Содержание

Введение

1. Общая часть

1.1. Описание процесса…

1.2. Материалы, используемые в технологии…

1.3. Преимущества и недостатки технологии…

1.4. Примеры продукции (изделий), изготовленных по технологии…

1.5. Оборудование, используемое в технологии…

1.6. Постобработка при использовании технологии…

2. Технологическая часть: применение технологии FDM

2.1 Описание изделия, которое необходимо восстановить

2.2 Процесс изготовления

2.2.1 Сканирование или ручной обмер

2.2.2 Моделирование

2.2.3 Выбор материала

2.2.4 Настройка оборудования, процесс печати

2.2.5 Постобработка

2.2.6 Практическое применение изделия

2.3 Техника безопасности и охрана труда при изготовлении изделия

Заключение

Список использованных источников

Список нормативных документов

Пояснительная записка

Графическая часть

Введение

Современное производство переживает период активного внедрения инновационных технологий, среди которых одно из ведущих мест занимают аддитивные технологии. Их использование позволяет создавать изделия любой сложности, в том числе сложные архитектурные формы, механизмы и функциональные модели, которые ранее было невозможно реализовать традиционными способами.

Актуальность темы заключается в том, что технологии 3D-печати становятся неотъемлемой частью образовательного процесса и инженерной практики. Создание миниатюрной модели здания колледжа позволяет не только продемонстрировать возможности аддитивных технологий в архитектурном моделировании, но и развить навыки работы с программным обеспечением для 3D-моделирования, изучить особенности эксплуатации оборудования и выбора материалов.

Задачи проекта:

изучить теоретические основы технологии FDM;

рассмотреть применяемые материалы и оборудование для аддитивного производства;

выполнить 3D-моделирование здания колледжа по фото- и обмерным данным;

произвести изготовление модели на 3D-принтере Anycubic Kobra 3 Combo;

провести постобработку и анализ готового изделия;

оценить точность, качество и практическую значимость созданной модели.

Объект исследования — процесс создания изделий методом послойного наплавления.

Предмет исследования — миниатюрная архитектурная модель здания колледжа, изготовленная с применением технологии FDM.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученной модели в учебных целях, при оформлении выставок, а также как демонстрационного пособия по дисциплинам, связанным с 3D-печатью и инженерным проектированием.

1. Общая часть

Технология аддитивного производства FDM (Экструзия материала)

Аддитивное производство (АП) коренным образом изменило подходы к прототипированию, мелкосерийному производству и созданию кастомизированных изделий. Среди множества технологий АП, классифицированных по ISO/ASTM 52900, метод экструзии материала (Material Extrusion) является одним из самых распространенных и доступных. Наиболее известная реализация этого метода — технология FDM (Fused Deposition Modeling), запатентованная С. Скоттом Крампом в 1989 году, или ее аналог FFF (Fused Filament Fabrication).

Данная глава посвящена подробному рассмотрению технологии FDM, ее ключевых особенностей, материалов, оборудования и процессов постобработки.

1.1. Описание процесса

Технология FDM (моделирование методом послойного наплавления) относится к процессам аддитивного производства, при которых изделие создается путем выборочного осаждения, расплавленного материала. Процесс строится на послойной укладке термопластичной нити (филамента).

Процесс изготовления изделия по технологии FDM можно разделить на следующие этапы:

1. Подготовка модели: Цифровая 3D-модель, созданная в системе автоматизированного проектирования (САПР), импортируется в специальное программное обеспечение — «слайсер».
2. Слайсинг: Слайсер «нарезает» 3D-модель на сотни или тысячи горизонтальных слоев. На основе этих слоев программа генерирует управляющий G-код — набор инструкций для 3D-принтера, описывающий траекторию движения печатающей головки, скорость подачи материала и температурные режимы.
3. Печать: G-код загружается в 3D-принтер. Процесс печати начинается с подачи филамента с катушки в печатающую головку (экструдер). Внутри экструдера находится нагревательный элемент (хотэнд), который расплавляет филамент до полужидкого состояния.
4. Построение: Расплавленный полимер выдавливается через сопло малого диаметра (обычно 0.2–0.8 мм) и наносится на рабочую платформу (стол) по траектории, заданной G-кодом для первого слоя.
5. Послойное формирование: После завершения первого слоя рабочая платформа опускается на высоту одного слоя (либо печатающая головка поднимается) и процесс повторяется. Каждый последующий слой наплавляется на предыдущий, спекаясь с ним. Этот цикл продолжается до тех пор, пока изделие не будет полностью сформировано.

