

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки 09.04.04 – Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
« _____ » _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Детализированное компьютерное макетирование артиллерийского
полукапонира

Исполнитель
студент группы 057-ом _____ А.В. Петренко

Руководитель
профессор, доктор техн. наук _____ И.Е. Еремин

Руководитель магистерской
программы
профессор, доктор техн. наук _____ И.Е. Еремин

Нормоконтроль
Инженер кафедры _____ В.Н. Адаменко

Рецензент _____ О.Г. Какаулин

Благовещенск 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ А.В. Бушманов

подпись

« _____ » _____ 2022 г.

З А Д А Н И Е

К магистерской диссертации студента группы 057-ом _____

Петренко Алексея Вадимовича _____

1. Тема магистерской диссертации: Детализированное компьютерное макетирование артиллерийского полукапонира

(Утверждено приказом от 07.02.2022 № 228-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 23.06.2022

3. Исходные данные к магистерской диссертации: Исторические описания, топографические планы, учебная литература, интернет ресурсы

4. Содержание магистерской диссертации (перечень подлежащих разработке вопросов): анализ предметной области проводимого исследования; детализированное моделирование и 3D-печать, макетирование модели АПК.

5. Дата выдачи задания 31.01.2022

Руководитель выпускной квалификационной работы: И.Е. Еремин,

профессор, доктор техн. наук

_____ (фамилия, имя, отчество, должность, уч. степень, уч. звание)

Задание принял к исполнению (31.01.2022) _____

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 84 с., 71 рисунок, 1 таблицу, 33 источника.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, 3D-ПЕЧАТЬ, БЛАГОВЩЕНСКИЙ АРТИЛЛЕ- РИЙСКИЙ ПОЛУКАПОНИР, МАКЕТ, IT-ТЕХНОЛОГИИ

Целью данной выпускной квалификационной работы является создание детализированной компьютерной модели Благовещенского артиллерийского полукапонира №108 с последующим созданием физической репликации.

В перечень задач данной выпускной квалификационной работы входит:

- сбор данных об объекте исследования;
- анализ исторических данных об исследуемом объекте;
- анализ существующих решений;
- обзор программного обеспечения;
- подготовка материала для создания трехмерной модели;
- создание трехмерной модели;
- трехмерная печать макета.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Общая характеристика предметной области и объекта исследования	11
1.1 Области применения компьютерной графики	11
1.2 Макетирование. Виды макетирования	15
1.3 Артиллерийский полукапонир	18
2 Предлагаемая технология решения задачи	37
2.1 Обзор по трехмерные моделирования	37
2.1.1 Blender	37
2.1.2 Autodesk 3Ds max	40
2.1.3 Autodesk maya	41
2.1.4 Zbrush	43
2.1.5 Обоснование выбора 3D-редактора	45
2.2 Обзор устройств аддитивной технологии	46
2.2.1 FDM-принтеры	46
2.2.2 SLA и DLP-принтеры	51
2.3 Обзор ПО трехмерной печати	52
2.3.1 Ultimaker Cura	53
2.3.2 PrusaSlicer	54
2.3.3 Simplify3D	55
2.3.4 Chitubox	57
2.3.5 Обоснование выбора слайсера	59
3 Практическая реализация макета АПК	60
3.1 Компьютерное моделирование артиллерийского полукапонира	60
3.2. Трёхмерная печать артиллерийского полукапонира	70

3.3. Изготовление макета АПК	74
Заключение	78
Библиографические ссылки	79
Библиографический список	82

ВВЕДЕНИЕ

Макетирование в физическом своем олицетворении есть обязательная часть образного конструирования [1]. В отличие от чертежей, рисунков, схем и различных описаний, макет дает целое визуальное понятие о создаваемом изделии. Макет возможно анализировать с разных точек зрения, поворачивая его или изменяя позицию наблюдателя.

Макетирование — метод и процесс объемного проектирования изделий, их частей и деталей [2]. Макетирование дает художнику-конструктору наглядную информацию о создаваемых объектах, позволяет делать заключения о соответствии процесса проектирования, его промежуточных и конечных результатах условиям проектной задачи. Макетирование является формой проектно-исследовательского моделирования, дающая возможность приобретать дополнительные (отсутствующие в начале проектирования) знания о создаваемом объекте и вести проектирование так, для того, чтобы результат его в наибольшей степени отвечал предъявляемым требованиям.

Макет — объемное физическое изображение, дающее сведения об свойствах и особенностях проектируемого изделия (объемно-пространственной структуре, топологии и фактуре поверхностей, габаритах, размерах и пропорциях, функционировании и др.), абсолютно или частично изготовленное из специализированных материалов, доступное для обозрения и практического действия, прилагаемое для решения первоначально поставленных либо образовавшихся в течении работы проектно-исследовательских задач.

В качестве исследуемого объекта был выбран артиллерийский полукапонир №108 (рис. 1), установленный на набережные реки Амур в городе Благовещенск. Полукапонир — реальное сооружение, связанное с историей обороны Благовещенска с 1935 по 1990 годы. Таких военных объектов на набережной реки Амура раньше было много. Все вместе они образовывали оборонительную линию, в которую входили инженерные пулеметные сооружения, окопы с минометными позициями. Это был целый укрепрайон.



Рисунок 1 – Артиллерийский полукапонир №108

Так как полукапонир является важным для истории и культуры Благоевченска объектом, поэтому создание макета артиллерийского полукапонира является актуальным решением. Данный макет позволит сохранить исторический объект в виде цифровой и физической малой копии исследуемого объекта.

Целью данного проекта является создание цифрового и физического макета в масштабе 1:35. Для осуществления установленной цели были выделены следующие задачи:

- анализ имеющихся схем и чертежей сооружения;
- разработка по чертежам точной электронной копии;
- трёхмерная печать разработанной модели макета;
- разработка наполнения с последующей печатью.

Создание макета артиллерийского полукапонира несёт за собой, как возможность сохранения культурного и военного наследия в виде миниатюрной физической копии, так и возможность обучающихся, а также посетителей сооружения экскурсионного характера, понять строение и назначение того, или иного помещения.

Проект включает в себя такие технологии, как:

- виртуальная историческая реконструкция;
- аддитивные технологии.

Виртуальная историческая реконструкция опирается на реализации цифровой трехмерной модели объекта, взятого с реально существующего строения с имеющийся о нём информации.

Данную технологию можно применить для различного вида задач:

– возможность произведения различных декораций для художественных и исторических фильмов. Для реализации высокой точности такого важного аспекта кинематографа, как атмосфера, того, или иного города, поселения или временного отрывка различных эпох, необходимо создание всевозможных декораций в целях создания исторической обстановки необходимого события. Трехмерная компьютерная графика дает возможность произвести прототипирование точных копий моделей, которые создаются на основе полученных данных того, или иного объекта;

– разработка персонажей компьютерных игр в виде трехмерных моделей. Для более правдивой картинке в компьютерной игре, важным фактором является грамотно передать, какой-либо момент, например, историческое событие, создать которое возможно, если произвести разработку окружения нужного временного отрезка. Это становится важным в силу того, что во время игрового процесса, игрок обращает внимание не только на основной сюжет игры, но также на видимые игровые участки, или объекты;

– мультимедийное представление. В теории экскурсии в виртуальной реальности смогут сместить реальные. Важным аргументом данного высказывания является то, что пользователю в данном случае, для посещения выбранного места, не нужно выходить за пределы игровой зоны, что позволит рассмотреть всевозможные музеи, выставки, достопримечательности, которые в реальности посетить довольно таки сложно. Помимо использования виртуальной реальности для посещения достопримечательностей из дома, можно использовать данную технологию в рамках образования;

– деятельность, связанная с научными исследованиями. Множество инструментов и сред трехмерного моделирования, используются с целью реконструкции исторических моментов различных временных промежутков.

В конце концов трехмерное моделирование подразумевает создание точной копии реально существующего объекта

Аддитивные технологии, или аддитивное производство – от англ. «Additive Manufacturing», это создание изделий, реализуемое за счёт послойного добавления материала на поверхность в виде плоской платформы. Данный способ создания объектов также называют «выращиванием» из-за технологии послойного изготовления объекта.

В отличие от распространённого производства вначале которого уже имеется заготовка, от которой «вычитается» всё лишнее, при использовании аддитивных технологий, наоборот объект производства создаётся с нуля, из имеющихся расходных материалов.

Ярким примером устройства, работающего при помощи аддитивных технологий это 3D-принтеры (рис. 2). 3D-принтеры – это станки с числовым программируемым управлением от сокр. ЧПУ, данные устройства могут работать, используя разные технологии создания изделия, но их объединяет общая идея создания объекта слой за слоем, т.е. используя аддитивный метод.

Центр аддитивных технологий на базе ИЛМиТ позволяет предложить Заказчику не просто материал, а готовое комплексное технологическое решение, включающее в себя оптимизацию детали под технологии 3D-печати, разработку технологии производства изделия, включая постобработку и рекомендации по выбору материала в зависимости от условия эксплуатации. При отсутствии материалов с требуемым набором свойств в существующей линейке специалисты готовы создать материал по требованиям заказчика.

Помимо порошков, развиваются технологии печати на проволоке, которые отличаются высокой скоростью производства. Новые виды сплавов в виде проволоки для 3D-печати изучаются совместно с рядом российских и зарубежных

ных компаний, специализирующихся на производстве соответствующего оборудования.



Рисунок 2 – 3D-принтер

Актуальность данного типа устройств заключается в возможности быстрого прототипирования и изготовления продуктов различного масштаба, это могут быть какие-то производственные запчасти, а также мелкие бытовые приспособления.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Области применения компьютерной графики

На сегодняшний день сложно представить мир без применения компьютерной графики. Данный вид деятельности находит себе применения не только в создании художественных композиций, или различных эффектов, но и в большинстве существующих отраслей, например, в коммерции, медицине, технике, инженерии, научных исследованиях. Основная часть из перечисленных отраслей, имеет дело с компьютерной графикой в целях визуализировать ту, или иную информацию, посредством построения схем, графиков, гистограмм, диаграмм, прототипов и т.д., всё это используется для наглядного отображения всевозможной информации.

Когда инженеры разрабатывают различные модели техники, авто, или авиатранспорта, то они используют их трёхмерные изображения, чтобы презентовать финальный вид продукта [3]. Архитекторы, при этом используют компьютерную графику для того, чтобы отобразить на экране 3D-изображение здания, или сооружения, с возможностью внести изменения в интерьер, или экстерьер, а также выполнить отображение его на различном ландшафте, из которого можно произвести те, или иные выводы.

К основным областям применения компьютерной графики можно отнести:

– научная графика (рис. 3). Данный вид графики появился с появлением первых компьютеров, при помощи которых, для визуализации цифровой информации, производилась графическая обработка, по преобразованию чисел в графики, диаграммы, а также чертежи, всё это выводилось способом символьной печати. В процессе развития компьютерной техники, появились специализированные устройства для построения графиков и диаграмм, которые называли плоттеры, они производили черчение чертежей, а также различных графиков при помощи пера. Современная техника позволяет отображать научную графиче-

ку в виде сложных вычислительных экспериментов, а также строить трёхмерные графики, а также динамические процессы с показательным представлением полученных результатов;

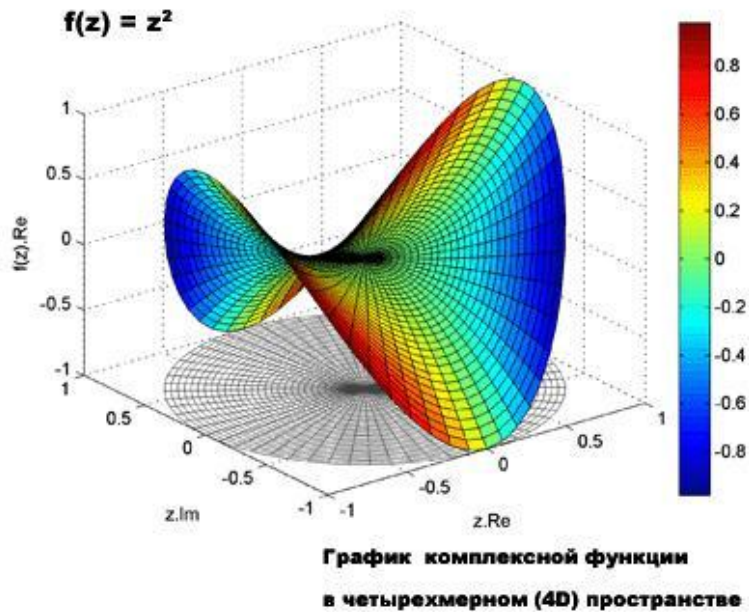


Рисунок 3 – Научная графика

– деловая графика (рис. 4). Это область компьютерной графики, которая выполняет ряд действий для построения множества показателей работы предприятий. Различные показатели, отчетная документация, анализ финансово-хозяйственной деятельности, экономическая оценка и т.д., данные объекты являются целью деловой графики.

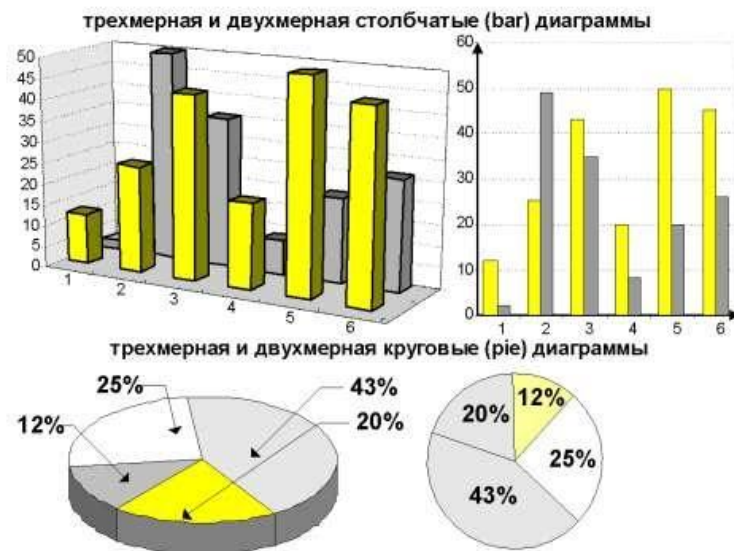


Рисунок 4 – Деловая графика

Программной частью деловой графики является комплекс офисной продукции, включающий работу с текстовыми редакторами, а также электронными таблицами;

– конструкторская графика (рис. 5). Непосредственно используется в производстве инженерами, архитекторами и изобретателями. Данная область графики подразумевает использование так называемых систем автоматизированного проектирования, или САПР. С помощью САПР можно получать, как двухмерные схемы и чертежи, так и трёхмерные, сложные конструкции, с возможностью расчёта жесткости, а также позволяет создавать динамическую визуализацию;

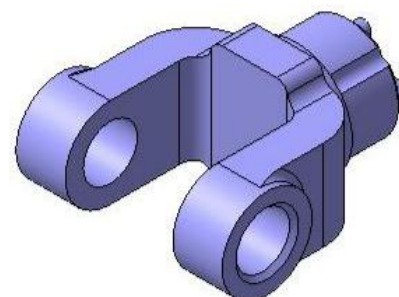
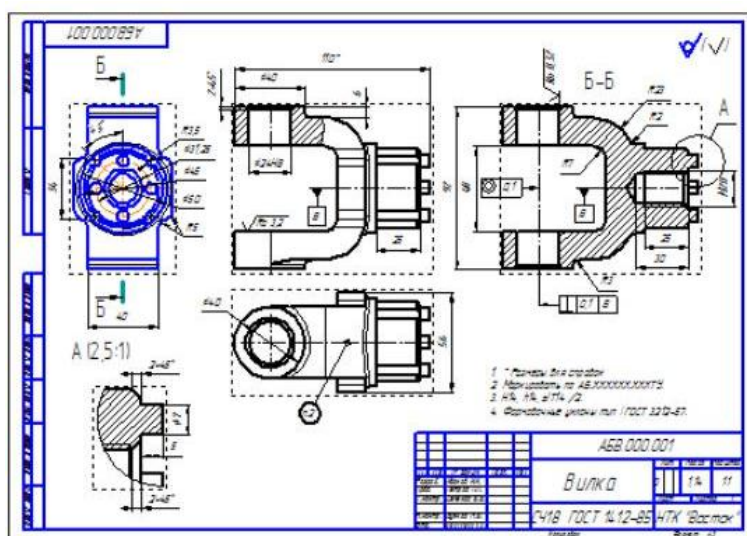


Рис. 5 – Конструкторская графика

– иллюстративная графика. Представляет собой простое рисование и черчение с помощью ПК. Работа с этим видом компьютерной графики представляется возможным с помощью прикладного программного обеспечения, которое поставляется в составе операционной системы. Такие программы называют графическими редакторами;

– художественная и рекламная графика (рис. 6). Данная область компьютерной графики отличается от иллюстративной графики, за счет использования более сложного программного обеспечения, при помощи которого, создаются

рекламные ролики, компьютерные игры, презентации, видео различной сложности и направленности, арт-объекты.



Рисунок 6 – Художественная и рекламная графика

Графические редакторы данной области очень требовательны к ресурсам персонального компьютера, так как имеют дело с большим потоком информации. Эти программы обладают огромным количеством полезных инструментов и возможностей, что позволяет создать реалистичные изображения, сложных анимаций, а также объемных изображений. В случае работы с объемными изображениями, используются специальные среды, которые дают возможность работать с объектами в пространстве, позволяют при этом менять ракурс, положение объекта в пространстве, угол поворота, масштаб, выполнять удаление, или деформировать объект. Все эти возможности несут за собой работу с большим количеством информации;

– компьютерная анимация (рис. 7). Анимация – это последовательность различных изображений. Создание анимации представляет собой процесс создания изображений от начального, до конечного положения динамических объектов. Все промежуточные состояния этих объектов рассчитываются средствами ПК, включая расчёты, которые опираются на математическое описание разных движений. Данная последовательность изображений, выводится на экран с заданной частотой, в результате чего и получается анимация.

