

**Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования
Дворец детского (юношеского) творчества Петродворцового района Санкт-Петербурга
«ПЕТЕРГОФ»**

ПРИНЯТА

Педагогическим советом

ДДЮТ «ПЕТЕРГОФ»

Протокол № 1 от «31» августа 2026 г.

УТВЕРЖДЕНА

Приказом № 392/у от «01» сентября 2026 г.

Директор ДДЮТ «ПЕТЕРГОФ»

_____ В.А. Апраксимов

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 00C9DF420E45C5C12E918B262C7A3C1870
Владелец: Апраксимов Владислав Анатольевич
Действителен: с 14.04.2026 до 08.07.2027

Дополнительная общеразвивающая программа

«3D МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ»

Срок освоения: 1 год

Возраст обучающихся: 10-16 лет

Разработчик:

Санникова Наталья Владимировна,
методист

Курьянович Никита Владимирович,
педагог дополнительного образования

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Направленность программы

Дополнительная общеразвивающая программа «3D моделирование и прототипирование» относится к технической направленности. Программа ориентирована на освоение обучающимися базовых и продвинутых компетенций в области трехмерного цифрового моделирования, аддитивных технологий, подготовки моделей к печати (слайсинга) и постобработки готовых физических изделий.

Адресат программы

Программа рассчитана на детей в возрасте 10–16 лет. На обучение принимаются учащиеся, обладающие базовой компьютерной грамотностью, проявляющие интерес к инженерному творчеству, компьютерной графике и освоению практических навыков 3D моделирования для проектного и научно-технического творчества. Обучение не требует предварительных специальных навыков работы в 3D-редакторах.

Актуальность программы

Актуальность программы обусловлена тем, что современное общество, стремительно развиваясь и предъявляя всё новые требования к научному знанию, трансформирует технологии 3D моделирования и прототипирования в неотъемлемую часть процессов проектирования, производства, строительства, медицины, образования и многих других сфер. Программа расширяет знания об исследовательских возможностях и интеллектуальном потенциале человека, обеспечивает возможность достижения успеха в избранной сфере, а также формируется круг общения на основе общих интересов и духовных ценностей.

В эпоху цифровизации и автоматизации производства владение технологией 3D моделирования и прототипирования является важным для повышения конкурентоспособности предприятий. Программа отвечает на актуальные вызовы промышленного сектора, дает возможность обучающимся получить практические навыки работы в 3D-редакторах для решения реальных задач в инженерных областях.

Аддитивные технологии и трехмерное моделирование являются сквозными технологиями современного цифрового производства. Данная программа позволяет сократить разрыв между теоретическими знаниями учащихся и практическим применением высоких технологий, предоставляя возможность пройти полный цикл создания продукта: от цифровой идеи в среде Blender до материального объекта.

Уровень освоения — общекультурный.

Объем и срок освоения программы — 1 год обучения, 144 часа.

Цель и задачи программы

Цель программы - формирование комплекса теоретических знаний и практических навыков в области полигонального 3D-моделирования и аддитивных технологий (3D-печати).

Задачи:

Обучающие:

- обучать базовым принципам и методам полигонального моделирования в среде

формировать навыки работы с геометрией, полигональной сеткой (мешем), топологией и модификаторами;

- обучать работе со специализированным программным обеспечением для слайсинга (Polygon X);
- познакомить с устройством, принципами калибровки и эксплуатации 3D-принтеров;
- обучать безопасным методам финишной постобработки и сборки напечатанных изделий.

Развивающие:

- развивать объемно-пространственное и логическое мышление;
- формировать навыки исследовательской и проектно-инженерной деятельности, умение находить оптимальные технические решения;
- развивать навыки самоконтроля, концентрации внимания и мелкой моторики при работе с физическими моделями;
- формировать умение презентовать технический проект, аргументировано обосновывать принятые конструкторские и технологические решения.

Воспитательные:

- формировать трудовые ценности, навыки аккуратной работы и ответственного отношения к использованию оборудования;
- формировать компетенции в области командной работы, навыки взаимоподдержки и способности к объективному и конструктивному разбору проектных решений;
- формировать положительную мотивацию к освоению профессий инженерно-технического профиля.

Планируемые результаты освоения программы

Предметные результаты:

учащиеся будут знать/понимать:

- интерфейс Blender, принципы полигонного моделирования и назначение основных областей;
- принципы построения оптимальной полигональной сетки, типичные ошибки геометрии и способы их исправления;
- методы безопасной финишной обработки из разных материалов и сборки напечатанных изделий;

учащиеся будут уметь:

- осуществлять предварительный просмотр по слоям, выявлять потенциальные проблемы и корректировать либо модель, либо настройки слайсера;
- выполнять калибровку платформы 3D-принтеров, настройку экструдера, загружать и выбирать профиль материала, настраивать параметры печати в зависимости от типа модели и материала.

Метапредметные результаты:

у учащихся разовьются:

- объемно-пространственное и логическое мышление, умение анализировать объекты в трех измерениях;
- навыки исследовательской и проектно-инженерной деятельности;
- навыки самоконтроля и концентрации внимания при работе с физическими моделями;
- умение структурировать техническую информацию, планировать и контролировать публичное выступление, применяя аргументированные критерии для

обоснования технологического решения.

Личностные результаты:

у учащихся сформируется:

- ответственное отношение к соблюдению правил техники безопасности и эксплуатации оборудования;
- навык продуктивного взаимодействию в команде, распределения ролей и совместного конструктивного разбора проектного решения;
- устойчивый интерес к инженерно-техническим направлениям деятельности и понимание их значимости в современном мире.

Организационно-педагогические условия реализации

Язык реализации программы

Дополнительная общеразвивающая программа «3D моделирование и прототипирование» реализуется на русском языке.

Форма обучения — очная.

Условия набора и формирования групп

Условия набора в коллектив. Набор в группы свободный, принимаются и мальчики, и девочки 10-16 лет, без предъявления требований к стартовым специальным знаниям и навыкам.

Условия формирования групп – группы могут комплектоваться по возрасту или быть разновозрастными.

Количество обучающихся в группе. Количество детей в группе составляет не менее 12 человек.