Для печати моделей со сложной геометрией, имеющих нависающие элементы, используются временные вспомогательные структуры — «поддержки». Они также печатаются из основного или специального растворимого материала и удаляются на этапе постобработки.

1.2. Материалы, используемые в технологии

Технология FDM (экструзия материала) отличается широчайшим спектром доступных расходных материалов, что позволяет подбирать полимер под конкретные технические, эксплуатационные и декоративные задачи. В качестве сырья используются термопластичные полимеры в форме нитей (филаментов) заданного диаметра (наиболее распространены 1.75 мм и 2.85 мм), намотанных на катушки.

Выбор материала является одним из ключевых этапов технологического процесса. Основные материалы можно разделить на стандартные (бытовые), инженерные (конструкционные) и композитные.

Стандартные (бытовые) материалы

1. PLA (Полилактид)

Описание: Самый популярный и простой в использовании материал. Является биоразлагаемым и нетоксичным полимером, производимым из растительного сырья (например, кукурузного крахмала или сахарного тростника).

Свойства: Обладает высокой жесткостью, но относительно хрупкий. Дает очень низкую усадку при охлаждении, что позволяет печатать модели с высокой геометрической точностью без деформаций (коробления). Термостойкость низкая — деформация начинается уже при 60-65 °C.

Особенности печати: Не требует обязательного подогрева рабочего стола (хотя он рекомендуется, 50-60 °C) и наличия закрытого корпуса. Печатается при относительно низких температурах экструдера (190–220 °C). При печати издает легкий сладковатый запах.

Применение: Идеален для создания макетов (включая архитектурные), декоративных объектов, прототипов для проверки эргономики и нефункциональных деталей.

1. ABS (Акрилонитрилбутадиенстирол)

Описание: Промышленный термопласт, известный своей высокой ударопрочностью (из него делают, например, кубики LEGO и детали салонов автомобилей).

Свойства: Значительно превосходит PLA по прочности, износостойкости и термостойкости (выдерживает до 100 °C). Однако подвержен сильной термической усадке, что усложняет процесс печати.

Особенности печати: Требует обязательного наличия подогреваемого стола (90–110 °C) для обеспечения адгезии и закрытого корпуса принтера. Закрытая камера предотвращает резкие перепады температур, которые приводят к короблению (delamination) и растрескиванию модели. При плавлении выделяет характерный запах стирола, поэтому печать требует хорошей вентиляции.

Применение: Функциональные прототипы, корпуса приборов, детали механизмов, подверженные нагрузкам и нагреву. Легко поддается постобработке (шлифовка, покраска, химическое сглаживание парами ацетона).

1. PETG (Полиэтилентерефталат-гликоль)

Описание: Модифицированная версия PET (из которого делают пластиковые бутылки). Является «золотой серединой» между PLA и ABS.

Свойства: Сочетает простоту печати, близкую к PLA (низкая усадка), с прочностью и термостойкостью, близкой к ABS. Обладает высокой химической стойкостью и в натуральном виде допускается к контакту с пищевыми продуктами.

Особенности печати: Требует подогреваемого стола (70–80 °C). Печатается при температурах 220–250 °C. Склонен к образованию «паутины» (stringing), что требует точной настройки параметров ретракта в слайсере.

Применение: Функциональные детали, механические компоненты, тара, защитные экраны, прототипы, требующие прочности и прозрачности.