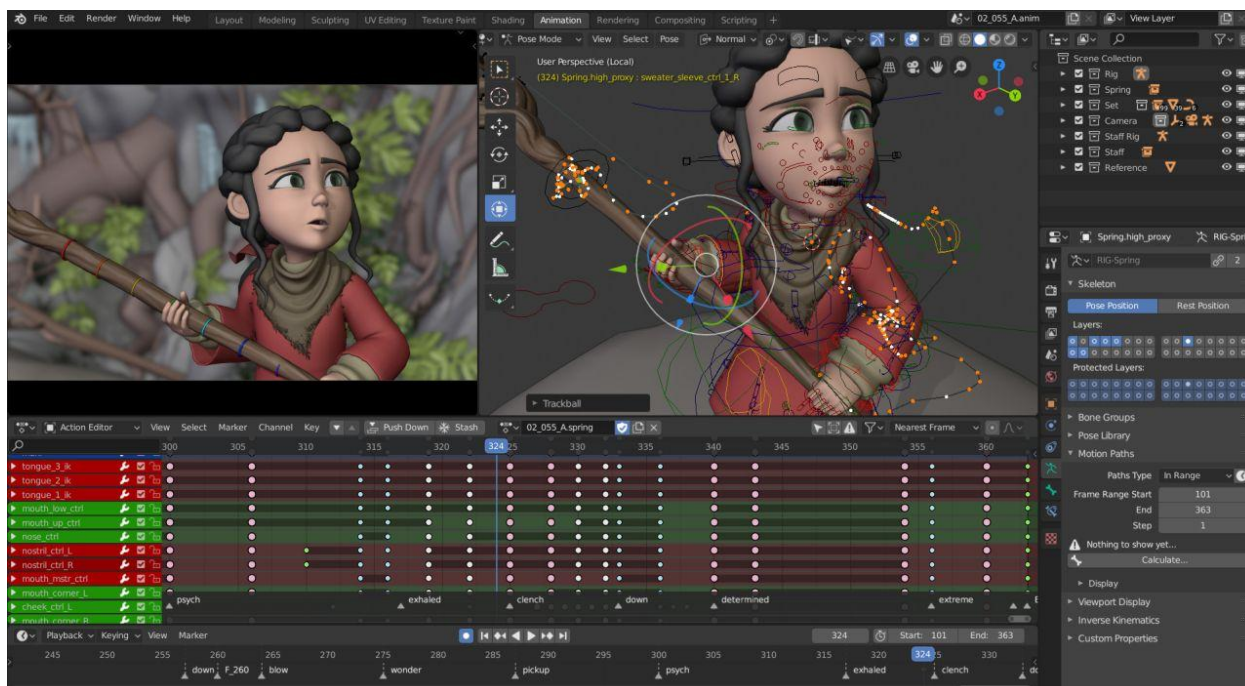


Рисунок 7 – Компьютерная анимация

1.2 Макетирование. Виды макетирования

В настоящее время, в области макетирования существует множество типов и видов, а также способов создания макетов. Если разобрать типы макетов, а также архитектурных визуализаций, то условно их можно разделить на концептуальные и детальные, интерьерные и экстерьерные. К тому же рассматривая виды макетов, то к ним можно отнести прототипирование и реставрацию различных копий с повреждениями любой сложности [4]. Имеется возможным выполнить прототипы макетов неразборные и разборные, что важно при больших площадях, масштабах и в случае создания объектов для демонстрации научно-технического процесса. Образцы макетов еще могут проявляться статичными и динамическими, монолитными и включающие в себя разные компоненты и материалы. Основные типы макетов:

- интерьерный макет. Данные макеты используются для визуализации дизайна и композиции внутренних помещений строения. Как правило, подобные макеты производят в масштабах 1: 50, 1: 25, 1: Чаше всего, в интерьерных макетах наружные элементы помещений не показывают, делая упор на внут-

ренной планировке помещения. Для большей наглядности интерьерный прототип исполняют со съёмным верхом, или без крыши (без верхних перекрытий);

– архитектурный макет. Модели архитектурного характера можно назвать пространственными и объемными прототипами объекта в другом масштабе. Принципы архитектурного планирования в ряде случаев допускают некоторое искажение пропорций в установленных пределах. Главной задачей при создании архитектурного макета сооружения является внешнее сходство и сходство с прототипом. Особое внимание к точности масштаба и пропорций необходимо соблюдать при макетном проектировании, когда архитектурный макет здания, группы зданий или только одной части здания (например, квартиры) выполняется только на макете. макет. макет. макет. макет. на основе эскиза или эскизного проекта. В других вариантах осуществления архитектурное прототипирование необходимо для целей рекламы или демонстрации. Такие миниатюры имеют большое значение в сфере инвестиций, маркетинга в строительстве;

– макет макета. Планировочная схема представляет собой копию определенного участка с расположенными на нем группами сооружений. Ландшафтные панорамы, макеты зданий и схемы коттеджных поселков входят в этот вид планировки территории. Специфика планировки городов и микрорайонов заключается в возможности анализировать не только объекты как бы с большой высоты, но и детально изображать нюансы ландшафта, высоты, деревьев и водоемов. При создании макетов такого рода макеты делаются намеренно;

– технический макет. Техническими схемами принято называть разные модели транспортной техники с функциональными системами. Часто бывает необходимо создать прототип новой модели автомобиля с полностью функционирующими электронными компонентами и механикой. Следующая область называется моделированием технического макета. Обычно мы часто видим небольшие макеты железных дорог, движущихся по рельсам с работающими огнями. Кроме того, всем знакомы игрушечные модели техники – автомобили с открывающимися дверями и трансмиссией, корабли со складными мачтами и

подъемными механизмами, вертолеты с крутящимися лопастями. Безусловно, качественное макетное прототипирование предполагает создание моделей техники и транспортных средств специального назначения, более точно и качественно по сравнению с игрушечными моделями. Нередко создание планировок жилых помещений с действующими лифтами необходимо при создании масштабных панорам зданий и планировочных планировок в проектных или демонстрационных целях;

– механическая компоновка. Механическими моделями принято называть предметы в миниатюре, с помощью которых наглядно показываются различные научно-технические процессы. Массогабаритные макеты используются для представления двигательных и функциональных возможностей механизмов. Часто в учебных целях используются механические учебные модели сборно-разборного типа для детальной демонстрации работы или взаимодействия механических узлов. Перед началом работ по изготовлению промышленного образца изделия используются прогрессивные технологии прототипирования. Прототип позволяет еще на этапе разработки механической схемы вносить коррективы в материальную архитектуру системы, выполнять задачи внешнего оформления. После разборки статического прототипа начинается динамическое прототипирование – выполняются чертежи генерального плана, изготавливаются детали и дорабатываются компоненты. Техническая схема часто электрифицируется, а при необходимости обеспечивается водоснабжение и установленные характеристики движения изделия в целом;

– художественный макет можно использовать как визуальное представление самых разных вещей, а также в рекламных целях. Некоторые художественные макеты могут иметь больший масштаб, чем изделие, прототипом которого был изготовлен макет, поэтому называть их миниатюрами будет не совсем корректно. Псевдоархитектурные макеты церквей, макеты замков и даже макеты домов часто заказывают для украшения и привлечения внимания — они пользуются большой популярностью у некоторых риелторов и загородных застройщиков. При разработке прототипов и копий различных предметов по

условиям художественного макета часто не является необходимым фактором; для создания макета с высокой точностью будет достаточно соблюдения основных пропорций, чтобы показать визуальное сходство с объектом, являющимся оригиналом. Очень часто художественные крупные макеты могут использоваться в производственных целях. Например, создание различных логотипов компании, предназначенных для размещения на витринах, или в качестве наружной рекламы, служащей для привлечения внимания к вашему заведению. Художественные макеты редко создаются с использованием динамических частей, но большое внимание уделяется визуальному оформлению макета, например, подбору цветов, а также реализации смоделированных материалов объекта для визуального сходства с исходным объектом;

– оформление выставки. Этот тип макетов, как правило, включает в себя отдельные объекты, механизмы и, например, здания, а также может представлять собой совокупность объектов, либо их комплекс. Целью этого типа макета является создание макета, который будет выделяться на фоне. Данная работа можно отнести к архитектурному, художественному и выставочному макетам. Макет выполнен в масштабе 1: 35, и имеет высокую точность выполнения с минимальными погрешностями и может служить, как в целях выставочного экспоната, учебной модели, и т. Виртуальная часть проекта выполнена с использованием сред трехмерного полигонального, твердотельного и скульптинг моделирования. Основным материалом макета является ПЛА-пластик, предназначенный для 3D-печати методом послойного наплавления.

1.3 Артиллерийский полукапонир

Полукапонир — военное сооружение, предназначенное для ведения огня в одном направлении, в чем и заключается основное отличие от капонира, ведущего огонь в двух противоположных направлениях [5].

Полукапонир выглядит как сводчатое помещение, частично под насыпью земли. Вокруг него был сооружен ров, а сам полукапонир был вооружен пушками для отстрела противника в случае нападения.

Благовещенский артиллерийский полукапонир № 108 построен в 1935 г. В 1953 г. законсервирован. Полностью заброшен в девяностых. И только в апреле 2008 года укрепление было окончательно закреплено за Дальневосточным высшим общевойсковым командным училищем. Полукапонира было решено привести в порядок.

На сегодняшний день территория и помещение военного объекта представляет собой музей. АПК сможет выдержать авиаудар бронебойными бомбами. Объект включает набор жилых помещений и бойниц, в них входят: комнаты, комендантская с перископом, дизель-генераторная и т.д. В боевых помещениях находятся боевые орудия ЗИФ-26, калибром 85-мм образца 1948 г., их состояние оценивается, как удовлетворительное, при помощи рычагов имеется возможность перемещения оружия. За бойницами находятся помещения с кислородными баллонами и снарядами.

Вдоль берега реки Амур, было множество АПК, они составляли Амурский укрепрайон. Также они включали пулеметные расчёты, а также траншеи с минометными расчётами.

Самым маленьким помещением в полукапонире был комендантский отсек, имевший перископ. Аппарат наблюдения имел 10-кратное увеличение, благодаря чему комендант мог следить за полем боя. Связь с казематами осуществлялась по переговорным трубам, а с ближайшими укреплениями — по телефону и с помощью коротковолновой радиостанции.

Примечательно, что пушки направлены только в одну сторону — чтобы они могли простреливать территорию вдоль набережной.

Это связано с тем, что полукапонир входил в комплекс оборонительных сооружений. Некоторые были направлены в сторону реки и предназначались для предотвращения проникновения условного противника за линию государственной границы. Другим, подобным этой структуре, уже приходилось сражаться с внедрившимся врагом.

19 сентября 1931 года «Кватунская» армия под флагами Японии, дала старт масштабным боевым действиям на территории Маньчжурии, против ки-

тайских войск. В начале февраля 1932 года японцами был взят Китайский город Харбин, а в конце 1932 года [6], они вышли к русской границе. Количество японских войск к этому времени насчитывал около 100 тыс. человек. В связи с этими происшествиями, намерения японских войск были ясны, ситуацию оценили, как угрожающую СССР. Ситуация обострялась к началу военных действий между Японией и СССР. В итоге военное руководство СССР приняло решение выстроить укрепрайоны с целью защиты дальневосточных рубежей.

Приказом войск ОКДВА N 30/010 от 18 марта 1932 года для строительства Благовещенского укрепрайона в целях обороны левого берега реки Амур был создан 4-й отдел начальника работ. В апреле - мае 1932 г. был образован Благовещенский укрепрайон [7] со штабом в г. Благовещенске, где 2 ноября 1932 г. развернулся район обороны 99-го отдельного пулеметного батальона (ОПБ) 5-й роты состав был сформирован и расположен. 5 сентября 1932 г. было затоплено первое военное сооружение, а к концу 1935 г. завершено строительство долговременных оборонительных сооружений и дорог укрепрайона. С 1938 по 1939 год велось строительство деревянно-земляных и гравийно-бетонных сооружений, установка танков МС-1 в качестве огневых точек укрепрайона [8].

Летом 1939 года в Благовещенском укрепрайоне началось масштабное строительство в целях создания артиллерийского военного усиления. В данную программу было включено создание долговременных оборонительных сооружений, включающие в себя в основном артиллерийские полукапониры, строительство окончено к концу 1940 года.

В середине 1939 г. в Благовещенском укрепрайоне была образована стройка (штат № 9/841 - 30 чел. Протокол 2 ОКА 08/001161 от 09.07.1939 г.) для реализации программы артиллерийского усиления, т.е. возводились долговременные оборонительные сооружения, в основном новые артиллерийские полукапониры. В 1940 году их строительство было завершено.

1 сентября 1941 года Благовещенский укрепрайон был переименован в 101 укрепрайон [9]. По состоянию на октябрь 1943 года в 101 укрепрайоне име-

лось 222 долговременных укрепления, в том числе 194 долговременных огневых точки и артиллерийских полукапониров, 13 КП частей обороны, 14 наблюдательных и артиллерийских наблюдательных пунктов, 1 КП укреп. область.

К началу советско-японской войны 1945 года 101 укрепрайон выполнял задачу в полосе 2-й Краснознаменной армии 2-го Дальневосточного фронта по прикрытию 98-километрового участка государственной границы от пос. Марково до с. Красное Приамурье. В августе 1945 года части 101-го укрепрайона приняли участие в наступательной операции советско-японской войны на сахалийском оперативном направлении (г. Сахальянь, ныне г. Хэйхэ). За образцовое выполнение заданий командования в боях с японскими войсками на Дальнем Востоке, наградили 604 человека.

Капонирная артиллерия. События на озере Хасан и р. Халхин-Гол заставили советское руководство резко ускориться в 1939-1941 гг. работы по строительству новых и укреплению существующих укрепрайонов.

В 1940 г. в Благовещенском укрепрайоне формируются гарнизоны отдельных капонирных артиллерийских взводов и строятся артиллерийские (орудийные) полукапонеры (АПК) [10] (рис. 8), подчиненные расположению пулеметных дивизионов. Они построены по проектам, разработанным в 1938 году конструкторским бюро машиностроения, а затем Главным военно-инженерным управлением Красной Армии [11]. По этим же проектам агропромышленный комплекс строился до 1939 г. в новых укрепрайонах по линии «старой» западной госграницы, а в 1940-1941 гг. на линии «новой» западной государственной границы в европейской части СССР. Долговременные оборонительные сооружения такого типа гораздо больше соответствовали возросшим возможностям советской экономики, а также реалиям современного поля боя. Они, как и остальные, построенные в то время, относятся ко второму поколению советских долговременных оборонительных сооружений.



Рисунок 8 – Гарнизоны артиллерийских полукапониров (101-го (Благовещенского) укрепрайона № 108 (слева) и № 004 (справа))

В 1940-е годы агропромышленный комплекс строился в строгом соответствии с типовыми проектами, что позволяло высаживать их в кратчайшие сроки и значительно сокращало время на проектирование новых оборонительных позиций.

В системе долговременных оборонительных сооружений Благовещенского укрепрайона агропромышленный комплекс прикрывал фланговым огнем артиллерии участок государственной границы с задачей воспрепятствовать проникновению бронетехники и живой силы противника и не допустить ее продвижения вглубь страны, а также для прикрытия войск при форсировании реки Амур от наступательных действий советских войск.

Так, с началом Маньчжурской наступательной операции советско-японской войны по выпискам из архивного журнала боевых действий частей 101-го укрепрайона за период с 9 по 28 августа 1945 г. стало известно, что: «В 02.00 10.08. Реку Зея покинула Буреинская бригада речных кораблей (ЗБРК) и пограничный катер 56-й речной дивизии с десантом из двух взводов пограничников. Вслед за ними на катерах 3-го отдельного дивизиона речных тральщиков ЗБРК вышел десант сводного отряда 101 УР (из 99 ОПБ - 50 человек). Капонирная артиллерия укрепрайона должна была принять участие в 30-минутной артиллерийской подготовке против японских военных объектов, расположенных на противоположном берегу Амура, и поддержать десант огнем во взаимо-

действии с 1-м отрядом 1-й отдельной дивизии бронекатеров, 1-го отряда 2-го отдельного дивизиона бронекатеров и 42-го пулемётно-артиллерийского полка [12].

Устройство агропромышленного комплекса и его вооружение. Основным вооружением АПК были две казематные артиллерийские установки с 76,2-мм орудиями Л-17, т. н. "трехдюймовка" Путиловского завода. Казематная артиллерийская установка Л-17 (насто́льная дальность стрельбы осколочно-фугасным снарядом — до 12 км) имела установочную часть (амбразурную коробку), состоящую из двух шпангоутов — наружного коробчатого каркаса с противорикошетными выступами и внутренней цилиндрической. Сферическая бронемаска имела толщину 100 мм [13]. Толщина стен амбразуры 1,5 м. Перекрытие имеет обычную противоосколочную защиту из двутавров со вставками из 6-мм котельного железа, внутренние поверхности стен перекрытий боевых казематов выполнены из рифленого железа. Также, как и большинство объектов флангового действия, имеет ромбовидный ров (рис. 9). Ров обеспечивал амбразуры от засыпания землей при разрывах снарядов и авиабомб, служил коллектором рукавов, а также затруднял доступ штурмовых групп к орудийным амбразурам. В 1949 году во всем АПК артиллерийские установки Л-17 с 76,2-мм орудиями были заменены артиллерийскими установками ЗИФ-26 с 85-мм орудиями, гильзоприемники для которых были оборудованы под полами боевых казематов с закрывающийся люк в одном из казематов (рис. 10).



Рисунок 9 - Фронтальная сторона АПК №108 и алмазный ров

Удаление пороховых газов при стрельбе представляло собой отдельную проблему. Для артиллерийских установок Л-17 с 76,2-мм орудиями конструкцией АПК был предусмотрен выброс гильз наружу, который выводил наружу и большую часть газов. А в артиллерийских установках ЗИФ-26 с 85-мм орудиями для гильз, сыпавшихся внутрь, в гильзосборниках имелась вода для охлаждения гильз и вентиляция, а также была предусмотрена система продува канала ствола орудия сжатым воздухом (рис. 11). В ходе такой модернизации инженерам пришлось выполнить ряд работ по переустройству сооружения.



Рисунок 10 - Люк в гильзосборник



Рисунок 11 - Баллоны со сжатым воздухом

Как было сказано выше, в 1949 году АПК был перевооружен новейшими казематными артиллерийскими установками ЗИФ-26 с 85-мм орудиями, максимальная табличная дальность стрельбы которых составляла 8730 м при угле ствола 10 град [14] и с 6х прицелов ПУР-26 образца 1948 г., позволявших вести прицельную стрельбу на дальность до трех километров, массой 24 кг и длиной 1300 мм [15] (рис. 12). Боекомплект каждого орудия состоял из 80 снарядов, всего на каждое орудие предусматривалось по пять боеприпасов, т.е. по 400 выстрелов на каждое.



Рис.12 - Артиллерийская казематная установка ЗИФ-26 с 85-мм орудием с установленным прицелом ПУР-26

Для наблюдения, как и в помещениях старшего поколения, используется прибор дальнего наблюдения ПДН-2 (перископ, - 10х, с полем зрения 5 градусов [16]) (рис. 13, 14, 15), размещенный в специальный кабинет командира, или «перископ». Перископ размещался в кожухе, который закрывался броневой крышкой с неподвижной ручкой. Однако наличие обсадной трубы на практике было самым уязвимым местом, так как во время боев на западных границах в годы ВОВ штурмовые группы взрывом ручной гранаты срывали бронеколпак, в пробоину заливали бензин трубы, и взрывчатка были заложены. В связи с этим

начальник штаба Дальневосточного фронта генерал-лейтенант Смородинов, изучавший анализ тактики штурмовых групп в 1941 году, издает инструкцию по изготовлению и подгонке деревянных заглушек для перископных отверстий [17].