Дополнительный набор учащихся допускается при наличии вакантного места на основе результатов входного контроля.

Формы организации занятий

Программой предусматривается проведение аудиторных занятий для всей группы обучающихся в форме теоретических и практических занятий, работы над проектами в пределах учебного кабинета под непосредственным руководством педагога.

Формы организации деятельности учащихся на занятии:

- фронтальная. Применяется во время теоретической части занятия при изучении общих принципов 3D-моделирования, разборе интерфейсов программного обеспечения и правил безопасной работы с нагревательными элементами 3D-принтеров. Для реализации обучения используется компьютер педагога с мультимедиа проектором, посредством которых учебный материал, примеры скриптов OpenSCAD и алгоритмы работы в Blender демонстрируются на общий экран;

- групповая. Предполагает выполнение практических задач, инженерных кейсов и проектных заданий подгруппами или в парах. Данная форма используется при совместной разработке комплексных макетов, проведении плейтестов собираемости составных деталей, взаимном контроле качества печати, а также при коллективном обсуждении и поиске причин возникновения дефектов прототипирования;

- индивидуальная. Применяется при самостоятельной работе обучающихся за персональными компьютерами. Каждый учащийся индивидуально работает над созданием полигональных сеток в Blender, подготовкой моделей к печати в слайсере и последующей фиксацией результатов своей проектной деятельности. Также в индивидуальном порядке происходит ручная зачистка и постобработка напечатанных изделий.

Формы проведения занятий

Основной формой организации деятельности обучающихся в рамках реализации программы является учебное занятие. Занятия организуются с учетом практической направленности программы и специфики изучаемых технологий. Проводятся в форме лекций, мастер-классов, тренировочных упражнений, практических работ, индивидуальных и групповых проектов, кейсов, тестирования.

Материально-техническое оснащение программы

Помещение: учебный кабинет, оснащённый ученическими столами и стульями (по количеству обучающихся в группе), столом для педагога, шкафы для хранения материалов и инструментов, стеллажи для демонстрации проектов. Локальная сеть класса со стабильным широкополосным доступом к сети Интернет.

Оборудование и материалы на учебную группу:

- мультимедийный проектор, экран (или интерактивная доска) – 1 шт.,
- компьютер для педагога с выходом в Интернет – 1 шт.,
- персональные компьютеры обучающихся со следующими минимальными техническими характеристиками: многоядерный процессор, дискретная видеокарта с поддержкой актуальных версий графических библиотек, оперативная память объемом не менее 16 Гб, скоростной SSD-накопитель;
- 3D-принтер Picaso Designer X Pro Series 2 (или аналогичный двухэкструдерный FDM-принтер профессионального класса) – 6 шт.,
- термошкаф – 2 шт.,
- шпатели с тонкими краями – 12 шт.,
- пинцет – 12 шт.,
- кусачки-бокорезы – 12 шт.,
- набор надфиль – 12 шт.,
- мини-бормашины – 2 шт.,
- принтер (или МФУ) – 1 шт.,
- бумага для печати – 5 упаковок,
- электронные весы с точностью до 0,1 гр. – 2 шт.,
- конструкционные термопластики в катушках разных цветов: PLA (20 кг), ABS (10 кг), PETG (10 кг);
- органайзеры для инструментов – 12 шт.,
- калибровочные инструменты (щупы, ключи, шестигранники) – 3 набора;
- расходные материалы для обслуживания (сопла разного диаметра, тефлоновые трубки, смазка для направляющих) – 3 набора;
- кисти для нанесения растворителей – 12 шт.,
- Маркеры для нанесения клея – 8 шт.,
- термоклей на основе изопропилового спирта – 12 шт.,
- изопропиловый спирт или специализированные очистители – 2л.,
- аптечка – 1 шт.

Материалы и инструменты (на 1 учащегося):

- набор шлифовальных шкурочек различной зернистости – 1 шт.,
- макетные ножи – 1 шт.,
- защитные коврики (подложки) для резки – 1 шт.,
- защитные очки и перчатки – 1 шт.,
- антистатические коврики – 1 шт.

Операционная система:

- отечественный дистрибутив Astra Linux (или специализированная Linux-система,

развернутая на рабочих станциях компьютерного класса);

- программное обеспечение для трехмерного моделирования: OpenSCAD (для параметрического, технического и программного моделирования деталей с использованием скриптов) и Blender (для полигонального моделирования, цифровой скульптуры и художественной визуализации);

- программное обеспечение для подготовки моделей к печати (слайсеры): кроссплатформенное ПО для нарезки трехмерных моделей на G-код, настройки режимов двухэкструдерной печати, генерации поддержек из растворимых материалов и управления параметрами принтера (слайсеры с нативной поддержкой Linux-окружения);

- отечественный офисный пакет программ под Linux для ведения проектной документации и отчетов обучающихся.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН

1 года обучения

№ п/п	Название раздела, темы	Количество часов			Формы контроля/ аттестации
		Всего	Теория	Практика	
1.	Вводное занятие				Входное тестирование
2.	Базовый инструментарий полигонального моделирования в				Практическое задание
3.	Сложная геометрия, модификаторы и подготовка к экспорту				Практическое задание
4.	Слайсинг, полимерные материалы и настройка 3D-печати				Практическое задание
5.	Пост-обработка физических моделей и сборка изделий				Практическое задание
6.	От модели до готового изделия: полный технологический цикл				Проект
7.	Контрольные и итоговые занятия	4	0	4	Практическое задание Презентация проектов
Итого:		144	45	99	

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

1 год обучения

Задачи:

Обучающие:

- обучать базовым принципам и методам полигонального моделирования в среде
- формировать навыки работы с геометрией, полигональной сеткой (мешем), топологией и модификаторами;
- обучать работе со специализированным программным обеспечением для слайсинга (Polygon X);
- познакомить с устройством, принципами калибровки и эксплуатации 3D-принтеров;
- обучать безопасным методам финишной постобработки и сборки напечатанных изделий.

Развивающие:

- развивать объемно-пространственное и логическое мышление;
- формировать навыки исследовательской и проектно-инженерной деятельности, умение находить оптимальные технические решения;
- развивать навыки самоконтроля, концентрации внимания и мелкой моторики при работе с физическими моделями;
- формировать умение презентовать технический проект, аргументировано обосновывать принятые конструкторские и технологические решения.