Инженерные и композитные материалы

1. Гибкие материалы (TPU, TPE)

Термопластичные эластомеры (TPE) и полиуретаны (TPU) — это резиноподобные материалы. Они используются для создания гибких, износостойких и амортизирующих изделий: уплотнителей, чехлов, подошв, виброгасителей. Печать ими сложнее и требует специальных настроек принтера (часто — экструдера с прямой подачей).

1. Композитные материалы

Это стандартные полимеры (PLA, ABS, Nylon) с добавлением армирующих наполнителей.

Углеродное волокно (Carbon Fiber, CF): Резко повышает жесткость, прочность и термостойкость базового пластика. Применяется для создания легких и прочных конструкционных деталей.

Стекловолокно (Glass Fiber, GF): Также увеличивает прочность и ударостойкость.

Древесные/Металлические наполнители: Филаменты с добавлением древесной пыли (Wood-fill) или металлического порошка (Bronze-fill, Copper-fill). Используются в основном для декоративных целей, придавая изделию вид дерева или металла.

Отечественные производители материалов

В рамках развития аддитивных технологий в отечественном производстве сформировался конкурентный рынок российских производителей филаментов. Наличие отечественных поставщиков является важным фактором для стабильной эксплуатации оборудования. К ведущим российским компаниям относятся:

REC (г. Москва): Один из крупнейших производителей, предлагающий широчайший ассортимент материалов — от стандартных PLA/ABS до инженерных (Nylon, PC) и композитных (REC Carbon, REC Cast для выжигаемых моделей).

Filamentarno! (г. Томск): Компания, известная высоким качеством и широкой палитрой цветов, а также уникальными разработками, такими как инженерные пластики серий Prototyper и Total.

BestFilament (г. Москва): Предлагает качественные и доступные материалы для массового сегмента, включая PLA, ABS, PETG.

PICASO 3D (г. Москва): Производитель 3D-принтеров, который также выпускает собственную линейку сертифицированных филаментов, оптимизированных для их оборудования.

Наличие сильных отечественных игроков обеспечивает снижение зависимости от импорта, предлагает конкурентные цены и способствует развитию профессиональных сообществ, таких как 3D TODAY, где происходит активный обмен опытом по использованию данных материалов.

1.3. Преимущества и недостатки технологии

Технология послойного наплавления (FDM, или Fused Deposition Modeling) является наиболее распространенной и доступной формой аддитивного производства. Понимание ее сильных и слабых сторон критически важно для эффективной организации технологического процесса создания миниатюрной модели здания колледжа.

Преимущества технологии FDM

Основным и наиболее значимым преимуществом FDM является низкая себестоимость. Это касается как самого оборудования (доступность настольных 3D-принтеров), так и расходных материалов (филаментов), что делает FDM идеальным выбором для быстрого прототипирования и образовательных целей.

Во-вторых, FDM-принтеры обладают широким выбором материалов. Используя термопластичные филаменты, можно выбирать материал в зависимости от требуемых свойств: PLA для простоты печати и архитектурного макетирования, ABS для прочности и термостойкости, TPU для создания гибких элементов. Эта универсальность позволяет адаптировать производство под конкретные задачи проекта.

В-третьих, большинство FDM-принтеров имеют большую область построения по сравнению с другими настольными технологиями, такими как SLA. Это позволяет печатать относительно крупногабаритные изделия или множество мелких деталей за один цикл. Для изготовления макета здания это означает возможность минимизировать количество сборочных частей.

Наконец, сам процесс FDM является относительно простым и безопасным в освоении и эксплуатации. Материалы, такие как PLA, не требуют создания специальных условий (например, вакуума или защитной атмосферы), что упрощает его внедрение в учебных лабораториях.

Недостатки и ограничения технологии FDM

Несмотря на многочисленные преимущества, FDM имеет ряд существенных ограничений, влияющих на качество итогового изделия.