Рисунок 13 -Вход в «Перископную» с Межказематной дверью



Рисунок 14 - Перископ ПДН-2Л



Рисунок 15 - Бронева крышка с перископом ПДН-2Л с видом на правый берег р. Амур

Долговременные укрепления второго поколения, помимо боевых казематов, где располагалось основное вооружение, как правило, имели большой комплекс вспомогательных помещений, вмещавших все необходимое для обеспечения боевой службы и значительно повышавших автономность здания во время битва. Эффективная работа систем жизнеобеспечения, в т.ч. фильтровентиляционные (ФВУ) и силовые установки, а также нормальные бытовые условия гарнизона значительно повышали боеспособность сооружения. Высота всех помещений в основном около 2 м, а силовые помещения и ФВУ высотой 2,5 м позволяли личному составу комфортно перемещаться внутри сооружения. Вход ударной волны оборудован «локтевым» типом (рис. 16), проемы которой закрыты решетками, а щели заделаны стальными прутьями, залитыми бетоном. Далее идет первый вестибюль, вход в который закрыт массивной герметической бронированной дверью. Первый тамбур служил газовым шлюзом, отделенным от остальных помещений межказематной герметичной бронированной дверью. (рис. 17).



Рис.16 - Вход «Коленчатый сквозник»



Рис.17 - Первый тамбур с бронедверью

Рядом с вестибюлем расположены помещения с бойницами для защиты входа, в одном из них размещался туалет с умывальником. Бойницы защиты въезда закрывались бронестворками РЗ-31 (в отличие от сооружений на западной границе СССР, где для этого использовалась установка ПЗ-39) (рис. 18). Здание оборудовано канализацией. В т. н. В «сквозном отверстии» имеется люк, через который можно было опорожнить бак канализационной воды (рис. 19). В центре находится второй вестибюль. Из этого тамбура можно попасть в изолированные от других помещений боевые казематы. Один каземат предназначался только для одной артиллерийской установки. В боевых казематах расходный комплект боеприпасов хранился в ящиках, а также имелись отдельные

помещения для хранения боеприпасов (рис. 20). В некоторых случаях боеприпасы в ящиках были равномерно размещены во всех остальных помещениях объекта.



Рисунок 18 - Санузел с броневой заслонкой ружейной амбразуры «РЗ-31»



Рисунок 19 - Люк в резервуар канализационных вод

Установленный дизель-генератор имел систему водяного охлаждения, а его запас топлива был рассчитан на 60 часов непрерывной работы. Топливные баки и маслохранилища располагались под полом в специальных отсеках. Были никель-железные аккумуляторы. Для аварийного освещения использовались ацетиленовые или керосиновые лампы.

В качестве защитного комплекса от ядовитых и отравляющих веществ использовалось избыточное давление воздуха, которая отбиралось через наружные и внутренние фильтры. Воздух в фильтры попадал через оборудованный насквозь воздухопроводник, который к тому же имел защиту от взрывных волн. В бетонной стене находились стальные стержни, которые находились на небольшом расстоянии друг от друга, а также к ним крепились три стальные пластины, которые оснащались не перекрывающимися друг друга отверстиями, цель которых являлось гашение ударных волн.



Рисунок 20 - Помещение со стеллажом для комплекта снарядов



Рисунок 21 – Фильтровентиляционная установка



Рисунок 22 - Калорифер для подогрева приточного воздуха

В качестве дополнительной защиты, воздухозаборник оснащался специальной мелкой сеткой. Он забирал воздух, который по трубам передавался в фильтровентиляционную установку, которая представляла собой набор фильтров, различных клапанов, а также кулеров, который мог работать от источника электричества, так и вручную (рис. 21). Охлаждение и нагрев воздуха в вентиляции осуществлялось от системы охлаждения дизель-генератора (рис. 22). В одном из помещений могла использоваться железная печь, или электрическая плита, используемые для приготовления пищи, а также имел место резервный объект для приготовления пищи – отопительная печь (рис. 23). На объекте также находились переносные, а также стационарные аптечки. В этом же помещении располагались некоторые вспомогательные помещения, например, ГВУ, колодец, отопительная печь, энергоблок и бак для технической воды объемом 8м³. Дым из трубы от топки и выхлопные газы от работы дизельной установки отводились от объектов немного в сторону по трубам, через так называемый

гравийный волногаситель, а также с помощью вытяжки рукав (рис. 24). В целом условия были значительно лучше, чем в объектах предыдущего поколения.



Рисунок 23 - Печь-плита с запасом дров



Рисунок 24 – Вытяжной рукав

На случай, если основной в агропромышленном комплексе мог быть разрушен (засорен) или заминирован, предусматривался запасной выход, посредством так называемого «аварийного люка», предполагавшегося при необходимости изнутри, устроенного в виде колодца с железобетонными стенами и обнесенного снаружи у задней стены ударной траншеей (рис.25, 26).

Даже в случае резкой боевой реакции на объектах гарнизона АПК находилось лишь значительное количество людей: наблюдатель, караул и дежурная смена у орудий. В опасный период или в момент страха, а также при других обстоятельствах личный состав гарнизона прибывает туда, где может находиться, не выходя на улицу, длительное время. В связи с этим агропромышленный комплекс имел отдельную комнату отдыха с металлическими нарами на 1/3 гарнизона, пирамиду для стрелкового оружия, вешалки для одежды, место для приема пищи (рис. 27, 28).



Рисунок 25 - Проём запасного лаза



Рисунок 26 - Колодец запасного лаза

Маскировка военных объектов осуществлялась методом земельной обсыпки, в открытых частях стен были вмонтированы стальные уголки, применяемые для укрепления, а также удержания специальных маскировочных сетей (рис. 29).



Рисунок 27 - Комната отдыха с пирамидой для хранения оружия



Рисунок 28 - Место для приёма пищи



Рисунок 29 - Камуфляжные сети и земляная обсыбка АПК

В 1953 году в связи с восстановлением и расформированием 101-го укрепрайона все долговременные укрепления укрепрайона были законсервированы

до особого периода, начавшегося в 60-е годы в результате обострения отношений с Китаем. В 1967 году части 12-го укрепрайона, созданного на линии старого 101-го укрепрайона, заступили на боевое дежурство по прикрытию государственной границы. С этого момента во всех гарнизонах АПК были задействованы отдельные артиллерийские взводы пулеметных и артиллерийских дивизионов. Организационно-штатная численность такого взвода - 10 человек, из них: командир взвода - 1; командиры орудий ЗИФ-26 - 2 (должность, совмещенная с должностью командира, назначения в боевых условиях, именно они вносили надобность, получая целеуказания от командира взвода); командир минометного расчета - 1; минометный заводчик - 1; погрузчики - 3 (2 для ЗИФ-26, один для миномета); радист - 1; дизель-электрик - 1 (должность, совмещенная с должностью аккумуляторщика).

В 1989 году были восстановлены дружественные отношения между Китаем и СССР, в связи с этим снизилась напряженная ситуация, а также снизилась угроза войны. Данное событие привело к расформированию двенадцатого укрепрайона и консервации всего сооружения. Так как объекты после консервации находились в простое и довольно длительное время не имели охраны и ухода, это привело к тому, что в 2000 году объекты были разграблены.

2 ПРЕДЛАГАЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

2.1 Обзор ПО трехмерные моделирования

Динамично развивающиеся технологии привело к значительному росту качественного программного обеспечения, направленного на работу с трехмерной графикой. Сейчас окружающие мир визуальные эффекты уже приелись, в том числе и потому что развитию технологий позволило вывести компьютерное моделирование на новый уровень, благодаря современным редакторам для работы с трехмерной графикой.

2.1.1 Blender

Blender – это очень функциональный программный продукт с огромным количеством инструментов по всем направлениям компьютерной графики [18], включающий такие направления, как моделинг, хард-серфейс моделинг, скульптинг, двухмерная и трехмерная анимация, объемы, рендеринг и многое другое. Данный продукт включает всё необходимое, как для изучения, так и продвинутого моделирования.

Удобный набор инструментов для моделирования и скульптинга дают возможность очень быстро изучить возможности разных функций и начать работать с моделями. Возможность автоматического рига, позволяет без особых трудов произвести анимацию сложных объектов, а также персонажей, даже, если до этого никогда не связывался с анимацией.

Для художников в формате двухмерного моделирования, Blender дает возможность произвести формирование сцены в перспективе. Также Blender имеет набор физических возможностей Мантафлоу, который выполняет работу с спецэффектами формата VFX.

Для 2D-аниматоров Blender может предложить лучшее, что есть в сфере – grease pencil. Этот инструмент позволяет делать крутые раскадровки для 2D-анимации, анимировать 2D-объекты поверх 3D-сцены и многое другое.

Данная программа постоянно получает обновления, и имеет большое количество активных пользователей, которые производят платежи для дальнейшего развития.

Blender, также включает в себя редактор видеозаписей, который имеет в себе функционал включающий работу с нарезкой и монтажом видео, но и также выполнять динамический трекинг.

Начинающие пользователи данного программного обеспечения имеют возможность простого входа в индустрию трехмерной компьютерной графики. Пользователи могут обучаться, как в одном направлении, так и во множестве. Комбинирование направлений даст возможность создавать очень сложные модели и сцены, которые можно использовать в качестве будущей игровой сцены, или качественного рендер-изображения.

Также имеет место отметить низкий порог вхождения в ПО за счёт его дружелюбного интерфейса, в отличии от конкурентов. Этот фактор значительно влияет на статус программного обеспечения, так как именно удобный интерфейс располагает к себе. Также Blender имеет множество форумов, а также большое количество всевозможной литературы и видеоматериалов обучающего характера.

В отличии от других программ Blender позволяет к примеру, проведя моделирование объекта и разобрав его топологию, произвести детализацию, например, включить режим скульптинга и нарисовать дефекты поверхности, или построить карты нормалей, а также произвести запекание моделей, что нельзя сделать в других программах.

Скульптинг в Blender реализован на хорошем уровне, с удобными и понятными инструментами и большим количеством настроек, но при работе с большим количеством полигонов, появятся проблемы в виде торможения, поэтому для работы с моделями с высоким количеством полигонов, лучше использовать программу ZBrush, но данная программа имеет больший порог вхождения и сложный интерфейс по сравнению с Blender.

В итоге можно сказать, что данное программное обеспечения для разработки трехмерных моделей, является универсальным, и включает в себя большой и удобный инструментарий (рис. 36). Также это ПО является исключительным за счёт своей доступности, которая выражается тем, что программа имеет небольшой вес, а также факт свободного распространения. Разработчики выпускают по несколько небольших обновлений в месяц и со статистикой примерно раз в год производят выпуск больших обновлений включающих большой набор новых инструментов и возможностей.

Возможности:

- моделирование, основанное на полигонах;
- возможность скульптурной лепки;
- система частиц;
- динамика физических объектов и их состояний;
- скелетная анимация;
- встроенный механизм рендеринга;
- редактор видео;
- возможность создания игр и приложений.

Достоинства:

- бесплатность;
- открытый код;
- постоянное развитие;
- небольшой размер установщика;
- кроссплатформенность;
- большое количество модификаторов.

Недостаток:

- отсутствие документации в базовой поставке.

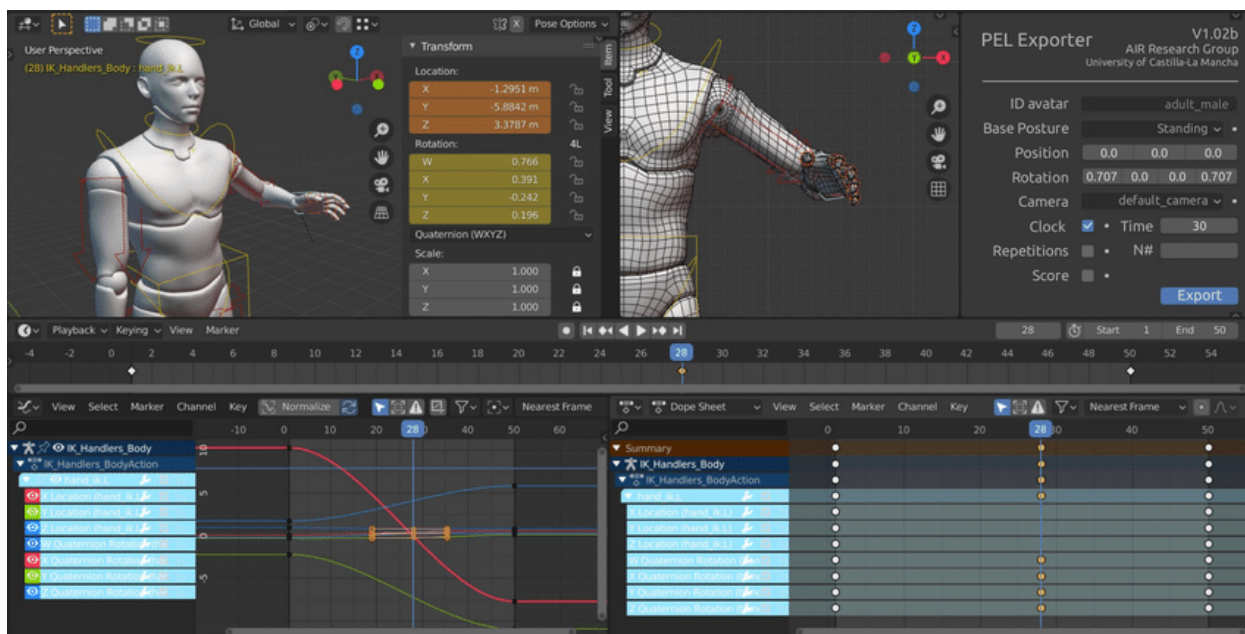


Рисунок 36 – Интерфейс Blender

2.1.2 Autodesk 3Ds Max

Лидером рынка средств разработки трехмерной графики является программное обеспечение от компании Autodesk – 3Ds Max (рис. 37). Данная программа включает в себя работу трехмерной графикой, в частности работу с реконструкцией, что сыграло важную роль в популярности и популярности среди фанатов.

Данная программа включает огромное количество разных ассетов, что способствуют ускорению и упрощению процесса моделирования. Программа включила в себя встроенный и очень мощный инструментарий [19], для возможности очень детализированных моделей, с помощью которых достигается максимальная реалистичность модели, которую можно сравнить с оригиналом. Также программа имеет мощный рендер движок, включающий гибкие настройки освещения [20].

Возможности:

- полигональное моделирование;
- мощная система частиц;
- модуль волосы/шерсть;
- расширенные шейдеры Shader FX;

- анимация толпы;
- импорт из Revit и SketchUp;
- интеграция композитинга.

Достоинства:

- достойный функционал;
- множество плагинов и обучающей информации.

Недостатки:

- довольно непросто в освоении;
- требуются серьезные обновления.

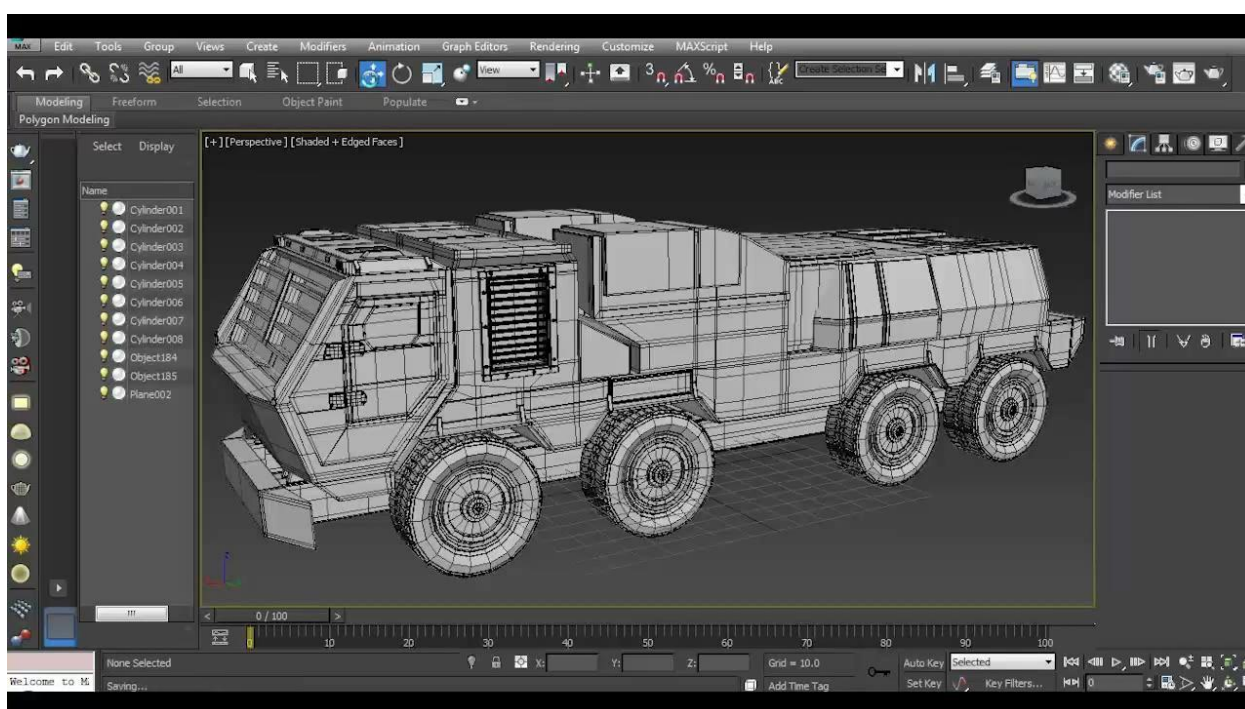


Рисунок 37 – Интерфейс 3DS Max

2.1.3 Autodesk Maya

Autodesk Maya (рис. 38), это еще один флагман среди программных продуктов трехмерной разработки, который постоянно конкурирует с его близкой средой трехмерной разработки 3Ds Max [21]. Данное программное обеспечение обрело большое количество пользователей в сфере трехмерной разработки.

Autodesk Maya включает большой инструментарий для создания реалистичных трехмерных моделей, а дальнейшая обработка в фоторедакторе приво-

дит рендеры к идеалу. Программа славится встроенным процессором PaintEffects, с помощью которого можно создать объекты по типу травы, волос и т.д.