Воспитательные:

- формировать трудовые ценности, навыки аккуратной работы и ответственного отношения к использованию оборудования;
- формировать компетенции в области командной работы, навыки взаимоподдержки и способности к объективному и конструктивному разбору проектных решений;
- формировать положительную мотивацию к освоению профессий инженерно-технического профиля.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ

Теория: Цели и задачи обучения. План работы. Правила охраны труда и техники безопасности при работе в компьютерном классе и за компьютером. Профессии на стыке технологий: кто участвует в создании изделия. Примеры реальных производственных цепочек. Понятие зоны ответственности и взаимодействия специалистов.

Практика: Организация рабочего места. Визуальное знакомство с основными элементами графического 3d редактора, инструмента разработки 3d моделей. Знакомство с элементами и интерфейсом 3d принтера. Подготовка 3d принтера к печати. Знакомство с инструментами отладки.

Форма контроля: Входное тестирование.

2. БАЗОВЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПОЛИГОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В BLENDER

Теория: Назначение Blender. Интерфейс, окна программы. Управление камерой, навигация во вьюпорте (3D Viewport). Понятие 3D-пространства, оси координат (X, Y, Z). Панель Transform в окне инспектора. Инструменты манипуляции Гизмо. Структура 3D-модели: вершины (Vertices), ребра (Edges), грани (Faces). Переключение режимов Object Mode и Edit Mode. Операция выдавливания геометрии (Extrude). Различие выдавливания отдельных граней и групп. Создание скосов и скруглений углов (Bevel). Разбиение сетки

на петли ребер (Loop Cut) для добавления плотности. Свободное разрезание полигонов инструментом Нож. Создание новых граней между вершинами (F / Fill). Режим мягкого изменения геометрии. Типы затухания влияния (Smooth, Sharp, Random и др.). Ограничение радиуса. Правильная топология меша. Треугольники (Tris), четырехугольники (Quads), многоугольники (N-gons). Почему N-gons критичны для 3D-печати. Разбор концепта изделия. Настольные органайзеры: эргономика, габариты под реальные предметы (ручки, карточки). Понятие Origin (опорной точки объекта). 3D-курсор как инструмент позиционирования. Режимы привязок (Snapping): к сетке, вершинам, граням. Копирование объектов: обычное дублирование (Duplicate Objects — Shift+D) и связанные копии (Linked Duplicates — Alt+D). Экономия ресурсов памяти. Принципы создания сборных конструкций. Учет технологических зазоров при моделировании сопрягаемых деталей для последующей сборки после печати.

Практика: Запуск Blender. Отработка навигации с помощью мыши и горячих клавиш. Использование цифровой панели (Numpad). Добавление примитивов на сцену. Перемещение, вращение и масштабирование объектов по осям. Ввод точных числовых значений. Выделение элементов сетки. Использование горячих клавиш для работы с компонентами геометрии. Создание простых геометрических форм (ступеньки, выемки) методом экструдирования граней. Применение разрезов петель ребер, создание фасок на жестких ребрах меша. Настройка сегментов фаски. Ручная нарезка топологии на сложных участках модели. Зашивание «дыр» в сетке, создание правильных полигонов. Моделирование плавных рельефных форм, ландшафтов или органических заготовок с помощью спада влияния. Анализ сетки моделей. Перевод многоугольников в трианглы и квады ручными инструментами. Создание базового габаритного куба, разметка основных отсеков органайзера методом Loop Cut. Экструдирование внутренних полостей органайзера. Применение фасок (Bevel) к внутренним и внешним граням изделия для придания прочности будущей физической детали. Финальная детализация: добавление внешних декоративных элементов или пазов. Проверка размеров органайзера по осям. Подготовка к первому промежуточному контролю. Демонстрация трехмерной модели органайзера. Анализ геометрии на предмет отсутствия лишних вершин и незакрытых отверстий. Смещение Origin в основание объекта. Настройка точной стыковки модульных деталей друг к другу по вершинам. Сборка составной конструкции (например, забор или подставка) из связанных копий одного элемента. «Собери алгоритм» (проверка теоретических знаний на составление последовательности действий при создании детали в программе). Моделирование основания корпуса механической детали. Моделирование ответной части (крышки или вала). Использование привязок для обеспечения точной соосности крепежных отверстий. Настройка зазоров в 0.2-0.4 мм. Виртуальная сборка деталей на сцене, проверка на пересечение геометрии. Экспорт готовой сборки по отдельным файлам мешей. Тестирование собираемости.

Форма контроля: Практическое задание.

3. СЛОЖНАЯ ГЕОМЕТРИЯ, МОДИФИКАТОРЫ И ПОДГОТОВКА К ЭКСПОРТУ

Теория: Понятие стек модификаторов. Недеструктивный пайплайн работы. Порядок применения модификастов в стеке. Модификатор Mirror. Отражение относительно осей. Важность положения Origin. Опция Clipping (Ограничение) для слияния вершин по центр. Логическое сложение (Union), вычитание (Difference) и пересечение (Intersect) объемов. Проблемы с топологией после булевых операций. Модификатор Array. Смещение относительное и постоянное. Создание линейных и круговых массивов (с использованием вспомогательного объекта Object Offset). Добавление физической толщины плоским полигональным поверхностям. Опция Even Thickness (Равномерная толщина). Зачем это нужно для 3D-печати. Алгоритм сглаживания Катмулла-Кларка. Сглаживание сетки (Subsurf). Понятие поддерживающих ребер

(Supporting Loops/Crease) для удержания формы острого угла. Геометрический дизайн предметов интерьера. Применение комбинации модификаторов (Array, Simple Deform, Solidify) для достижения сложных винтовых форм. Понятие Manifold-геометрии («водонепроницаемый» меш). Ошибки печати, вызываемые «дырявой» геометрией. Встроенный аддон Blender "Mesh: 3D Print Toolbox". Понятие нормали грани (лицевая и изнаночная сторона полигона). Что происходит, когда слайсер видит вывернутые наизнанку нормали (Inverted Normals). Ошибки дублирования: вершины в одной точке (Double Vertices), изолированные ребра, вырожденные полигоны с нулевой площадью. Различие локального масштаба объекта в объектном режиме и реальных физических размеров. Важность сброса параметров (Apply Transformation — Ctrl+A). Форматы файлов для трехмерной печати. Специфика формата. STL (передача только триангулированной геометрии без цвета). Настройки экспорта. Инженерное 3D-моделирование по чертежу/размерам. Снятие размеров с реальной платы, разметка крепежных стоек, портов ввода-вывода.