Главный недостаток – анизотропия (различия в свойствах по осям). Изделие имеет слоистую структуру, и связь между слоями всегда слабее, чем прочность материала в пределах одного слоя. Это приводит к низкой прочности на расслоение (перпендикулярно оси Z). При создании модели здания необходимо правильно ориентировать детали, чтобы важные архитектурные элементы не разрушались под воздействием механических нагрузок.

Второй недостаток — низкая точность и детализация по сравнению с фотополимерными технологиями (SLA, DLP). FDM-принтеры ограничены диаметром сопла (обычно 0.4 мм), что не позволяет воспроизводить очень тонкие элементы, такие как мелкая оконная рама или декоративная резьба.

Третий, и наиболее очевидный, недостаток — видимость слоев на поверхности готового изделия. Этот «эффект лестницы» требует обязательной и часто трудоемкой постобработки (шлифовка, грунтовка, покраска) для достижения гладкой и реалистичной поверхности, соответствующей требованиям архитектурного макета.

Наконец, при печати крупными материалами (например, ABS), возникает риск деформации (варпинга). Это происходит из-за усадки материала при неравномерном охлаждении, что приводит к отрыву углов детали от стола. Для архитектурного макета, где критически важна точность геометрии и прямые углы, это требует использования принтеров с закрытой камерой и подогреваемым столом. Кроме того, для печати нависающих элементов требуются опорные структуры, удаление которых оставляет следы и увеличивает время на постобработку.

В целом, для целей курсового проекта FDM является оптимальным выбором, поскольку ее недостатки могут быть минимизированы правильным подбором материала (PLA) и тщательной постобработкой, а преимущества (доступность и скорость) позволяют реализовать проект в условиях ограниченного времени и ресурсов.

1.4. Примеры продукции (изделий), изготовленных по технологии

Технология FDM, благодаря своей универсальности и доступности, применяется в широком спектре отраслей, охватывая как крупное промышленное производство, так и персональное использование. Возможность быстрого и недорогого изготовления деталей из различных термопластиков позволяет FDM-печати решать разнообразные задачи: от создания визуальных прототипов до производства функциональных конечных деталей.

Основные области применения FDM

1. Архитектурное макетирование и дизайн

Это наиболее актуальная область применения для данного курсового проекта. FDM-печать позволяет быстро создавать концептуальные и демонстрационные модели зданий, градостроительных комплексов и интерьеров.

* Преимущество: Возможность печатать крупномасштабные макеты (здания, кварталы) по частям и собирать их, а также относительно низкая стоимость расходных материалов.
* Примеры: Миниатюрные модели зданий колледжа, жилых комплексов, исторические реконструкции архитектурных памятников, проверка дизайн-концепции фасадов.

2. Промышленное прототипирование и инжиниринг

FDM идеально подходит для создания функциональных прототипов на ранних стадиях проектирования. Инженеры используют FDM для:

* Проверка формы и собираемости (Fit and Function): Печать деталей для проверки совместимости, эргономики и работы механических узлов до запуска дорогостоящего серийного производства.
* Изготовление оснастки и инструментов: Быстрое создание вспомогательных приспособлений, монтажных шаблонов, кондукторов и зажимных устройств (jigs and fixtures), которые используются непосредственно на сборочных линиях. Это значительно сокращает время на подготовку производства.
* Корпуса и компоненты: Печать корпусов для электроники, вентиляционных каналов и защитных кожухов, особенно при малых сериях.

3. Образование и научные исследования

В учебных заведениях FDM-принтеры являются ключевым инструментом для практической подготовки специалистов и проведения исследований:

* Наглядные пособия: Изготовление сложных геометрических фигур, моделей молекул, разрезов двигателей или механизмов для лучшего усвоения материала.
* Студенческие проекты: Использование 3D-печати в качестве инструмента для реализации проектной деятельности, включая робототехнику и инженерию.