Главной же особенностью данного ПО является богатый функционал работы с анимацией трехмерных объектов, сцен, персонажей, VFX-объемов, различных визуальных эффектов и т.п. [22], также, как и Blender программа включает работу с анимационной строкой, а также редактором графов, что дает возможность создать качественную анимацию, а также позволяющий редактировать осевые ускорения, положения, вращения и масштабы объектов, а также производить привязку дочернего объекта к родительскому, тем самым упрощая работу над сложными сценами.

Возможности:

- полный набор инструментов для полигонального моделирования;
- мощные средства общей и персонажной анимации;
- развитая система частиц;
- технология Maya Fur (создание меха, волос, травы);
- технология Maya Fluid Effects (моделирование жидкостей, атмосферы);
- динамика твердых и мягких тел;
- широкий набор средств создания динамических спецэффектов;
- UV-текстуры, нормали и цветовое кодирование;
- многопроцессорный гибкий рендеринг.

Достоинства:

- огромный функционал и возможности.

Недостатки:

- длительное и сложное обучение;
- высокие требования к системе;
- высокая цена.

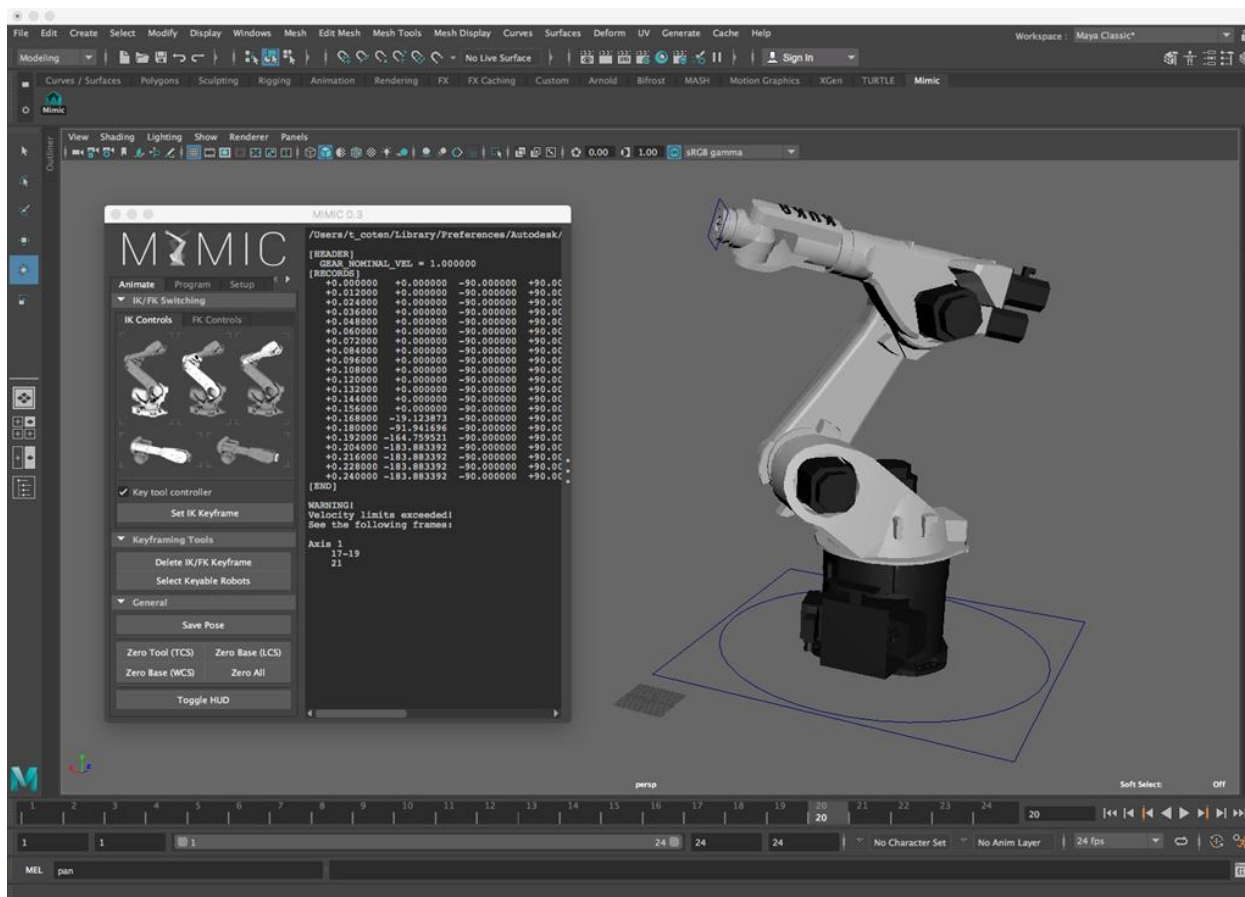


Рисунок 38 – Интерфейс Autodesk Maya

2.1.4 Zbrush

ZBrush (рис. 39) – это программный продукт для производства трехмерных моделей с так называемым процессом, как скульптинг, разработана компанией Pixologic [23]. Данная программа имеет своеобразный процесс моделирования, который напоминает процесс лепки из глины трехмерных объектов. В отличие от других программ трехмерного моделирования, ZBrush с легкостью обрабатывает модели с высоким полигональным разрешением свыше 5 млн. полигонов, что является затруднительным для таких программ, как Blender и 3Ds Max, это возможно за счёт усиленного движка для произведения рендеринга трехмерной сцены, или объекта, который обрабатывает модели в реальном времени, таким образом процесс моделирования упрощается, за счёт сокращения производственных мощностей. Каждая точка, называемая в среде трехмерной разработки вершиной, описывается не только координатами x и y , а также цветом, но и глубиной, которая описывается осью z , а также имеет информа-

цию об ориентации, а также об имеющихся материалах и их свойствах. За счёт перечисленных средств появляется возможность не только лепки модели, но и её будущей раскраски. Для более реалистичной картинки, используется средства динамического рендеринга, которые проецируют на объект светотеневой рисунок.

Программа может работать со всеми стандартными трехмерными моделями, используя в качестве инструментария кисти, при помощи которых производится модификация объекта [24], а также появляется возможность работы с текстурами и материалами. Для производства более сложных действий, всегда можно подключить дополнительные сложные модули, которые могут расширить начальный функционал программы, а также гибкая настройка графического интерфейса пользователя позволит настроить всё под себя, что в разы ускорит процесс производства трехмерных моделей.

ПО включает огромное количество кистей различного назначения, например, вытягивать, или вдавливать геометрию объекта, наращивать, или удалять «виртуальную глину» у объекта, вытягивать, сглаживать, полировать, царапать, а также многое другое, что в комбинации даёт очень мощный программный продукт, для создания моделей любой сложности [25].

Модификация геометрии материала и текстуры осуществляется с помощью кисти. В программе присутствует большое количество подключаемых модулей по типу:

- быстрой интеграции с профессиональным пакетом 2d графики;
- широкого выбора кистей;
- возможности создания собственных альф на основе рисунка;
- работы с текстурой и др.

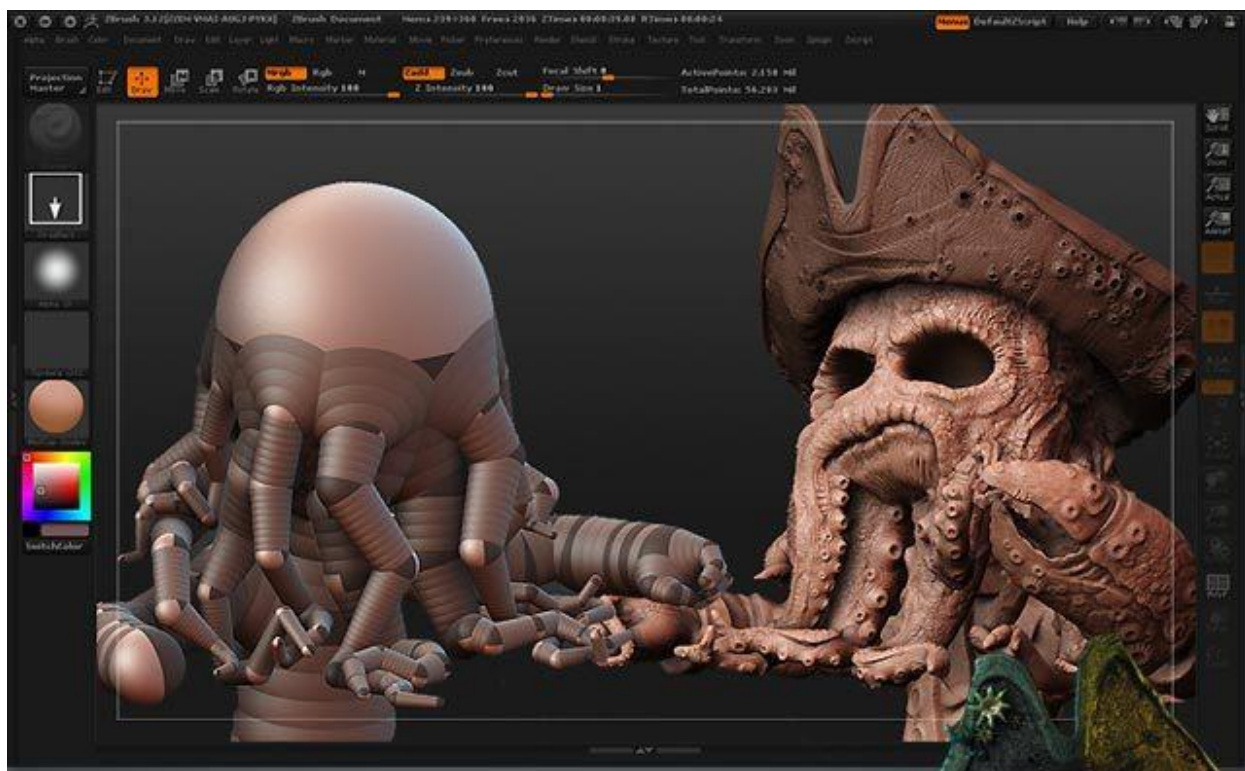


Рисунок 39 – Интерфейс ZBrush

2.1.5 Обоснование выбора 3D-редактора

Среди выделенных трехмерных редакторов, самыми интересными являются ZBrush и Blender. С одной стороны, стоит программное обеспечение с большим количеством кистей способных создать объект любой сложности и который не боится использования большого количества полигонов, но требует огромных знаний и времени на изучение, с другой же стороны стоит программа свободного распространения, которая имеет низкий порог вхождения, а также удобный интерфейс и понятные инструменты, что позволяет очень быстро начать создавать различные модели. Поэтому, для реализации выбранного объекта, более подойдет программное обеспечение Blender. Среди его преимуществ можно выделить:

- русский язык и еще множество других языков разной степени локализации, на русский язык программа переведена полностью;
- быстрое моделирование по сравнению с аналогами благодаря тому, что все функции имеют свои горячие клавиши и это очень удобно реализовано. По сути, в программе удобнее работать именно клавишами;

– свободное распространение. Программа является свободно распространяемой, так как она содержится на пожертвованиях своего немалого сообщества, которые видят в ней большой потенциал.

Программа Blender дает пользователю множество возможностей в моделировании, остается бесплатной и кроссплатформенной. Само существование такой программы показывает, насколько качественным может быть свободно распространяемый продукт безо всяких оговорок.

Именно поэтому в качестве 3D-редактора выбор пал именно на Blender.

2.2 Обзор устройств аддитивной технологии

2.2.1 FDM-принтеры

FDM-печать, или трехмерная модель методом послойного наплавления – это один из видов аддитивной технологии, который представляет собой выдавливание расплавленного материала слой за слоем. Весь процесс трехмерной печати методом послойного наплавления, включает в себя расплавление филаментов различного состава [26], с различными свойствами, которые выдавливаются через узкое сопло, диаметры которых также могут варьироваться, на рабочую поверхность, которая в большинстве случаев имеют собственный нагрев слой, за слоем с установленной высотой каждого слоя.

Трехмерная печать методом послойного наплавления (рис. 40) является самой распространённой технологией трехмерной печати, за счёт своей доступности и простоты работы и использования устройств. На сегодняшний день представлены различные решения реализации устройств данной технологии, а также с каждым годом придумываются всё более интересные и результативные решения.

Разработка трехмерных моделей под трехмерную печать требуют дополнительных знаний в моделировании таких моделей, так как, методы реализации трехмерной печати, используют специальные алгоритмы, которые требуют от моделей, соблюдение некоторых обязательных правил.

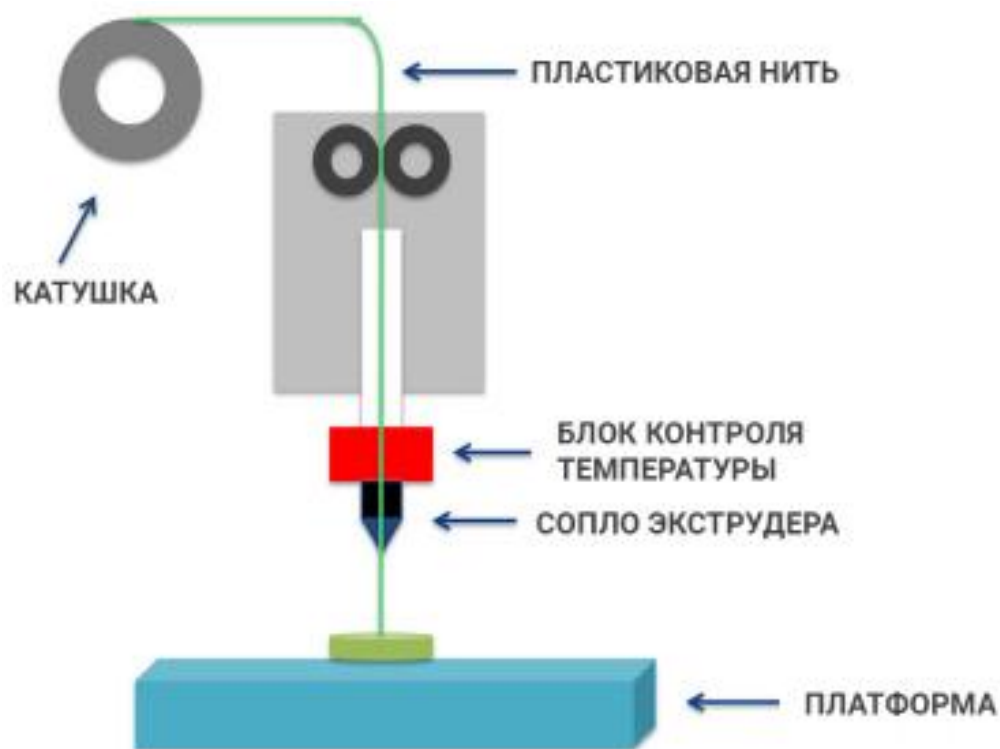


Рисунок 40 – Устройство FDM-принтера

Процесс FDM печати

Конец нити филамента, подаётся в трехмерный принтер из специальной катушки. В зависимости от вида принтера, нить по-своему подается в горячую зону, или в так называемый хотенд, в которой нить расплавляется и начинает проникать наружу из сопла с маленьким диаметром, регулировка подачи пластика осуществляется с помощью экструдера.

Экструдер подключен к 3-осевой системе, которая позволяет перемещаться в направлениях X, Y и Z. Расплавленный материал выдавливается в виде тонких нитей и плавится в виде слоя в определенных местах, где охлаждается и затвердевает. Иногда нагрев материала ускоряют вентиляторы, прикрепленные к экструдеру.

Экструдер делает несколько проходов, чтобы заполнить область печати. При обработке слоя движение движется вниз (или, как в некоторых моделях принтеров, экструдер движется вверх), а новый слой наваривается на уже установленный. Этот процесс повторяется до тех пор, пока модель не создаст фабрику.

Характеристики FDM-принтеров

Многие принтеры, работающие по технологии послойного наплавления, имеют возможность настройки параметров трехмерной печати [27]. В них включены такие параметры, как: настройка температуры нагревательного блока, рабочей поверхности, скорости печати, ускорение печати, высоту слоя, процент от работы кулеров охлаждения, плотность заполнения, толщину стенок, а также дна и днища, и т.д.

Самое главное в трехмерной печати методом FDM, это не заходить за границы рабочей поверхности и оптимальный выбор высоты слоя трехмерной модели:

Размеры рабочей поверхности 3D-принтеров варьируются от довольно мелких, от 10 см по каждой стороне, до огромных 100 см, которые относятся к промышленным принтерам. Размер 3D-принтера подбирается от возможного бюджета, а также цели, так как в случае чего, всегда существует возможность разбить большую модель на множество маленьких, распечатать и склеить между собой.

Что важно с точки зрения моделирования, так это учитывать размер стола и высоту слоя самой детали:

Для FFF-принтеров характерны печатные слои высотой от 50, до 400 микрон, данная настройка устанавливается в программе-слайсере, которая нарезает всю модель на установленные слои, также с недавнего времени доступна настройка динамических слоев, где программа сама подбирает какой слой печатать с той, или иной высотой. Чем меньше слой, тем более точнее получается выходная модель, но при этом время печати становится очень высоким, большая высота слоя, обеспечит быструю печать, но качество такой модели будет желать лучшего, но в качестве быстрого прототипирования очень полезно.

На данный момент существует огромное множество разнообразных 3D-принтеров, работающих по технологии послойного наплавления:

Самый простой вариант 3D-принтера, это конструкция представляющая из себя кубический каркас в основании которой устанавливается печатная плоскость с возможностью нагрева и перемещения в вертикальной проекции. Над ней располагается горячая зона с горизонтальным перемещением, чаще всего такая система работает на шаговых двигателях и перемещается по металлическим направляющим с помощью туго натянутых ремней. Горячая зона, чаще всего называется головой 3D-принтера и представляет собой комбинацию из фидера и хотэнда.

Фидер – это устройство к которому крепится шаговый двигатель, отвечающий за количество выдавливаемого материала через сопло 3D-принтера, основная его функция — это захватить пруток пластика и на протяжении всего процесса печати обеспечивать подачу и вывод прутка из горячей зоны, пример такого устройства представлен на рис. 41.



Рисунок 41 – Фидер в разборе

Хотэнд – это комбинированное устройство, состоящее из радиатора, термобарьера, нагревательного блока и сопла (рис. 42), его функцией является

нагрев прутка пластика до плавкого состояния и вывода его через сопло определенного диаметра.