Практика: Знакомство с интерфейсом вкладки Модификаторы (Modifiers). Добавление и отключение модификаторов во вьюпорте. Создание симметричной модели (например, корпус самолета или робота) с использованием половины меша и модификатора зеркала. Прорезание сложных отверстий и пазов в деталях с помощью сторонних объектов-мешей и модификатора Boolean. Моделирование шестеренки, радиатора охлаждения или гусеничной ленты с помощью размножения элементов по кругу/линии. Моделирование открытого полого сосуда (чашка, корпус каски) из плоского эскиза при помощи Solidify. Моделирование высокополигонального сглаженного объекта из простой угловатой болванки. Размещение поддерживающих ребер. Создание базового плоского профиля вазы, добавление плотности ребрами. Настройка модификатора закручивания по спирали. Добавление модификатора толщины стенок с учетом минимальных требований FDM печати (не менее 1.2-1.6 мм). Применение стека модификаторов в конечный меш (Collapsing/Applying Modifiers). Проверка dna вазы на герметичность (закрытие полигоном). Подготовка к экспорту. Активация аддона, автоматический и ручной поиск незакрытых отверстий (Non-Manifold Edges) и их устранение. Включение режима отображения Face Orientation. Выявление вывернутых красных полигонов, их исправление через команду Recalculate Outside. Применение команды Merge by Distance для удаления дубликатов вершин. Очистка сцены от невидимого мусора перед экспортом. Проверка вкладки Item, применение масштаба (Scale) к единице (1.0, 1.0, 1.0) для корректного переноса размеров в миллиметры. Выделение объектов, экспорт в формат. STL с галочкой Selection Only. Проверка корректности экспортированного файла. Игра по определению технического термина. Построение габаритной модели-заглушки платы, моделирование нижней крышки корпуса. Моделирование верхней крышки. Использование Boolean для точной вырезки окон под вентиляцию, порты USB, HDMI на основе габаритов платы-заглушки. Исправление топологии после булевых вырезаний. Очистка меша, исправление нормалей, финальный экспорт двух частей корпуса в STL. Технический контроль созданных моделей корпусов в Blender.

Форма контроля: Практическое задание.

4. СЛАЙСИНГ МОДЕЛЕЙ В СРЕДЕ POLYGON X И ТЕОРИЯ 3D-ПЕЧАТИ

Теория: Правила охраны труда и техники безопасности при работе в компьютерном классе за компьютером и 3D принтером. Распространенные термопластики: PLA, ABS, HIPS, PETG. Температуры плавления, усадка, адгезия, механические свойства. Области применения каждого пластика. Понятие "Слайсер". Назначение ПО Polygon X. Рабочее пространство, профили принтеров Picaso, загрузка файлов, библиотека материалов. Правила пространственной ориентации детали на платформе. Площадь соприкосновения со столом. Влияние направления слоев на

прочность готового изделия. Высота слоя (Layer Height) как фактор качества поверхности и времени печати. Диаметр сопла и ограничения по высоте. Скорость печати (внутренние/внешние стенки, заполнение). Количество периметров (стен) модели. Толщина дна и крышки (Top/Bottom Layers). Влияние толщины оболочки на конструкционную прочность. Температура экструдера (хотэнда) и нагревательного стола (Bed Temperature). Понятие термоусадки и деламинации. Настройка обдува модели (вентилятор охлаждения). Правило 45 градусов в FDM печати. Нависающие элементы меша. Типы поддерживающих структур (линейные, древовидные). Зазоры по оси Z между моделью и поддержкой. Преимущество принтеров Picaso с двумя экструдерами (X Pro серия). Печать основным материалом (например, ABS) совместно с растворимыми поддержками (HIPS или PVA). Проблема отрыва детали во время печати. Способы улучшения фиксации первого слоя: Юбка (Skirt), Кайма (Brim), Подложка (Raft). Механизм обратного втягивания нити при холостых переходах экструдера. Скорость и длина ретракта. Избежание появления пластиковых нитей ("паутины"). Окно предварительного просмотра G-кода. Чтение цветовой легенды (внешний периметр, заполнение, поддержки). Проверка траектории сопла слой за слоем. Что такое G-код (язык программирования станков с ЧПУ). Структура команд (координаты, подача пластика, нагрев). Расширение файлов для принтеров Picaso (.plgх). Анализ импортированной геометрии со сложной структурой нависаний. Разработка стратегии слайсинга с минимальным расходом материала.

Практика: Свойства филаментов. Работа с физическими образцами пластиков (сравнение на излом, гибкость, жесткость). Запуск Polygon X. Импорт ранее созданного STL-файла органайзера. Ознакомление с основными вкладками управления. Использование инструментов вращения, перемещения и масштабирования объекта внутри Polygon X. Поиск оптимального положения для минимизации поддержек. Настройка базового профиля печати PLA пластиком. Изменение высоты слоя (0.15 мм vs 0.25 мм), сравнение расчетного времени выполнения в слайсере. Изменение параметров количества линий периметра в расширенных настройках Polygon X. Расчет жесткости детали. Построение модели высокополигонального животного с учётом поставленных параметров по минимальному количеству полигонов. Выбор температурных параметров в Polygon X для PLA (210°C / 60°C) и ABS (245°C / 100°C) на основе технологических карт материалов. Включение автоматической генерации поддержек в Polygon X. Использование ручных блокираторов и областей поддержек на сложных деталях. Включение автоматической генерации поддержек в Polygon X. Использование ручных блокираторов и областей поддержек на сложных деталях. Настройка двухматериального профиля слайсинга в Polygon X. Назначение экструдера №1 для модели, экструдера №2 — для поддержек. Корректировка параметров ретракта в профиле слайсера для тягучих материалов (PETG). Запуск симуляции нарезки. Послойный разбор движения сопла с помощью ползунка слоев. Проверка укладки первого слоя и зон нависания. Финальная генерация (слайсинг) кода проекта вазы или органайзера, сохранение файла на Flash-носитель. Расчет веса пластика в граммах. Импорт комплексной модели, расстановка комбинированных поддержек (растворимые + обычные). Игра на проверку теоретических знаний «Парные карточки». Настройка адаптивной высоты слоя внутри Polygon X для ускорения печати на вертикальных участках и повышения качества на пологих склонах. Сравнение трех версий G-кода одной детали с разными параметрами. Финальный экспорт оптимизированного кода на флеш-карту. Обоснование выбранных параметров печати в Polygon X. Объяснение выбора поддержек, заполнения, температур и ориентации детали. Оценка.