4. Медицина и протезирование

Хотя для имплантатов часто используются более точные технологии, FDM применяется для:

* Ортопедия и протезирование: Создание функциональных, недорогих протезов конечностей (например, механических рук) для обучения или временного использования, а также вспомогательных ортопедических изделий.
* Моделирование перед операцией: Печать анатомически точных моделей органов или костей на основе данных КТ или МРТ для планирования сложных хирургических вмешательств.

5. Искусство, хобби и кастомизация

FDM широко используется в сфере персонального творчества и мелкой кастомизации:

* Фигурки и реплики: Печать моделей для настольных игр, миниатюрных фигурок и реплик.
* Бытовые предметы: Изготовление уникальных держателей, органайзеров, запасных частей для бытовой техники, которые невозможно найти в продаже.
* Костюмы и реквизит (Cosplay): Создание сложных элементов костюмов и реквизита благодаря возможности FDM печатать крупные, но легкие детали.

1.5. Оборудование, используемое в технологииFDM

Основным оборудованием для реализации технологии FDM является 3D-принтер, который выполняет послойное наплавление материала согласно цифровой модели. Несмотря на разнообразие моделей, все FDM-принтеры имеют общие ключевые конструктивные элементы.

1.5.1 Основные конструктивные элементы FDM-принтера

1. Рабочая платформа (Стол): Поверхность, на которой строится изделие. Может быть подогреваемой (для работы с материалами, склонными к усадке, например ABS) или холодной. Обеспечивает адгезию первого слоя. В некоторых кинематических схемах (например, Cartesian Z-Axis) стол перемещается по оси Z, опускаясь на высоту слоя.
2. Экструдер (Печатающая головка): Механизм, отвечающий за подачу, плавление и дозированное выдавливание материала. Состоит из двух основных частей:
   * Холодный конец (Feeder): Подающий механизм, проталкивающий филамент.
   * Горячий конец (Hotend): Нагревательный блок с соплом (Nozzle). Сопло, как правило, имеет диаметр 0.4 мм, который определяет минимальную ширину стенки и влияет на детализацию.
3. Система кинематики: Механизм, обеспечивающий точное перемещение экструдера и/или стола по осям X, Y и Z. Различают три основных типа:
   * Cartesian (Декартова): Наиболее распространенный тип (например, Prusa i3). Движения по осям X, Y и Z независимы.
   * Core-XY: Обеспечивает высокую скорость и точность. Движение печатающей головки по X и Y осям осуществляется синхронно двумя моторами.
   * Delta: Использует три синхронизированных рычага для перемещения легкой печатающей головки, что дает очень высокую скорость печати.

1.5.2 Ключевые характеристики и выбор оборудования

Выбор FDM-принтера для изготовления архитектурного макета здания колледжа должен основываться на следующих характеристиках:

* Размер печатной зоны. Этот параметр определяет максимальные габариты изделия. Поскольку здание колледжа является крупным объектом, желательно иметь принтер с областью построения не менее 200x200x200 мм, чтобы минимизировать количество частей, на которые придется делить модель.
* Диаметр сопла. Для достижения хорошей детализации фасада (окна, карнизы) рекомендуется использовать стандартное сопло 0.4 мм, а для особенно мелких архитектурных элементов можно использовать сопло 0.3 мм или 0.25 мм.
* Наличие закрытой камеры. Для печати крупногабаритных деталей из термочувствительных материалов (например, ABS), которые могут быть использованы для повышения прочности макета, желательна закрытая камера. Она стабилизирует температуру окружающей среды и снижает риск температурных деформаций.

1.5.3 Программное обеспечение (Слайсер)

Неотъемлемой частью технологического процесса является программное обеспечение, называемое слайсером (Slicer).

* Функция: Слайсер принимает цифровую 3D-модель (обычно в формате STL) и «нарезает» ее на горизонтальные слои, генерируя G-код — последовательность команд, понятных 3D-принтеру (координаты X, Y, Z, температура, скорость).
* Примеры программ: Cura, Simplify3D, PrusaSlicer.
* Роль в проекте: Слайсер используется для задания всех ключевых параметров печати модели здания: толщины слоя, процента заполнения, настройки поддержек, скорости печати и ориентации модели на столе. Правильные настройки в слайсере напрямую влияют на качество, прочность и время изготовления макета.

