделий из полимерных материалов. Учеб. пособие/ Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д. – СПб.: Профессия, 2004.- 464с.

15. Кербер М.Л., Буканов А.М., Вольфсон С.И., Горбунова И.Ю., Кандырин Л.Б., Сирота А.Г., Шерышев М.А. Физические и химические процессы при переработке полимеров. М.: Научные основы и технологии. 2013.-402с.

16. Каблов, В.Ф. Компьютерный дизайн полимерных материалов – структура и свойства // Проблемы шин, РТИ и эластомерных композитов: докл. 2014 г. / ООО ВЕСКОМ, «НИИШП». - М., 2014. - С. 41-50.

17. Каблов, В.Ф., Бойцов, Е.П., Синьков, А.В., Благинин, С.И. Использование 3D-печати для создания новых полимерных материалов с заданной структурой // Каучук и резина – 2015: матер. (тез.) докл.

V всерос. конф. (г. Москва, 22-23 апр. 2015 г.) / ООО «НИИЭМИ», - Москва, 2015. - С. 42-43 (рус.); С. 87 (англ.).

18. Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. М. : Научные основы и технологии, 2011.-382с

Интернет-ресурс

Обзор компактного 3D-сканера Shining 3D Einscan SE <https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/505972/> (дата обращения: 16.11.23)

Учебное электронное издание

ХРУСТАЛЕВА Надежда Владимировна

ОСОБЕННОСТИ 3D-ПЕЧАТИ И ФОТОГРАММЕТРИИ

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10;
Adobe Reader; дисковод CD-ROM.

Тираж 25 экз.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Изд-во ВлГУ
rio.vlgu@yandex.ru

Педагогический институт
кафедра технологического и экономического образования
ttd.tef@vlsu.ru