Форма контроля. Практическое задание.

5. ПРАКТИКУМ ПО 3D-ПЕЧАТИ И ПОСТОБРАБОТКЕ ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Теория: Чистота стола как залог успешной адгезии. Средства усиления сцепления пластика со стеклом (3D-клей, лаки, канифоль). Калибровка уровня стола. Механизм подачи филамента. Правила обрезки кончика нити перед заправкой. Процедура предварительного нагрева сопла (Preheat). Режим смены пластика. Критичность качества первого слоя для всей печати. Признаки недоэкструзии (сопло слишком высоко, нити отрываются) и переэкструзии (сопло слишком низко, пластик размазан). Типичные проблемы в процессе работы: забивание сопла (пробка), обрыв или запутывание нити на катушке, смещение слоев (Layer Shift). Остывание рабочей платформы и естественная отслойка деталей. Температурные деформации при резком снятии. Инструменты макетчика (шпатели, скребки). Правила удаления поддержек из основного материала. Следы и шрамы в местах контакта поддержки с моделью. Инструменты: кусачки-бокорезы, пинцеты, скальпели. Химические растворители. Лимонен для растворения полистирола (HIPS), обычная теплая вода для поливинилового спирта (PVA). Правила ТБ при работе с химреактивами. Абразивные материалы. Зернистость наждачной бумаги (P80, P240, P400). Правила сухой и мокрой шлифовки пластиков для предотвращения плавления трением. Воздействие растворителей на определенные пластики. Ацетон для ABS/HIPS. Принцип работы холодной и горячей ацетоновой бани. Меры предосторожности при работе с горючими веществами. Постановка комплексной задачи: от идеи до прототипа за ограниченное время. Требования к финальной сборной конструкции.

Практика: Очистка стеклянной платформы принтера изопропиловым спиртом, нанесение тонкого слоя специального адгезивного клея. Проводка нити через датчик окончания филамента, запуск процесса заправки PLA пластика в первый экструдер через меню принтера Picaso. Считывание управляющей программы с носителя. Запуск процесса печати простейшего объекта. Визуальный контроль укладки первого слоя, регулировка зазора «на лету» при необходимости. Обучение действиям при аварийной остановке: постановка принтера на паузу, очистка сопла латунной щеткой, перезапуск процесса. Ожидание охлаждения стола до безопасных 30-40°C. Аккуратное снятие напечатанных моделей органайзеров с помощью плоского шпателя без повреждения стекла. Ручное отделение поддержек от напечатанной детали. Аккуратная зачистка интерфейсного слоя бокорезами без повреждения стенок изделия. Погружение детали с комбинированными поддержками в емкость с раствором, контроль процесса растворения, финальная промывка и сушка модели. Последовательное ошкуривание поверхностей напечатанной детали, удаление следов слоев и дефектов первого слоя. Демонстрация педагогом процесса обработки ABS детали в герметичном контейнере с парами ацетона до глянцевого состояния. Анализ результата. Экспресс-моделирование выданного технического задания (например, кастомный корпус флешки или подставка под телефон) в Blender. Тест «Соотнеси проблему и решение». Экспорт модели, импорт в Polygon X, быстрая настройка оптимального профиля под PLA пластик, нарезка G-кода и перенос программы на 3D-принтер. Запуск процесса 3D-печати на оборудовании Picaso, контроль выполнения первых слоев. Оставление принтеров под присмотром мастера на цикл печати. Снятие готовых остывших моделей с платформ, удаление поддержек, финальное механическое ошкуривание, подгонка сопрягаемых элементов деталей. Оценка качества напечатанных физических изделий. Демонстрация соответствия размеров реальной детали виртуальной модели. Тестирование прочности. Оценка.

Форма контроля: Практическое задание.

6. ОТ МОДЕЛИ ДО ГОТОВОГО ИЗДЕЛИЯ: ПОЛНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

Теория: Проект и его реализация. Представление и критерии оценки.

Практика: Сбор референсов, построение сложной геометрической конструкции в среде Blender с использованием модификаторов. Экспорт и проверка меша. Работа в

Polygon X: выбор стратегии позиционирования, настройка комбинированных поддержек, заполнения и температур. Запуск финальной многочасовой печати на принтерах Picaso. Снятие деталей, удаление вспомогательных структур. Сборка всех элементов проекта в единую конструкцию, финишная ручная доводка поверхностей (шлифовка). Подготовка и защита презентационных материалов.

Форма контроля. Проект

7. КОНТРОЛЬНЫЕ И ИТОГОВЫЕ ЗАНЯТИЯ

Промежуточный контроль: Практическое задание «Рецензирование модели»

Практика: Презентация готовых изделий и демонстрация исходных цифровых моделей/файлов слайсинга.

Итоговый контроль: Презентация проектов

Планируемые результаты освоения программы

Предметные результаты:

учащиеся будут знать/понимать:

- интерфейс Blender, принципы полигонного моделирования и назначение основных областей;
- принципы построения оптимальной полигональной сетки, типичные ошибки геометрии и способы их исправления;
- методы безопасной финишной обработки из разных материалов и сборки напечатанных изделий;

учащиеся будут уметь:

- осуществлять предварительный просмотр по слоям, выявлять потенциальные проблемы и корректировать либо модель, либо настройки слайсера;
- выполнять калибровку платформы 3D-принтеров, настройку экструдера, загружать и выбирать профиль материала, настраивать параметры печати в зависимости от типа модели и материала.