Основным оборудованием для FDM-печати является 3D-принтер, управляемый компьютером или автономным контроллером.

3D-принтеры:

Современные FDM-принтеры состоят из нескольких ключевых узлов:

Каркас (Рама): Обеспечивает жесткость конструкции.

Кинематика: Система механических приводов (шаговые двигатели, ремни, винты), обеспечивающая перемещение печатающей головки и стола в трех осях (X, Y, Z). Распространены кинематики: Cartesian (декартова, "дрыгостол"), CoreXY, Delta.

Экструдер: Механизм подачи и плавления филамента. Бывает двух типов:

*Direct (Прямая подача):* Механизм подачи и хотэнд объединены в один блок.

*Bowden (Удаленная подача):* Механизм подачи расположен на раме, а филамент подается в хотэнд по длинной тефлоновой трубке.

Рабочий стол: Платформа, на которой строится модель. Часто оснащается подогревом для улучшения адгезии (прилипания) первого слоя и борьбы с усадкой.

Электроника: Управляющая плата (микроконтроллер), которая считывает G-код и управляет всеми двигателями и нагревателями.

Программное обеспечение:

Рабочий процесс FDM невозможен без двух типов ПО:

1. САПР (CAD): Программы для 3D-моделирования (например, КОМПАС-3D, Autodesk Inventor, Fusion 360).
2. Слайсеры: Программы для подготовки управляющего кода (например, Ultimaker Cura, PrusaSlicer, Polygon X).

На российском рынке оборудования широко представлены как зарубежные, так и отечественные производители. Крупными российскими компаниями, производящими FDM-принтеры профессионального и промышленного уровня, являются «Picaso 3D» и «Imprinta».

1.6. Постобработка при использовании технологии

Изделия, полученные методом FDM, редко используются сразу «со стола». Как правило, они требуют финишной доводки (постобработки) для улучшения внешнего вида и механических свойств.

Удаление поддержек: Первый и обязательный этап. Вспомогательные структуры отделяются от модели вручную, с помощью кусачек, ножа или специальных инструментов. Если поддержки были напечатаны из растворимого материала (PVA, HIPS), изделие помещается в ванну с соответствующим растворителем.

Механическая обработка: Шлифование (наждачной бумагой) и шпатлевание для сглаживания следов от слоев и дефектов поверхности. Также возможно сверление отверстий и нарезание резьбы.

Химическая обработка (Сглаживание):

Для ABS-пластика используется «ацетоновая баня» — обработка парами ацетона, которые растворяют верхний слой пластика, делая поверхность глянцевой и монолитной.

Для PLA-пластика могут использоваться дихлорметан или специальные сглаживающие составы, однако это более токсичные и сложные процессы.

Сборка и склеивание: Крупные модели, напечатанные по частям, склеиваются с помощью суперклея (цианоакрилат), дихлорэтана (для ABS, PETG) или эпоксидной смолы.

* Покраска: Для придания изделию декоративного вида его грунтуют и окрашивают, чаще всего используя акриловые краски.

2 Технологическая часть: Разработка и создание миниатюрной модели здания колледжа

Технологическая часть курсового проекта посвящена практическому применению теоретических знаний о технологии FDM для создания конкретного изделия — миниатюрной модели здания колледжа. Эта часть должна детально описывать весь производственный цикл, начиная от сбора исходных данных и заканчивая постобработкой готового макета.

2.1 Описание изделия (миниатюрная модель здания колледжа)

Наименование изделия: Миниатюрная модель здания ГАПОУ «Бугульминский машиностроительный техникум».

Назначение: Модель предназначена для демонстрационных и профориентационных целей. Она будет использоваться для визуализации архитектурного облика техникума и как наглядное пособие, демонстрирующее возможности аддитивных технологий в области макетирования.