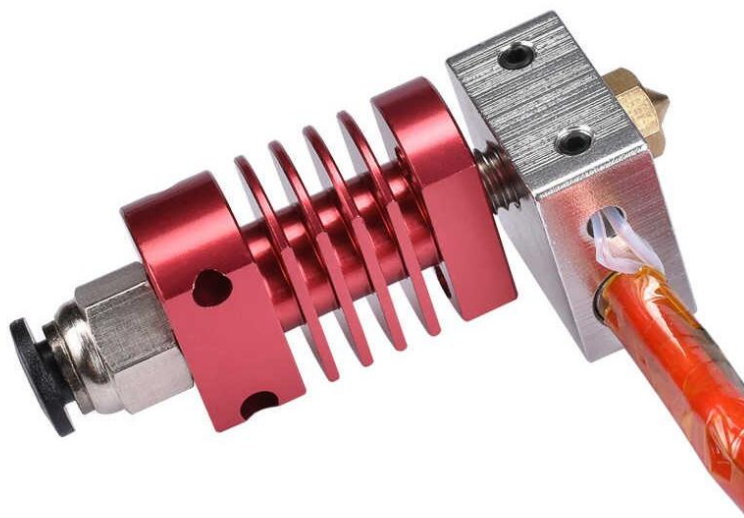


Рисунок 42 – Хотенд 3D-принтера

На данный момент представлено огромное множество принтеров, работающих с технологией FDM. Существуют принтеры с прямой или дальней подачей пластика, с открытым или закрытым корпусом и даже принтеры с условно бесконечной высотой изготавливаемой продукции (рис. 43)

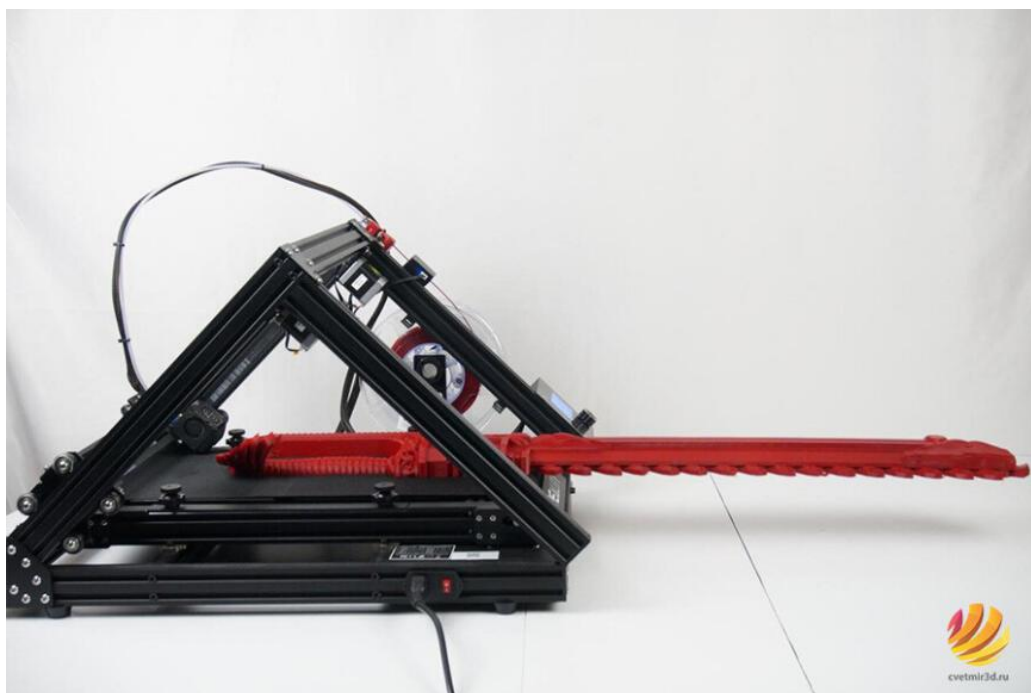


Рисунок 43 – 3D-принтер Crealty 3DPrintMill

2.2.2 SLA и DLP-принтеры

Стереолитография (SLA) и цифровая обработка света (DLP) — две самые распространенные технологии 3D-печати с использованием полимеров [28]. Устройства работающие по данной технологии, т.е. использующие для печати жидкие полимеры, становятся всё популярней и популярней, за счёт возможности создавать модели высокого качества и точности, которые не боятся внешних воздействий, таких как вода, а также имеют глянцевую поверхность.

Ранее данные устройства, а точнее их технология считалась очень сложной, за счёт чего имела высокую стоимость, сегодня же рынок насчитывает огромное количество устройств от разных производителей со своим форм-фактором, своими программными продуктами, а также индивидуальными техническими решениями, а также часть из них может заинтересовать заманчивой ценой.

Хоть эти две технологии могут значительно отличаться, но их суть довольно схожа, так как жидкий полимер для своего затвердевания требует засвета, в случае технологии SLA источником является лазер, DLP –проектор, обе технологии формируют очень тонкие слои смолы, которые слой за слоем формируют трехмерную аддитивную модель. За счёт разных принципов в работе, в процессе печати могут существенно отличаться настройки печати, а также результаты печати.

Как работают фотополимерные принтеры

Множество бюджетных стереолитографических трехмерных принтеров имеют ванночку для фотополимерной смолы с прозрачным дном и печатной поверхностью, на которую запекаются слой за слоем, с которого без особого труда можно снять распечатанную модель, пример работы принтера изображен на рисунке 44.

Весь процесс печати опирается на то, что рабочая платформа, представляющая как, правило перевернутую плоскость, которая погружается в специальную ванночку до уровня, который означает установленную высоту печати, данная ванночка наполняется жидким полимером. Данная разница между рабо-

чей плоскость и дном ванночки засвечивается ультрафиолетом на некоторое количество времени, в процессе которого происходит затвердевание слоя. За свет производится при помощи луча лазера, который подается на два симметричных гальванометра, за счёт которых он попадает в необходимое положение. Таким образом производится запекание модели слой за слоем.

По окончании печати слоя, он поднимается на высоту слоя и заполняется полимером, после чего процесс повторяется и таким образом проходит весь процесс печати.

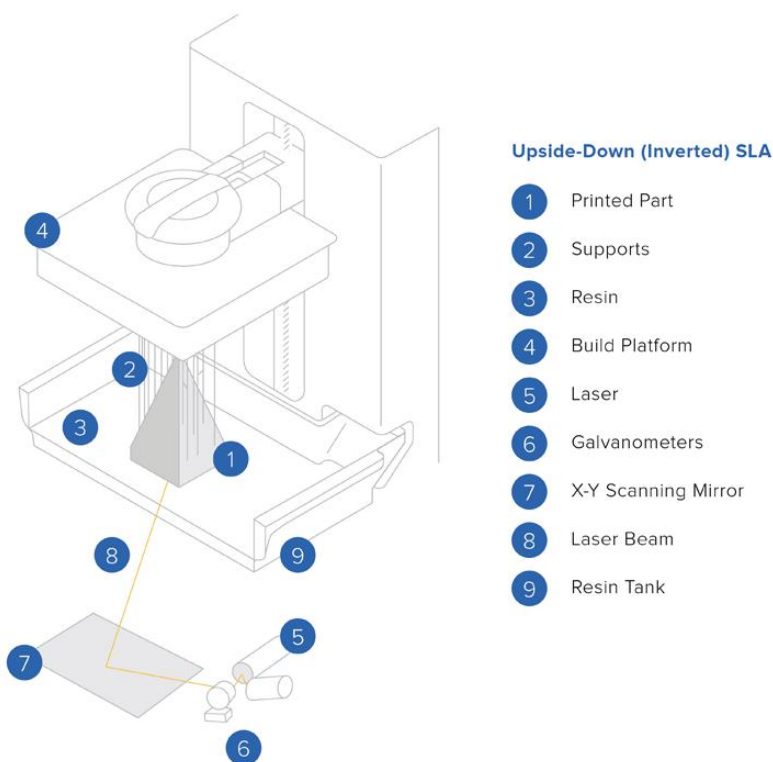


Рисунок 44 – Устройство фотополимерного принтера

2.3 ОБЗОР ПО трехмерной печати

Слайсер – это программное обеспечение, основной целью которой, является подготовка трехмерной модели объекта к 3D-печати [29]. Данные программы выполняют разбиение модели на множество фиксированных слоёв.

Программа-слайсер выполняет нарезку трехмерной модели на слои заданной толщины, и 3D-принтер, считывая закодированную информацию, печатает нужный объект.

От работы слайсера конечный результат печати зависит едва ли не в большей степени, чем от возможностей самого принтера.

2.3.1 Ultimaker Cura

Программа Ultimaker Cura (рис. 45) — это самый популярный на данный момент программный продукт, который достаточно удобный в использовании, к тому же генерирует G-код-файл для использования множества моделей 3D-принтеров. Так как данная программа является ПО со свободным кодом, оно позволяет вносить в себя некоторые коррективы для будущего удобства использования, а также включать множество сторонних продуктов от других разработчиков, таких, как возможность передавать нарезанные файлы через сеть Wi-Fi.

Слайсер Ultimaker Cura в свою очередь имеет огромную поддержку всевозможных форматов трехмерных файлов, таких как OBJ, STL, FBX и т.д. а также поддерживает стандартные форматы растровых изображений. Начиная с 2016 года, программный продукт включил возможность работать с мультиэкструдерными принтерами.

С каждым годом программа включает поддержку новейших материалов для печати, которые появляется десятками за год.

Поскольку для слайсера Cura сторонними разработчиками создано множество плагинов, специалисты Ultimaker ввели звездочную систему пользовательских оценок, чтобы новые пользователи могли легко оценить удобство плагинов.

Достоинства:

- ПО надежного разработчика;
- постоянное обновление слайсера;
- удобный пользовательский интерфейс;
- открытый программный код;
- совместимость с принтерами многих производителей;
- встроенная поддержка печатных материалов известных брендов.

Недостатки:

- не всегда получается очевидно настроить поддержки, для лучшего результата придется разбираться в экспериментальных функциях;
- низкая скорость работы на слабых ПК.

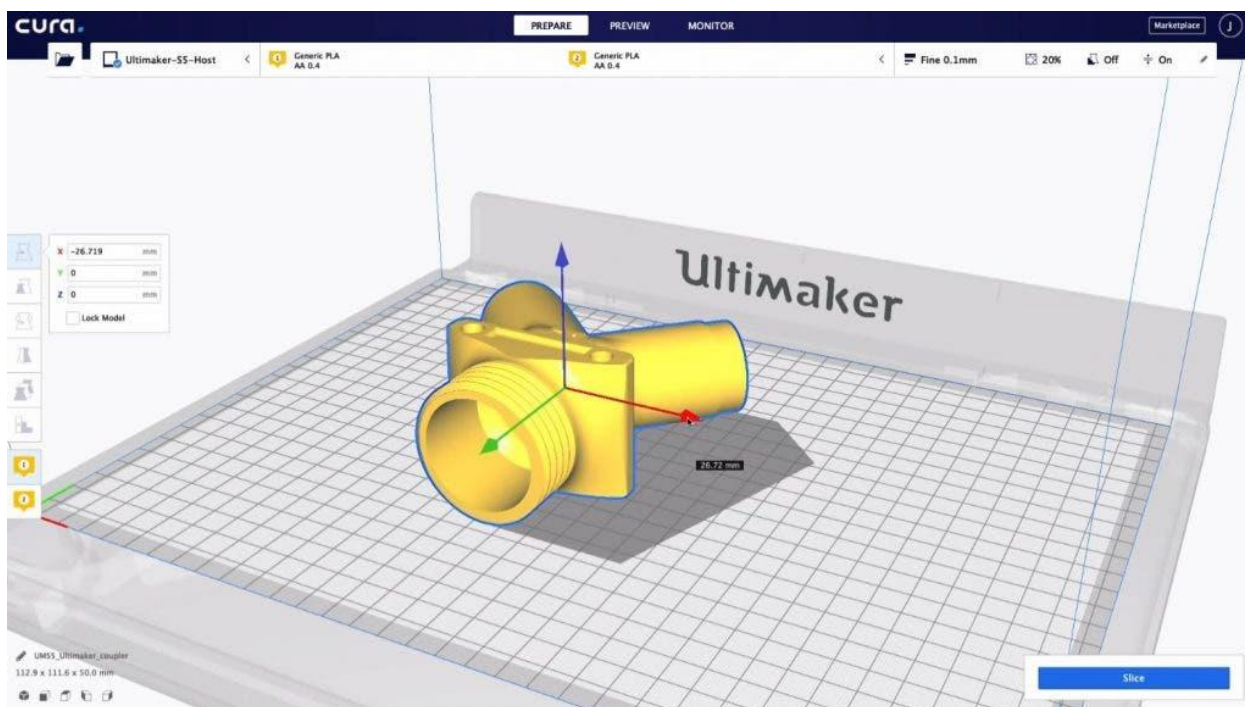


Рисунок 45 – Ultimaker cura

2.3.2 PrusaSlicer

PrusaSlicer (рис. 46) — это мощный продукт от Prusa Research на рынке 3D-слайсеров. Первоначально созданный на основе Slic3r Алессандро Панелуччи, в 2016 году Prusa представила собственную версию под названием Slic3r PE (Prusa Edition), которая была размещена на GitHub [31].

Благодаря группировке похожих настроек слайсер позволяет очень легко настраивать и сохранять различные профили. Например, пользователь может переключать профили нити накала, не влияя на настройки 3D принтера. А с более чем 110 готовыми профилями легко начать создавать свои собственные.

Особенностью данного слайсера является то, что пользователь может не волноваться, какие профили с индивидуальными настройками он использовал в каком проекте, PrusaSlicer позволяет сохранить файл 3MF, в котором хранятся все объекты, настройки, модификаторы и их параметры.

Другие примечательные особенности:

- MSLA и поддержка функции нескольких материалов;
 - регулировка плавной переменной высота слоя;
 - пользовательские суппорты с использованием модифицирующих сеток;
 - возможность правки моделей через Netfabb (только в Windows);
- 14 языков.

PrusaSlicer предлагает очень удобный GUI. Он включает использование многочисленных инструментов, которые удобно распределены по рабочей области экрана, а также имеет возможность использовать их при помощи хоткеев.

Первый запуск программного продукта даст старт некоторого помощника для настройки программ, с помощью которого можно настроить начальные параметры для запуска печати, таких как ввод данных используемого устройства, а также используемого филамента.

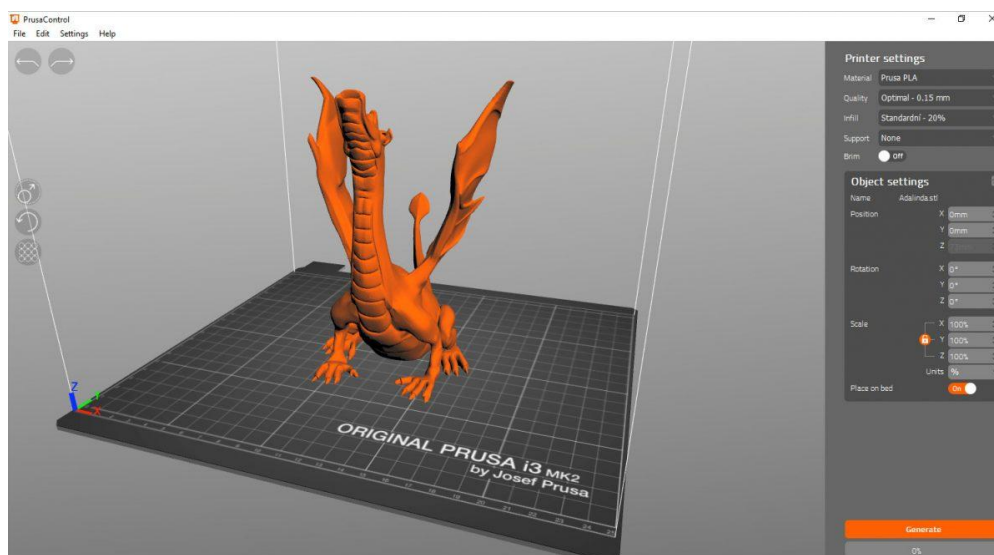


Рисунок 46 – Prusa slicer

2.3.3 Simplify3D

Simplify3D (рис. 47) – это программный продукт созданный для выполнения нарезки трехмерных моделей [32], чтобы произвести дальнейший процесс трехмерной печати. В ней реализованы все инструменты для управления 3D принтером и процессом трехмерной печати. Simplify3D дает возможность оптимизировать модель для 3D печати.

В отличие от конкурентов данный программный продукт настолько оптимизирован, что процесс слайсинга даже самых тяжелых трехмерных моделей занимает считанные секунды.

Данная программа имеет огромную базу существующих устройств трехмерной печати.

Simplify3D доступен для Windows (XP и выше), Mac OS X (10.6 и выше) и Ubuntu Linux (12.10 и выше). Минимальные системные требования: Pentium 4 с 2 Гб RAM.

Кроме быстрого слайсинга и поддержки большого количества 3D принтеров, есть и другие достоинства, которые рассмотрены ниже.

Одна из самых впечатляющих функций - это превью модели [33]. Вы можете смоделировать весь процесс 3D печати или перейти к отдельному этапу. Можете отобразить только один слой или построить всю модель и показать ее слой за слоем.

Simplify3D отображает перемещения печатающей головки. Если хотите, вы можете оценить скорость перемещения на разных участках. Так как вы можете проверить каждый этап 3D печати [34], это помогает выявить и устранить проблемы и оптимизировать процесс еще до его начала.

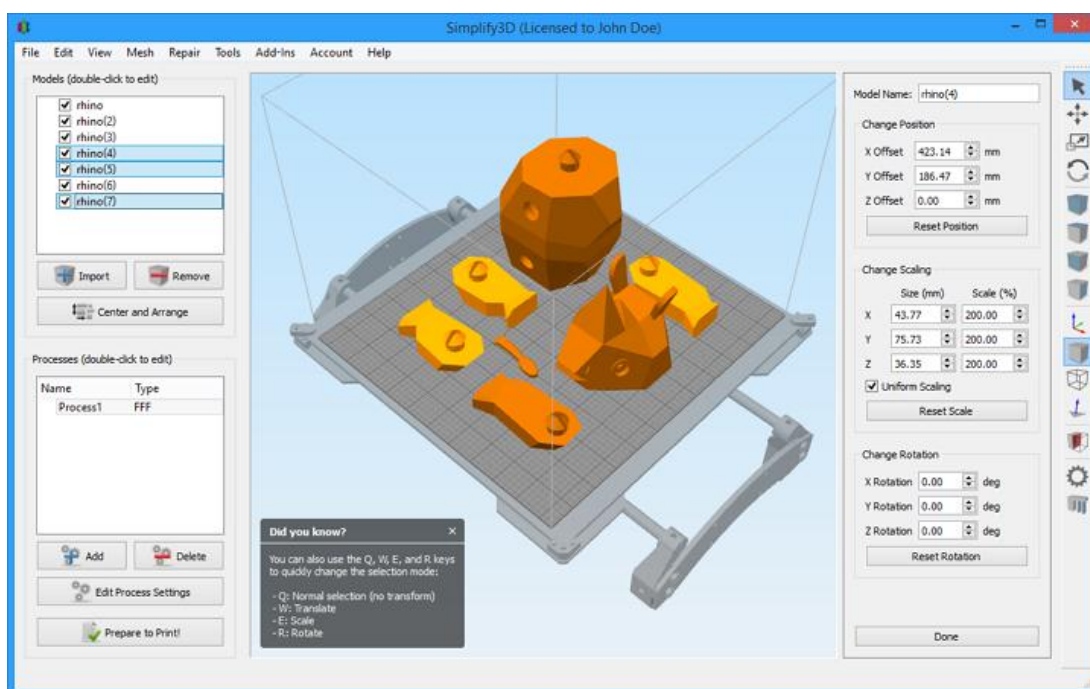


Рисунок 47 – Simplify 3D

2.3.4 ChiTuBox

ChiTuBox (рис. 48) — слайсер для фотополимерных 3D-принтеров на основе технологий SLA, DLP и LCD. Версия 1.0 была выпущена в 2017 году китайской компанией CBD-Tech [35]. Относительно молодая компания инженеров начала свою деятельность в 2013 году с разработки оборудования для 3D-печати, в частности плат контроллеров, продаваемых под аббревиатурой ChiTu.