Метапредметные результаты:

у учащихся разовьются:

- объемно-пространственное и логическое мышление, умение анализировать объекты в трех измерениях;
- навыки исследовательской и проектно-инженерной деятельности;
- навыки самоконтроля и концентрации внимания при работе с физическими моделями;
- умение структурировать техническую информацию, планировать и контролировать публичное выступление, применяя аргументированные критерии для обоснования технологического решения.

Личностные результаты:

у учащихся сформируется:

- ответственное отношение к соблюдению правил техники безопасности и эксплуатации оборудования
- навык продуктивного взаимодействия в команде, распределения ролей и совместного конструктивного разбора проектного решения;
- устойчивый интерес к инженерно-техническим направлениям деятельности и понимание их значимости в современном мире.

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Технологии, приемы и методы организации образовательного процесса

В процессе реализации программы используются следующие **методы** обучения, классифицированные по характеру познавательной деятельности обучающихся:

- словесные методы (лекция, объяснение, беседа, инструктаж): применяются на этапах разбора теоретического материала (например, при изучении физико-химических свойств термопластов ABS, HIPS, PLA или правил построения топологии меша). Инструктаж является ключевым элементом перед началом работы с нагревательными элементами 3D-принтеров PICASO и химическими растворителями (ацетон, d-лимонен) при постобработке деталей.

- наглядно-демонстрационные методы (демонстрация скриншотов, видеоуроков, алгоритмов работы в Blender): педагог транслирует на общем экране (или проекторе) пошаговый процесс применения инструментов (Extrude, Bevel, Loop Cut) или настройки профилей материалов в слайсере Polygon X. Также используется демонстрация эталонных физических моделей и дефектов печати (под-экструзия, расслоение слоев) для визуального анализа.

- практические методы (выполнение упражнений, моделирование по референсам, практические задания по слайсингу, постобработка): составляют основу программы (более 75% времени). Включают в себя самостоятельное построение 3D-моделей, зачистку напечатанных изделий наждачной бумагой, грунтовку, склеивание узлов и художественное окрашивание.

- метод проектов (проектно-исследовательский): применяется при изготовлении индивидуальных изделий. Обучающиеся самостоятельно проходят полный цикл производства изделия: от идеи и сбора референсов до цифрового рендеринга, инженерного расчета усадки материала, FDM-печати и финишной сборки готового физического макета.

- методы контроля и самоконтроля: включают устные опросы, входное тестирование, технический анализ меша на водонепроницаемость (Manifold) силами самих учащихся перед экспортом в STL, а также экспертную оценку на публичной защите.

Эффективность освоения программы обеспечивается интеграцией современных педагогических **технологий**:

- информационно-коммуникационные технологии. Работа ведется в специализированной цифровой среде Blender и ПО Polygon X. Используются интерактивные базы знаний PICASO 3D и мультимедийные каталоги референсов;

- технология проектного обучения: позволяет учащимся реализовать свои творческие и инженерные амбиции. Результатом является осязаемый, полезный продукт (детализированный Sci-Fi контейнер, винтовая лестница, архитектурный или технический макет);

- технология развивающего обучения: направлена на развитие пространственного воображения и логики. Задачи усложняются постепенно — от манипуляций с базовыми примитивами до создания многокомпонентных Boolean-структур и ручного моделирования органических поверхностей;

- технология коллективного взаимообучения (командная работа): применяется при сборке масштабных групповых макетов, где каждый учащийся отвечает за моделирование, печать и доводку своего конкретного сегмента общей конструкции. Это развивает навыки коммуникации, проектного тайм-менеджмента и ответственности за общий результат;

- здоровьесберегающие технологии: строгое соблюдение режима работы за ПК (физкультминутки для глаз и осанки), контроль уровня шума и вентиляции при работе 3D-принтеров, использование безопасных методов вентиляции при химической обработке деталей пластика.

К основным **приемам** обучения по программе относятся: работа с референсами, разбор типовых ошибок, мини-задания на обработку инструментов, импорт и анализ модели, эксперименты с параметрами, взаимопроверка.

Дидактические средства

Демонстрационный, наглядный, иллюстративный материал:

- видеоуроки, показывающие процесс создания моделей;
- видеоуроки, показывающие процесс создания моделей;
- видео, показывающее процесс слайсинга модели в программе;
- галереи работ и портфолио 3D-художников;
- схемы, объясняющие принцип работы слайсеров (программ для подготовки моделей к печати);
- инфографики, отображающие этапы работы над проектом (от концепции до готового изделия);
- иллюстрации базовых операций: экструзия, интрузия, разрезание, объединение граней;
- примеры простых моделей (куб, сфера, цилиндр), созданных с помощью полигонального моделирования;
- иллюстрации базовых операций: экструзия, интрузия, разрезание, объединение граней.

Информационные источники

Список литературы для педагога:

1. Аддитивные технологии. Элементы трехмерной печати: Учебное пособие / колл. Автор. — М.: Наука и техника, 2025.
2. Адонин А.М. Blender 3D. Полное руководство. — М.: Наука и техника, 2025.
3. Прахов А. А. Самоучитель Blender. Книга по трехмерному моделированию. — СПб.: БХВ-Петербург.
4. Прахов А. А. Blender: 3D-моделирование и анимация. Руководство для начинающих [Цифровая книга]
5. Огановская Е.Ю. Робототехника. 3D-моделирование и прототипирование на уроках и во внеурочной деятельности: 5-7, 8(9) классы /Е.Ю. Огановская, С.В. Гайсина, И.В. Князева. — Санкт-Петербург: КАРО, 2017. — 256 с.
6. Официальная техническая документация и база знаний PICASO 3D [Электронный ресурс].
7. Справочные руководства по работе с ПО Polygon X и слайсингу сложных моделей [Электронный ресурс].

Список литературы для учащихся и их родителей:

1. Инженер 3D Печать и Моделирование: Руководство для Начинающих / Инженер — «Автор», 2025
2. Прахов А. А. Самоучитель Blender 2.7. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 400 с.: ил. — (Самоучитель).