Описание объекта: Здание техникума представляет собой [Указать этажность, например, трехэтажное] строение с [Указать количество блоков, например, центральным входным блоком, двумя боковыми крыльями]. Ключевые архитектурные особенности включают [Описать характерные элементы: наличие центрального портика с колоннами, специфическую форму крыши, тип оконных проемов]. Общие габаритные размеры здания, принятые для проектирования, составляют приблизительно 60 м в длину, 20 м в ширину и 12 м в высоту.

Выбранный масштаб: Для обеспечения баланса между детализацией и удобством печати выбран масштаб 1:100.

* *Расчет габаритов макета (Пример):*
  + Длина макета: 60 м / 100 = 0.6 м (600 мм).
  + Ширина макета: 20 м / 100 = 0.2 м (200 мм).
  + Высота макета: 12 м / 100 = 0.12 м (120 мм).
  + Таким образом, макет имеет размеры 600 х 200 х 120 мм, что требует разделения модели на части для печати на стандартном настольном FDM-принтере (обычно 200х200х200 мм).

Требования к качеству модели:

1. Точное соблюдение пропорций и геометрии в заданном масштабе 1:100.
2. Четкое воспроизведение ключевых архитектурных элементов (окна, двери, карнизы) с учетом минимально допустимой толщины стенок для FDM-печати (не менее 1 мм).
3. Обеспечение прочности конструкции для транспортировки и демонстрации.

2.2 Процесс изготовления

2.2.1 Обмер и создание исходных данных

Создание цифровой модели здания требует получения точных исходных данных.

Выбранный метод сбора данных: Применен комбинированный метод: визуальный осмотр, ручной обмер с использованием измерительных инструментов (рулетка, лазерный дальномер) и фотограмметрия (создание облака точек на основе серии фотографий для получения более точных очертаний).

Этапы обмера:

1. Общий обмер: Измерены общие габариты здания (длина, ширина, высота до конька/парапета).
2. Поэтажный обмер: Измерена высота каждого этажа и цоколя.
3. Детализация фасада: Измерены габариты и расположение всех оконных и дверных проемов, а также выступов, карнизов и других архитектурных элементов, имеющих влияние на внешний вид модели.
4. Документирование: Все данные зафиксированы в таблице ключевых размеров (Приложение Г) и на схематичных эскизах (Приложение Д).

Полученные исходные данные: Получен набор чертежей-эскизов фасадов и план первого этажа, а также массив цифровых фотографий, которые послужили основой для построения трехмерной модели.

2.2.2 Моделирование

После сбора данных приступаем к созданию цифровой 3D-модели, пригодной для FDM-печати.

Программное обеспечение: Для параметрического моделирования использовалась система Autodesk Inventor (или другое CAD-программа, например, Fusion 360/Blender).

Последовательность моделирования:

1. Создание базового объема: Построение основного параллелепипеда, соответствующего общим габаритам здания в масштабе 1:1.
2. Детализация периметра: Построение стен, цоколя и крыши.
3. Формирование проемов: Использование операций вытягивания или вычитания для создания оконных и дверных проемов на всех фасадах. При этом учтено требование FDM: толщина всех несущих стенок в модели должна составлять не менее 1.5 мм для обеспечения прочности при печати и минимизации рисков расслоения.
4. Добавление архитектурных деталей: Моделирование колонн, карнизов, перил и других декоративных элементов. Нависающие элементы (карнизы) были спроектированы с углом наклона, не превышающим 45-50 градусов к вертикали, чтобы уменьшить необходимость в опорных структурах.
5. Разделение модели: Из-за габаритов (600 мм) модель была разделена на три сборочных блока (центральный входной блок и два боковых крыла) с учетом плоских вертикальных плоскостей, которые легко склеивать.
6. Экспорт: Готовые части модели экспортированы в формат STL (Stereolithography), который является стандартным для аддитивного производства.