CBD-Tech также занимается разработкой программного обеспечения. Одной из ее первых программ была ChiTu DLP Slicer. В конечном итоге оно было переименовано в официальное программное обеспечение для Anycubic Photon, которое почти идентично, за исключением названия и нескольких настроек. Еще одним дополнением к портфолио CBD является ChiTu Cloud, платформа 3D-печати для управления и мониторинга 3D-принтеров.

ChiTuBox, пожалуй, самая популярная альтернатива проприетарным слайсерам. Он предлагает отличный контроль над настройками печати, сохраняя при этом простой и удобный интерфейс, поддержку Windows, Mac и Linux и совершенно бесплатно. Платная (Pro) версия в настоящее время находится в разработке.

В настоящее время ChiTuBox официально поддерживает более 20 фотополимерных принтеров, включая Anycubic Photon, Phrozen Shuffle, WanHao D7 и D8, Sparkmaker и Elegoo Mars.

Кстати, ChiTuBox поддерживает большое количество форматов экспорта, включая STL, ZIP и собственные форматы (*.chitubox и *.cbddlp).

Слайсер ChiTuBox — это программа, предоставляющая пользователю множество инструментов. Как упоминалось ранее, он дает пользователю контроль над процессом печати, например, необычные настройки «Скорость подъема» — скорость, с которой платформа поднимается из резервуара между слоями, «Задержка выключения» — общее количество времени действия УФ-света. остается включенным. будет отключен между слоями, что позволит правильно сформировать новый слой.

Одной из самых популярных функций ChiTuBox является возможность выдавливания импортированных моделей и прodelывания дренажных отверстий. Этот процесс очень распространен в 3D-принтерах SLA для экономии материала, поскольку фотоотверждаемые смолы довольно дороги.

С помощью полого инструмента определяют общую толщину стенки и освобождают от материала внутренний материал модели. С другой стороны, дренажные отверстия позволяют смоле вытекать изнутри во время печати, оставляя только отвержденную оболочку модели. С помощью инструмента Dig Hole вы можете указать размер и вручную найти дренажные отверстия.

Иногда полая часть может стать слишком хрупкой, или вам нужно запланировать определенную твердость отпечатка. ChiTuBox может генерировать шаблоны заполнения, очень похожие на то, что делают ползунки FDM. Это довольно необычная функция для слайсеров SLA. Здесь пользователь может выбрать процент заполнения и толщину стенки.

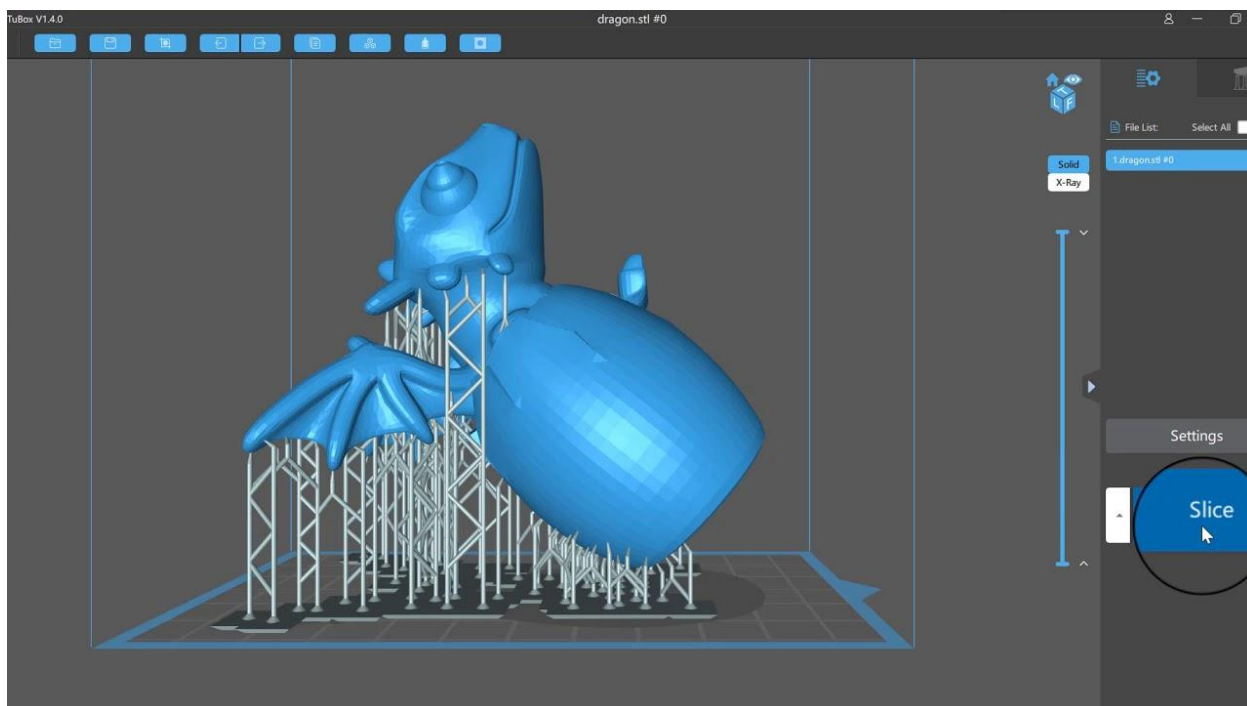


Рисунок 48 – ChiTuBox

2.3.5 Обоснование выбора слайсера

Среди рассмотренных слайсеров больше всего выделяется Ultimaker Cura, так как у программы есть ряд преимуществ:

- русский язык и еще множество других языков разной степени локализации, на русский язык программа переведена полностью;
- бесплатность. Полная бесплатность программы без каких-либо оговорок и ухищрений разработчиков;
- множество полезных функций, позволяющих при должном ознакомлении, гибко управлять процессом трехмерной печати. Также багаж функций растёт с каждым обновлением, включая множество смелых и своеобразных функций, которых другие слайсеры не имеют.

Ultimaker Cura имеет достаточно дружелюбный интерфейс и низкий порог вхождения для осуществления 3D-печати.

3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАКЕТА АПК

3.1 Компьютерное моделирование артиллерийского полукапонира

Для начала построения компьютерной трехмерной модели полукапонира, были получены реальные размеры, как внешней части, так и внутренней, включая размеры бойниц и других помещений, а также положение отверстий для ведения огня артиллерийского полукапонира (рис. 49).

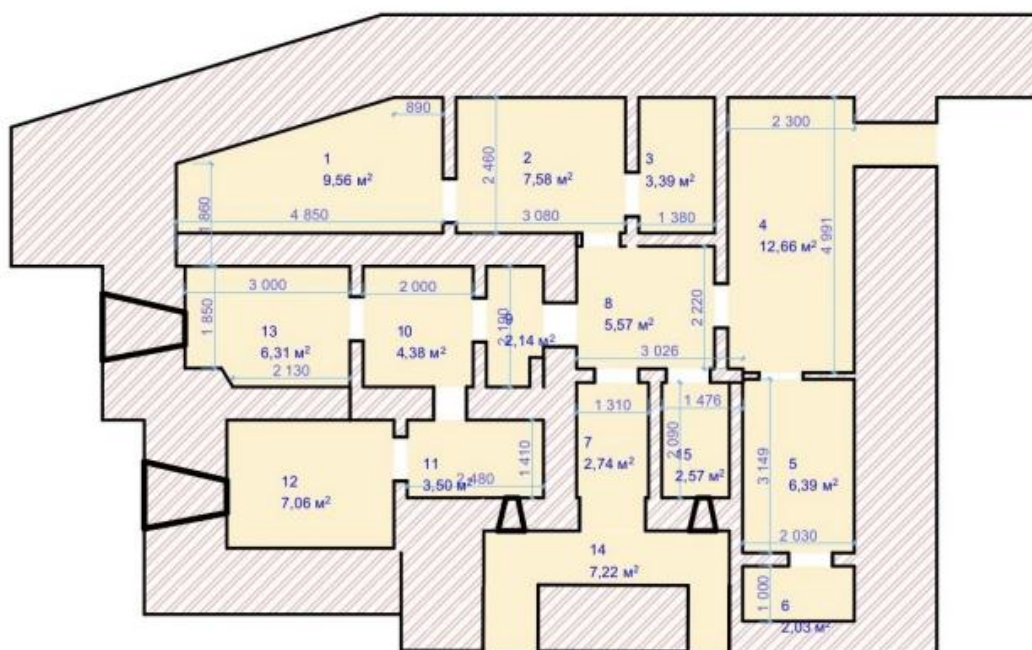


Рисунок 49 – План строения артиллерийского полукапонира

Для удобства моделирования было решено изменить вычисление длины с метров на сантиметры (рис. 50).

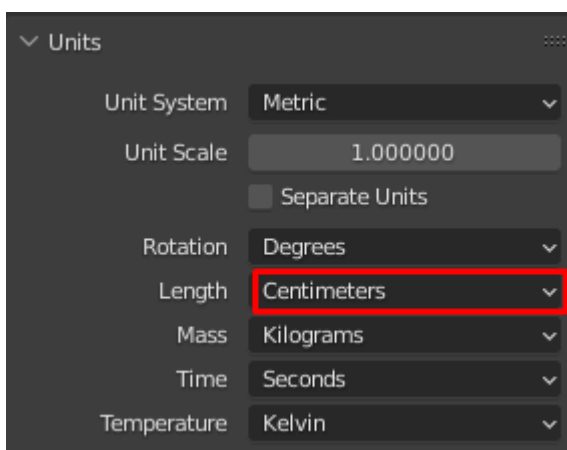


Рисунок 50 – Выбор сантиметров в качестве единицы измерения

Для удобства моделирования было принято решение загрузить в среду трехмерного моделирования Blender план строения и согласно чертежу, выполнить построение модели.

Для загрузки изображения в среду моделирования используется специальная вкладка в меню «Add», под названием «Image», используемым объектом же является «Background» (рис. 51).

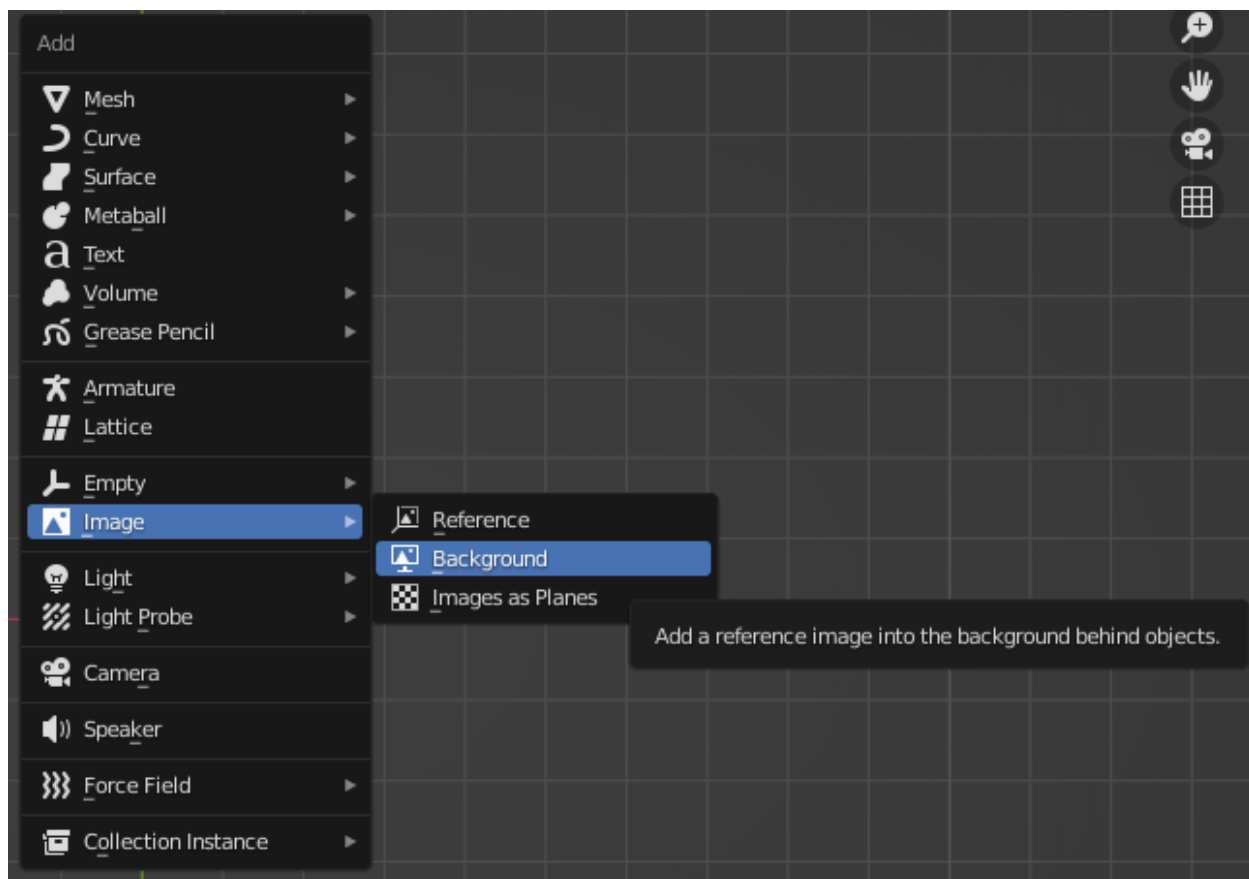


Рис. 51 – Добавление референса

После нажатия на необходимый объект появляется окно, в котором необходимо выбрать нужное изображение, после чего в центре сцены появляется выбранное изображение.

После добавления референса, возникает необходимость его настройки, а именно подбор необходимого масштаба. Для достижения необходимых размеров, использовались инструменты масштабирование и линейка (рис. 52). В конечном счете потребовалось увеличение масштаба изображения в 4.722 раза.



Рисунок 52 – Подбор необходимого масштаба

По завершению подготовки референса, наступает очередь выполнения трехмерной модели. Было решено произвести моделирование начиная с плоскости, которую необходимо подогнать под размеры капонира, а также произвести моделирование топологии, включающей все помещения, проходы и окна.

Для добавления плоскости используется стандартное меню «Add», его вкладка «Mesh» и объект под названием «Plane». После произведенных действий в центре сцены появляется квадратная плоскость стороной 2 м. (рис. 53).

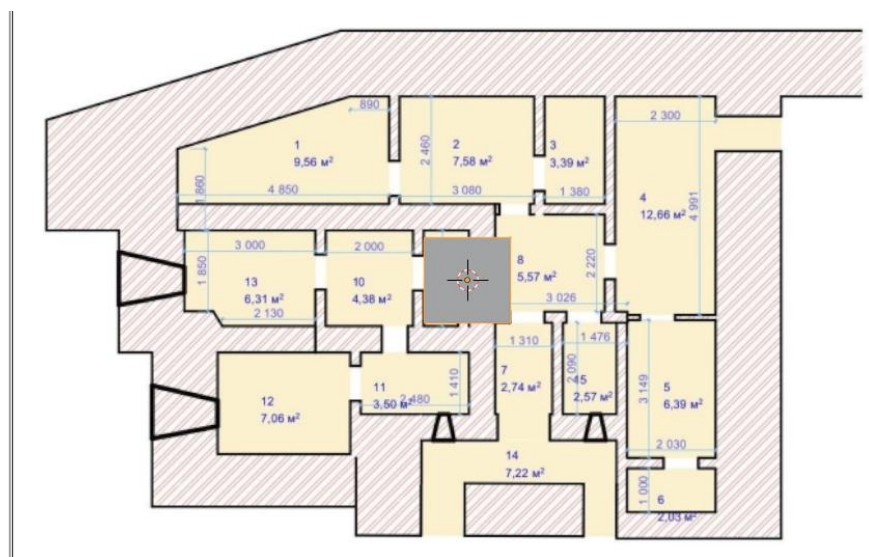


Рисунок 53 – Добавление плоскости

Данная плоскость состоит из 4 вершин, 4 ребер и 1 грани, которыми можно манипулировать, перейдя в режим редактирования объекта. Перейдя в данный режим появляется возможность выбрать необходимый объект воздействия, состоящий из вершин, ребер и полигонов. Также для удобства моделирования необходимо произвести переход от стандартного отображения в сторону режима отображения сетки, в котором отключается отображение полигонов, данным действием получится удобно добавлять и размещать дополнительные группы ребер и вершин.