Интернет-источники:

1. Мой первый BLENDER <https://www.lektorium.tv/blender/>;
2. BLENDER 3D уроки <https://rutube.ru/plst/29946/>;
3. Самоучитель BLENDER 3D <https://practicum.yandex.ru/blog/samouchitel-blender/>.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для отслеживания результативности образовательной деятельности по программе проводятся: входной и текущий контроль, промежуточная аттестация и итоговый контроль. Средствами фиксации результатов по дополнительной общеразвивающей программе «3D моделирование и прототипирование» являются информационные карты.

Входной контроль проводится на первом занятии с целью определения начального уровня подготовки обучающихся. Тест состоит из 15 вопросов с выбором ответа по основам компьютерной графики и 3D технологий.

Текущий контроль (оценка уровня и качеств освоения разделов программы и личностных качеств учащихся) проводится в форме выполнения практического задания (каждое занятие), позволяет отследить динамику освоения материала, вовремя корректировать трудности. Поддерживать мотивацию учащихся. Отслеживание достигнутых учащимися результатов осуществляется методом педагогического наблюдения и отражается педагогом в карте наблюдений «Формирование метапредметных и личностных результатов» и в соответствующих информационных картах: «Уровень достижения учащимися предметных результатов» и «Уровень достижений учащимися метапредметных и личностных результатов»

Промежуточная аттестация предусмотрена по окончании первого полугодия и первого года обучения с целью выявления уровня освоения программы учащимися и корректировки процесса обучения. Является переводным на следующий год обучения, а также, промежуточный контроль осуществляется по окончании первого полугодия второго года обучения. Промежуточная аттестация проводится в форме практических заданий.

Итоговый контроль оценка уровня и качества освоения учащимися дополнительной общеразвивающей программы проводится на последнем занятии в форме представления итоговой презентации проекта, позволяет оценить достижение планируемых предметных, метапредметных и личностных результатов.

Все результаты отражаются в итоговой информационной карте «Уровень освоения учащимися программы «3D моделирование и прототипирование».

ИНФОРМАЦИОННАЯ КАРТА
Уровень освоения учащимися программы
3D МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ»
 За ___ полугодие 20__ /20__ учебный год

Педагог дополнительного образования: _____, группа № _____

№ П/ П	ФАМИЛИЯ, ИМЯ УЧАЩЕГОСЯ	РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ						СРЕД НИЙ БАЛЛ	УРОВЕНЬ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ (НИЗКИЙ/ СРЕДНИЙ/ ВЫСОКИЙ)
		Предметные результаты		Метапредметные результаты		Личностные результаты			
		Средний балл	Уровень освоения (низкий/ средний/ высокий)	Средний балл	Уровень освоения (низкий/ средний/ высокий)	Средний балл	Уровень освоения (низкий/ средний/ высокий)		
1.									
2.									

Уровень освоения программы определяется исходя из среднего балла результатов обучения по программе:

Низкий уровень – от 0 до 1,4 балла.

Средний уровень – от 1,5 до 2,4 баллов.

Высокий уровень – от 2,5 до 3 баллов.

Критерии оценивания предметных результатов

Критерий оценивания	Баллы
Критерии оценивания практических заданий	
Результаты выполнения практических заданий	
1 2 балла задание выполнено на $\frac{2}{3}$, либо выполнено полностью, но не соответствует заданным критериям; 3 балла — задание выполнено полностью, соответствует заданным критериям.	
Критерии оценивания проекта (изготовленного изделия)	
Соответствие техническому заданию	1 балл — задание выполнено частично, существенные отклонения от ТЗ; 2 балла — задание в основном выполнено, есть небольшие отклонения от ТЗ; 3 балла — полное соответствие техническому заданию, все требования соблюдены.
Качество 3D-модели	1 балл — модель содержит ошибки топологии (незамкнутые грани, дублирующие вершины), грубые нарушения пропорций; 2 балла — модель в целом корректна, но есть небольшие недочеты в топологии или пропорциях; 3 балла — отлично выполнена топология, точные пропорции, оптимальная плотность полигонов.
Использование инструментов Blender	1 балл — использованы только базовые инструменты, отсутствуют модификаторы; 2 балла — применены основные модификаторы, но не в полном объеме; 3 балла — комплексное использование инструментов и модификаторов, применение нестандартных решений.
Качество физической модели (печать и постобработка)	1 балл — изделие напечатано с дефектами (расслоение, деформация), постобработка отсутствует или выполнена некачественно; 2 балла — изделие в целом соответствует модели, заметны небольшие дефекты печати, постобработка выполнена частично; 3 балла — идеальное качество печати, аккуратная постобработка (шлифовка, покраска, сборка), отсутствие видимых дефектов.
Функциональность изделия	1 балл — изделие не выполняет заявленные функции, конструктивные ошибки; 2 балла — изделие выполняет основные функции, но с ограничениями или неудобствами в использовании; 3 балла — изделие полностью функционально, удобно в использование, продумана эргономика.
Оригинальность и творческий подход	1 балл — стандартное решение, отсутствие креативности, копирование готовых моделей; 2 балла — присутствуют элементы оригинальности, адаптация существующих решений под задачу; 3 балла — уникальная концепция, нестандартные решения, творческий подход к дизайну и

функциональности.

Критерии оценки презентации проекта

Презентация проекта (презентация + выступление):

1 балл — проект неполный, отсутствуют ключевые этапы, презентация не структурирована, нет фото/видео материалов, речь сбивчивая, не с

2 балла — презентация выстроена логична, но недостаточно наглядна. Речь последовательна, но выступающий неуверенно отвечает на вопросы;

3 балла — полный проект со всеми этапами (эскизы, скриншоты, фото/видео), структурированная и наглядная презентация. Выступление уверенное, свободное владение материалом, выступающий убедительно отвечает на вопросы.