Для начала было выполнено размещение углов (рис. 54). После их размещения, с помощью добавления дополнительных групп ребер подбирается нужная форма

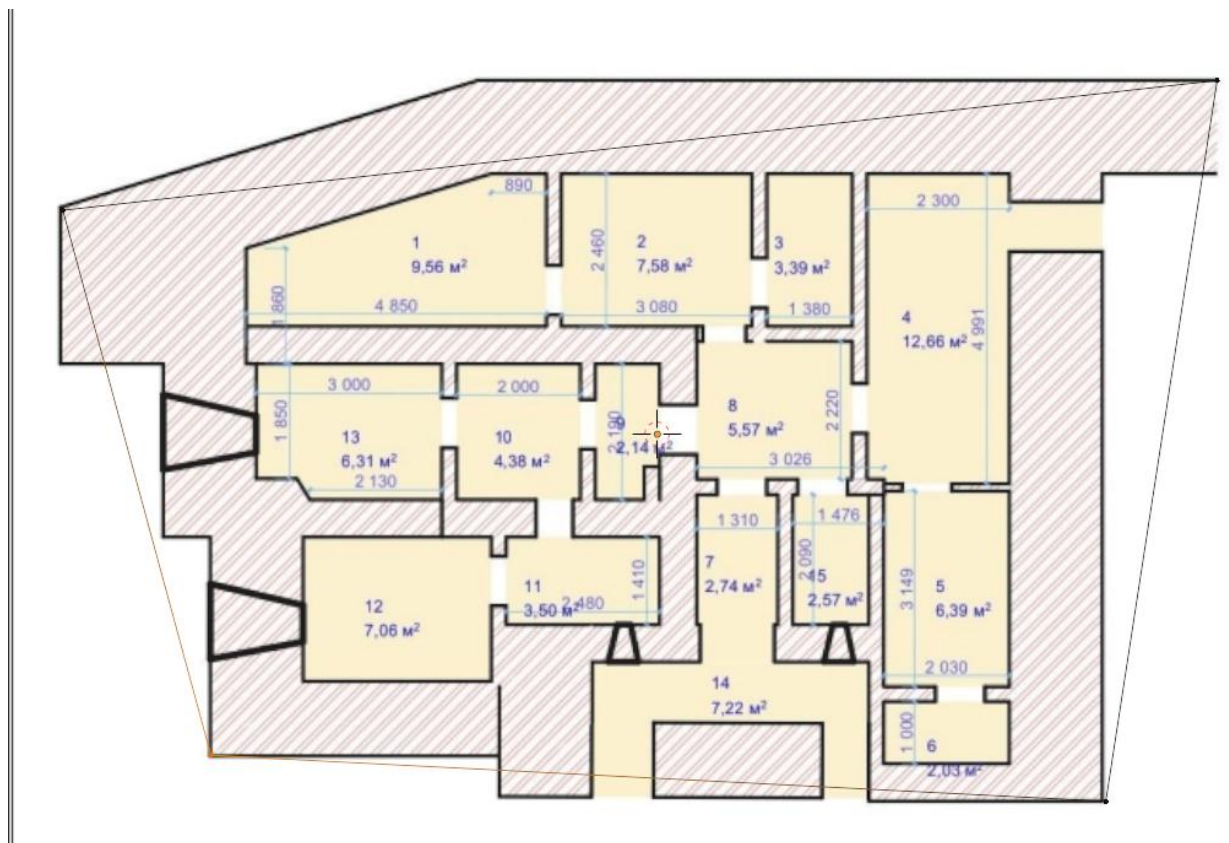


Рисунок 54 – Размещение углов плоскости

Для начала было выполнено повторение внешнего контура артиллерийского полукапонира (рис. 55), затем производится добавление контуров помещений, проходов, бойниц и окон и в конечном итоге получаем результат, изображенный на рисунке 56.

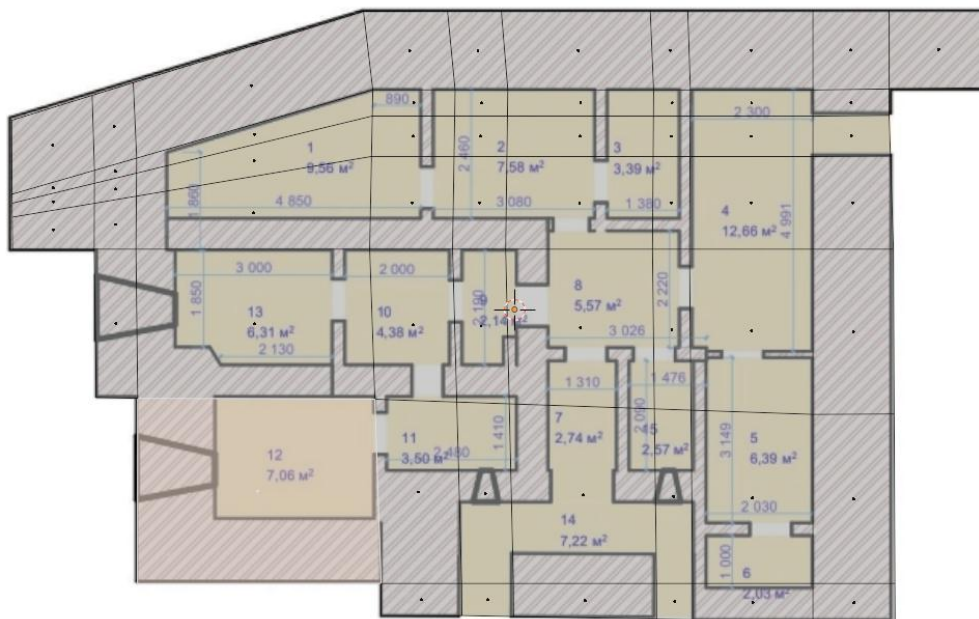


Рисунок 55 – Модель повторяющая внешний контур объекта

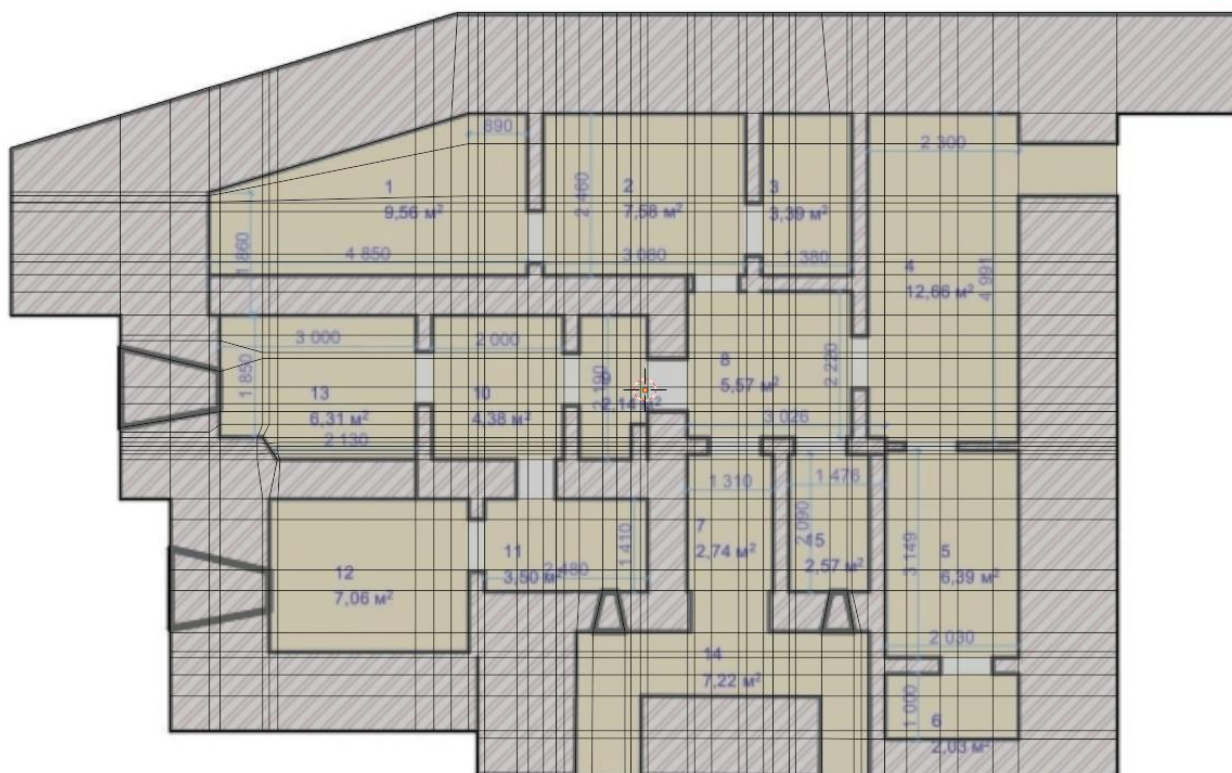


Рисунок 56 – Полностью размеченная рабочая плоскость

Следующий этап включил разметку швов, которые должны охватывать внутренние помещения, а также проходы между ними (рис. 57). Красным цветом помечены швы, проходящие по рёбрам полигональной сетки.

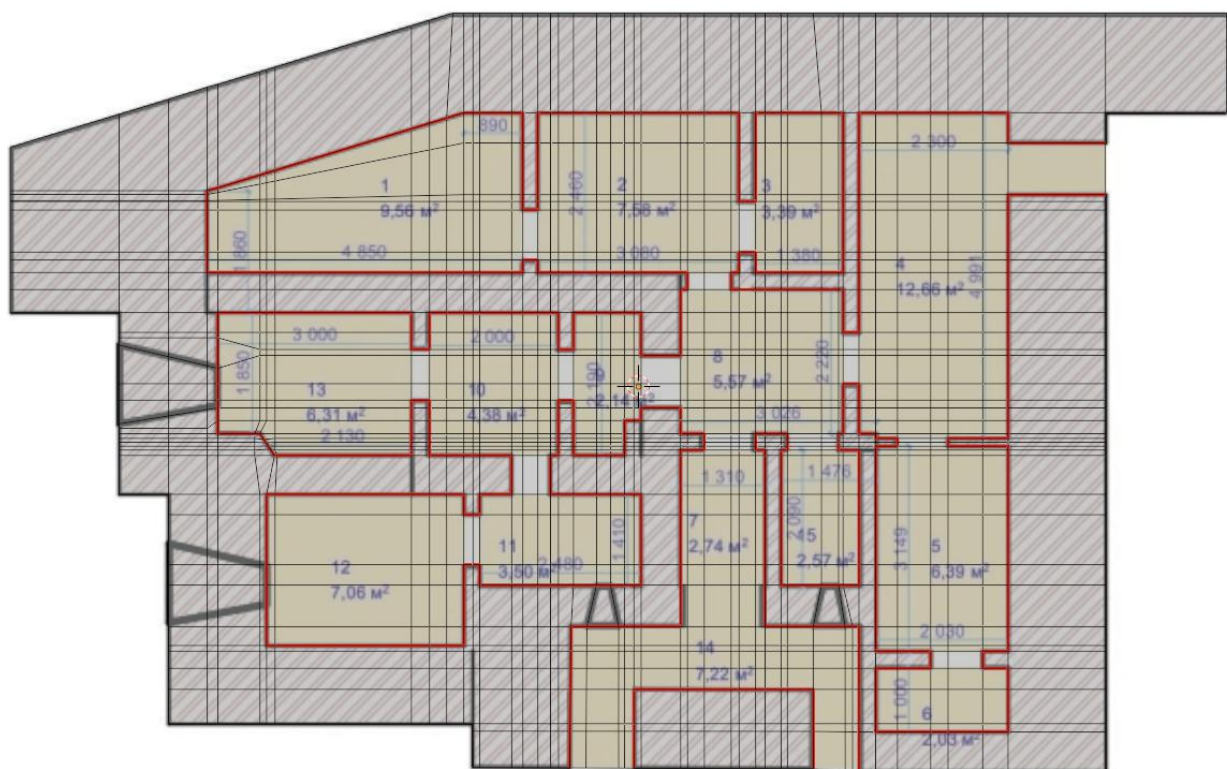


Рисунок 57 – Размеченная плоскость

Произведенная разметка дает возможность быстрого доступа к внутренним помещениям.

После выполнения подготовительных работ можно приступать к выдавливанию объема. Большая часть боевых помещений полукапонира имеет высоту потолков равную 2 метра [36], за исключением трех помещений, расположенных справа согласно плану сооружения, данные помещения имеют углубление в 48 сантиметров относительно остальных помещений, также была задана толщина пола равная 1 метру. Результат проделанной работы изображен на рисунке 58.

Также произведена разметка швов каждого из уровней для быстрого доступа к каждой из частей.

Следующий шаг включил создание боевых отверстий (рис. 59), за счёт правильно подобранной топологии их выполнение производится в считанные клики, путём создания так называемых мостовых соединений.

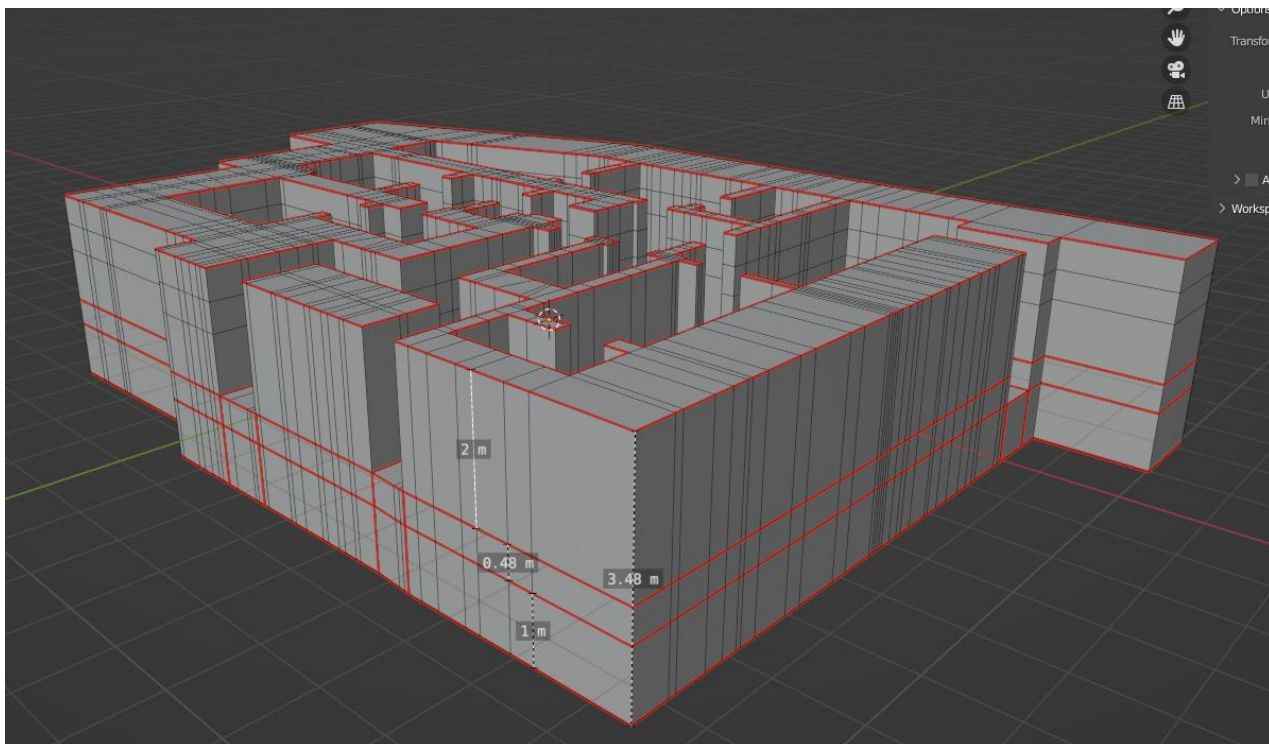


Рисунок 58 – Экструдирование полов и стен

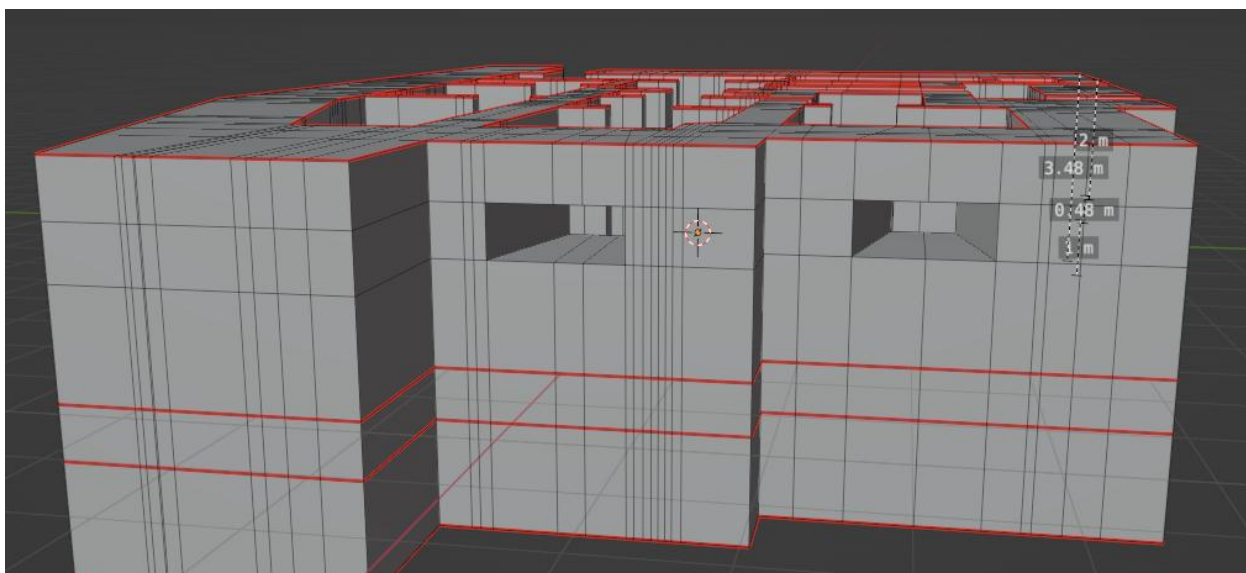


Рисунок 59 – Создание боевых отверстий

Важными деталями полукапонира являются алмазные ровики и лестница ведущая ко входу в полукапонир. Алмазный ровик — небольшой ров,

отрытый в дне крепостного рва, перед амбразурами кофров, для защиты последних от противника, проникшего в ров. В настоящее время возводится иногда перед некоторыми типами долговременных огневых сооружений для защиты амбразур от заваливания ее осколками бетона и для сброса стрелянных гильз.