ИНФОРМАЦИОННАЯ КАРТА
Уровень достижения учащимися метапредметных и личностных результатов»
за _ полугодие 20__ /20__ учебного года

Педагог _____ Группа № _____

№ п/п	Фамилия, имя учащегося	Метапредметные результаты						Личностные результаты				
		Объемно-пространственное и логическое мышление, умение анализировать объекты в трех измерениях	Навыки исследовательской и проектно-инженерной деятельности	Навыки самоконтроля и концентрации внимания при работе с физическими моделями	Умение структурировать техническую информацию, планировать и контролировать публичное выступление, применяя аргументированные критерии для обоснования технологического решения	Итого средний балл	Уровень освоения (низкий/ средний/ высокий)	Ответственное отношение к соблюдению правил техники безопасности и эксплуатации оборудования	Навык продуктивного взаимодействия в команде, распределения ролей и совместного конструктивного разбора проектного решения	Устойчивый интерес к инженерно-техническим направлениям деятельности и понимание их значимости в современном мире	Итого средний балл	Уровень освоения (низкий/ средний/ высокий)

Уровень освоения программы определяется исходя из среднего балла результатов обучения по программе (предметные, метапредметные, личностные):

Низкий уровень – от 0 до 1,4 балла.

Средний уровень – от 1,5 до 2,4 баллов.

Высокий уровень – от 2,5 до 3 баллов.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ И ЛИЧНОСТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ
по дополнительной общеразвивающей программе «3D моделирование и прототипирование»

№ п/п	Планируемые результаты	Параметры (критерии) оценки
Метапредметные результаты		
	Объёмно-пространственное и логическое мышление, умение анализировать объекты в трёх измерениях	1 балл — учащийся затрудняется представить объект в 3D, допускает грубые ошибки в анализе геометрии. 2 балла — учащийся может представить объект в 3D, анализирует основные характеристики, но допускает неточности. 3 балла — учащийся легко визуализирует объекты, точно анализирует геометрию, прогнозирует возможные проблемы при печати и сборке.
	Навыки исследовательской и проектно-инженерной деятельности	1 балл — учащийся не участвует в планировании, выполняет только отдельные поручения без понимания общей цели. 2 балла — учащийся участвует в планировании, выполняет свою часть работы, но не всегда понимает связь с общим результатом. 3 балла — учащийся активно участвует в планировании, предлагает идеи, понимает взаимосвязь этапов проекта, помогает другим членам команды.
	Навыки самоконтроля и концентрации внимания при работе с физическими моделями	1 балл — учащийся часто допускает ошибки из-за невнимательности, не замечает их, не контролирует процесс. 2 балла — учащийся допускает отдельные ошибки. Замечает их после указания, частично контролирует процесс. 3 балла — учащийся практически не допускает ошибок, самостоятельно замечает и исправляет их, сохраняет концентрацию на протяжении всей работы.
	Умение структурировать техническую информацию, планировать и контролировать публичное выступление, применяя аргументированные критерии для обоснования технологического решения	1 балл (начальный уровень) — у учащегося техническая информация подана хаотично, существенное нарушение регламента выступления. Обоснование отсутствует или сводится к «мне так удобнее». 2 балла (средний уровень) — учащийся в целом структурировал информацию, но есть избыточность или пропущены важные элементы, регламент соблюдается с небольшим отклонением. Обоснование есть, но опирается на общие фразы. 3 балла (высокий уровень) — учащийся чётко структурировал техническую информацию, выступление укладывается в регламент, имеет чёткие блоки. Решение обосновано с опорой на измеримые критерии: прочность/точность/время/стоимость/качество поверхности и т. п.

Личностные результаты		
	Навык продуктивного взаимодействия в команде, распределения ролей и совместного конструктивного разбора проектного решения	1 балл — учащийся избегает взаимодействия, выполняет только личные задачи, создаёт препятствия для работы команды. 2 балла — учащийся участвует в работе команды, выполняет порученные задачи, но не проявляет инициативы в координации. 3 балла — учащийся активно участвует в распределении задач, помогает членам команды, координирует процесс сборки, находит решения при конфликтах.
	Устойчивый интерес к инженерно-техническим направлениям деятельности и понимание их значимости в современном мире	1 балл – учащийся проявляет интерес только при прямом стимулировании, не ищет дополнительную информацию. 2 балла – проявляет интерес к новым технологиям, задаёт вопросы, изучает дополнительные материалы по рекомендации преподавателя. 3 балла - учащийся самостоятельно изучает новые технологии, предлагает идеи для проектов, ищет нестандартные решения, делится знаниями с другими.
	Ответственное отношение к соблюдению правил техники безопасности и эксплуатации оборудования	1 балл - учащийся нарушает правила ТБ, небрежно обращается с оборудованием, допускает перерасход материалов. 2 балла - учащийся соблюдает правила ТБ, аккуратно обращается с оборудованием, рационально использует материалы, но иногда допускает ошибки. 3 балла - учащийся строго соблюдает правила ТБ, бережно обращается с оборудованием, оптимизирует расход материалов, следит за порядком на рабочем месте.

КАРТА НАБЛЮДЕНИЙ

«ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАПРЕДМЕТНЫХ И ЛИЧНОСТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ»

Педагог _____ Группа _____

№ п/ п	Ф.И. уча- щегося	Метапредметные результаты								Личностные результаты												
		Объемно-пространственное и логическое мышление, умение анализировать объекты в трех измерениях			Навыки исследовательской и проектной инженерной деятельности			Навыки самоконтроля и концентрации внимания при работе с физическими моделями		Умение структурировать техническую информацию, планировать и контролировать публичное выступление, применяя аргументированные критерии для обоснования технологического решения			Ответственное отношение к соблюдению правил техники безопасности и эксплуатации оборудования			Навык продуктивного взаимодействия в команде, распределения ролей и совместного конструктивного разбора проектного решения			Устойчивый интерес к инженерно-техническим направлениям деятельности и понимание их значимости в современном мире			
		1	2	Результат	1	2	Результат	1	2	Результат	1	2	Результат	1	2	Результат	1	2	Результат	1	2	Результат

Оценка:

Низкий уровень – 1 балл.

Средний уровень – 2 балла.

Высокий уровень – 3 балла.

Карта наблюдений заполняется педагогом в середине и в конце обучения по программе. На основе наблюдений педагог определяет уровень формирования метапредметных и личностных результатов. Результат по каждому показателю переносится в информационную карту «Уровень достижения учащимися метапредметных и личностных результатов».