Моделирование данных объектов производилось методом выдавливания полигонов, относящихся к внешним стенам полукапонира, тем же методом производилось моделирование углублений и конструирования лестницы (рис. 60)

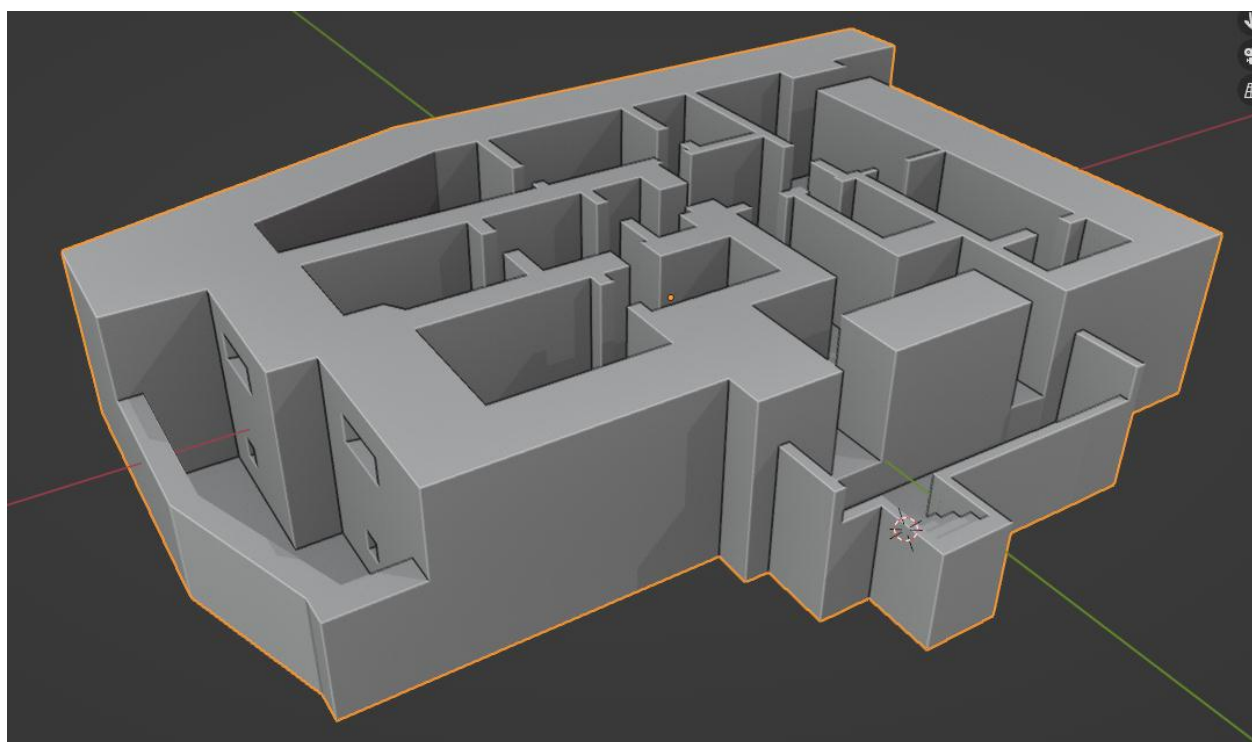


Рисунок 60 – Добавление алмазного рова и лестницы

Так как финальным объектом является макет, распечатанный с помощью аддитивных технологий, возникает необходимость заранее подготовить модель к 3D-печати. Так как размеры полукапонира превышают размер печати имеющегося 3D-принтера, габариты которого составляют 230x210x230 мм, необходимо согласно перечисленным величинам произвести разделение модели. Для удобства будущей сборки было решено произвести деление вдоль стен, проходящих между помещениями (рис. 61).

Результатом произведенных операций является модель полукапонира, разделенная на 9 частей (рис. 62), все разделенные части модели удовлетворяют габаритам 3D-принтера.

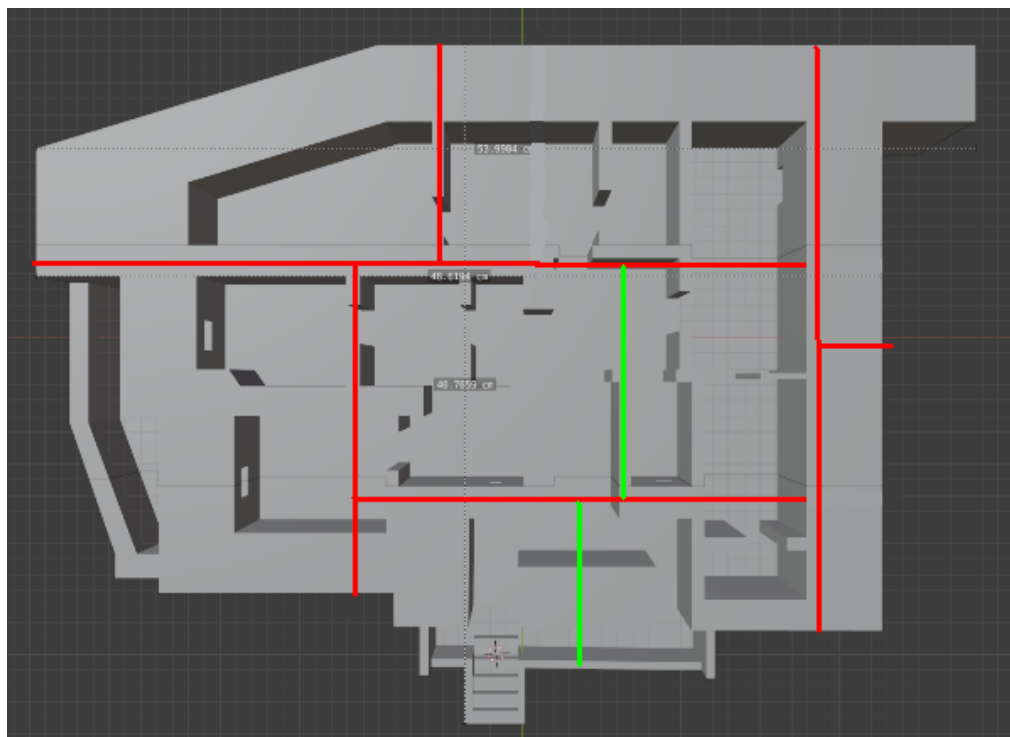


Рисунок 61 – Разметка разделения полукапонира

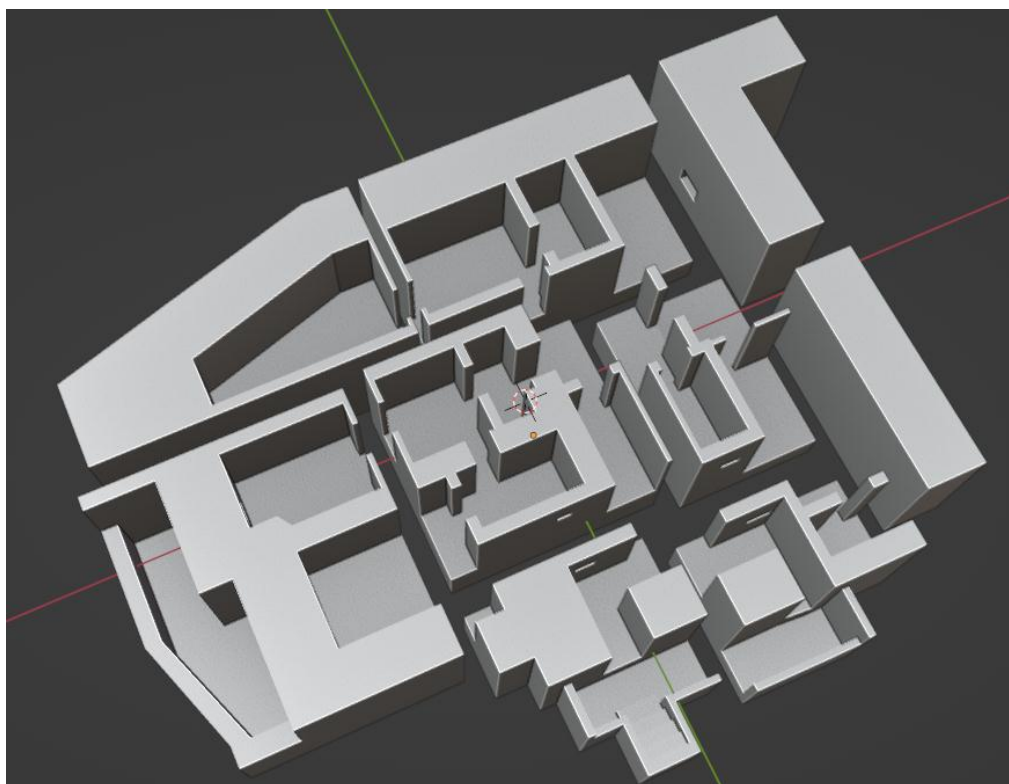


Рисунок 62 – Разделенная модель полукапонира

После того как все части артиллерийского полукапонира смоделированы, остается необходимость создания крыши. По задумке проекта, макет полукапонира является частично разборным, а именно, необходимо организовать разбор крыши таким образом, чтобы была возможность без затруднений осмотреть помещения, в случае же с внешними стенами, данная необходимость не имеет смысла поэтому решено сделать участки крыши, имеющие контакт с внешними стенами монолитной конструкцией. На рисунке 63 изображен результат описанных действий. На изображении отображены участки крыши, которые являются монолитом (внешний периметр), а также разборную часть (центр модели).

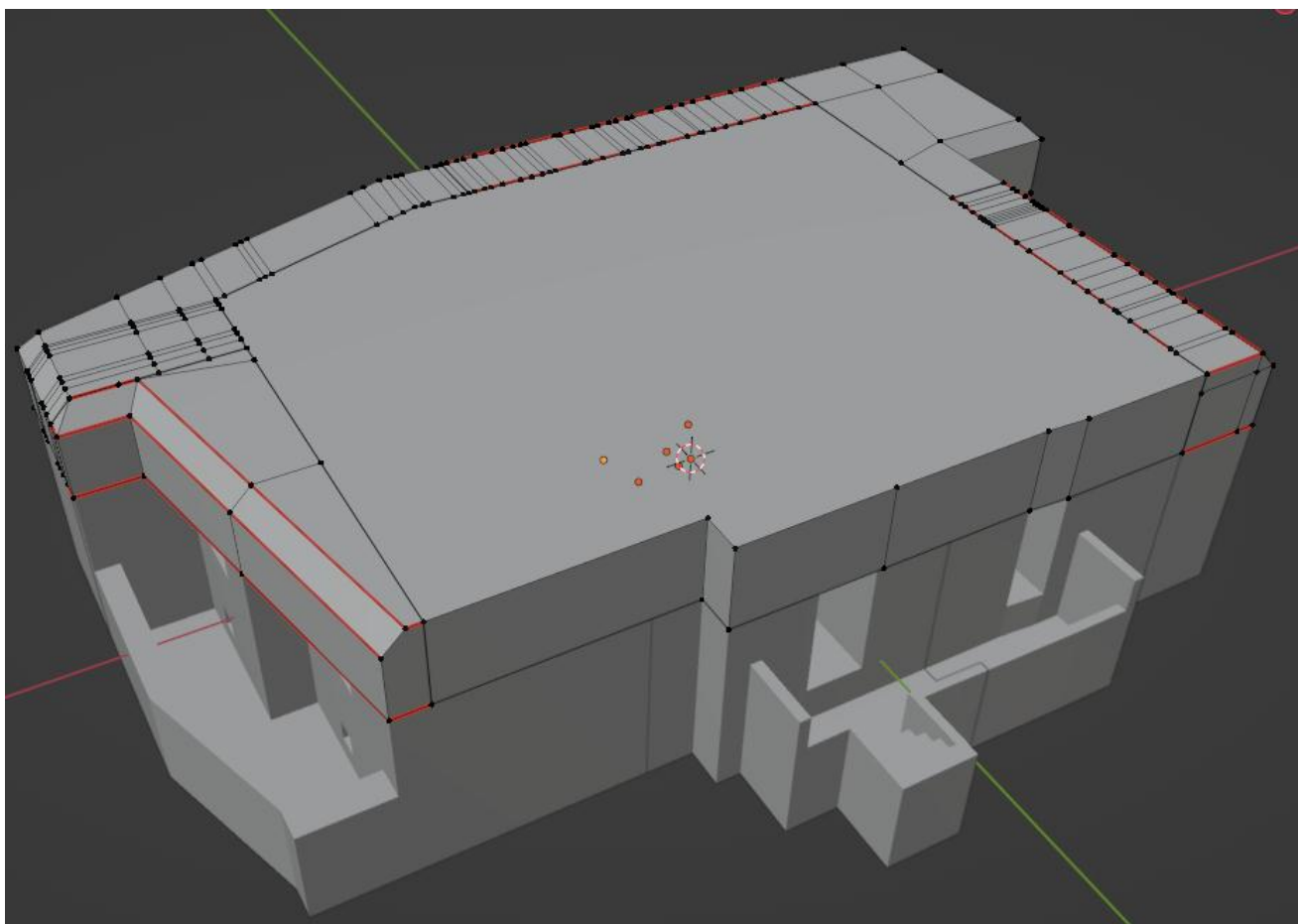


Рисунок 63 – Крыша полукапонира

Так как разборная часть крыши имеет достаточно большие размеры, которые превышают максимальную возможную площадь печати 3D-принтера, стало необходимо поделить данную часть на 4 участка (рис. 64). Деление крыши выполнялось с условиями помещения каждого из участка крыши в зону пе-

чати трехмерного принтера. Для деления применялся инструмент knife, при помощи которого производилось создание вертикального и горизонтального швов с последующим их делением и заполнением.

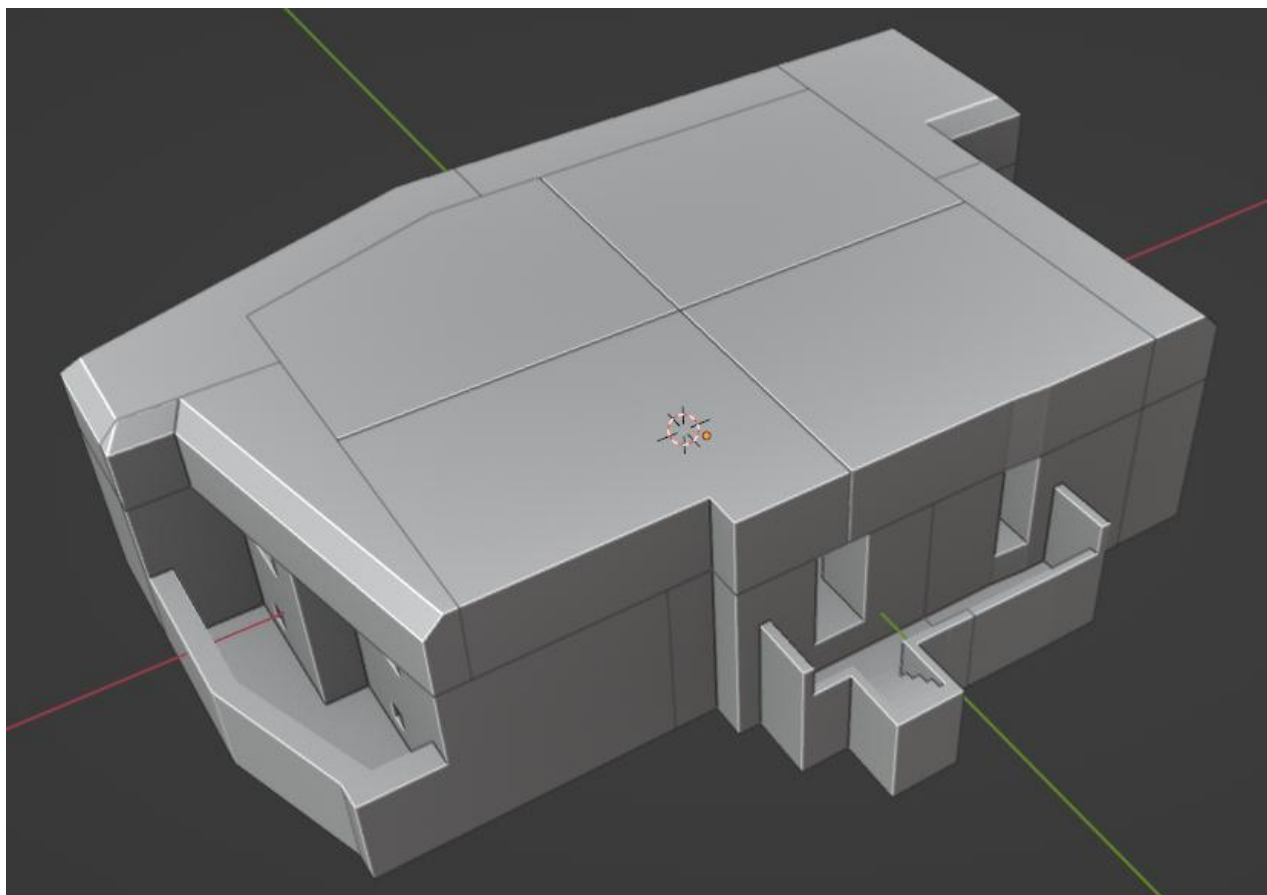


Рисунок 64 – Выполненная модель артиллерийского полукапонира

3.2. Трёхмерная печать артиллерийского полукапонира

На этапе анализа существующих технологий 3D-печати, было принято решение произвести печать по технологии FFF, т.е. методом послойного наплавления. Существует огромное множество устройств, подходящих под данную технологию, так как она является самой распространенной среди устройств аддитивной направленности. Данная технология подразумевает подачу прутка филамента через экструдер в горячую зону, в результате чего, через сопло имеющее маленький диаметр, который обычно составляет 0.4 мм, выходит расплавленный пластик, таким образом формируется слой за слоем с установленной высотой.

В качестве устройства, работающего по технологии FFF, стал 3D-принтер FlyingBear Ghost 5 (рис. 65).



Рис. 65 – 3D-принтер FlyingBear Ghost 5

Данное устройство имеет достаточно большую зону печати и высокое качество печати, характеристики 3D-принтера представлены ниже (табл. 1)

Таблица 1 – Технические характеристики устройства

Модель	Flying Bear Ghost 5
Технология 3D-печати	FDM
Область печати	255×210×200 мм
Толщина слоя	0,05–0,3 мм
Точность позиционирования	0,01 мм по осям XY 0,002 мм по оси Z

Количество печатающих головок	1
-------------------------------	---

Продолжение таблицы 1

Диаметр сопла	20–150 мм/с (рекомендуемая 60 мм/с)
Скорость печати	Да
Скорость движения	120 мм/с
Диаметр пластиковой нити	1,75 мм
Поддерживаемые виды пластика	PLA, ABS, PETG, TPU, HIPS, Wood, нейлон и др.
Датчик окончания филамента	есть
Рекомендуемая температура печати	220 °С (макс. 260 °С)
Температура нагрева стола	60–110 °С
Температура эксплуатации	8–40 °С
Формат файла для печати	G-Code
Источники печати	microSD-карта, Wi-Fi, USB
Управление	цветной сенсорный экран 3,5"
Напряжение питания	220 В / 50 Гц (переключаемое на 110 В / 60 Гц)
Рабочее напряжение	24 В
Потребляемая мощность	до 300 Вт
Размеры принтера	392×342×420 мм
Вес принтера	13,5 кг

Исходя из размеров области печати, на этапе моделирования было произведено деление модели, она включила 18 объектов, 9 из которых – объекты основной части полукапонира со всеми помещениями и 9 относящихся к крыше.

Перед началом печати, необходимо преобразовать выходные файлы формата .STL в .GCODE, для этого требуется воспользоваться программой-слайсером Ultimaker Cura, которая производит нарезку модели по выбранным характеристикам (рис. 66). Параметры печати подбирались исходя из выбора

филамента для трехмерной печати. Так как модель не требует дополнительной физической обработки, было принято решение воспользоваться филаментом PLA, так как данный пластик является распространенным и достаточно простым в печати, рабочая температура для печати данным пластиком является 210 градусов для сопла и 60 для рабочей поверхности.

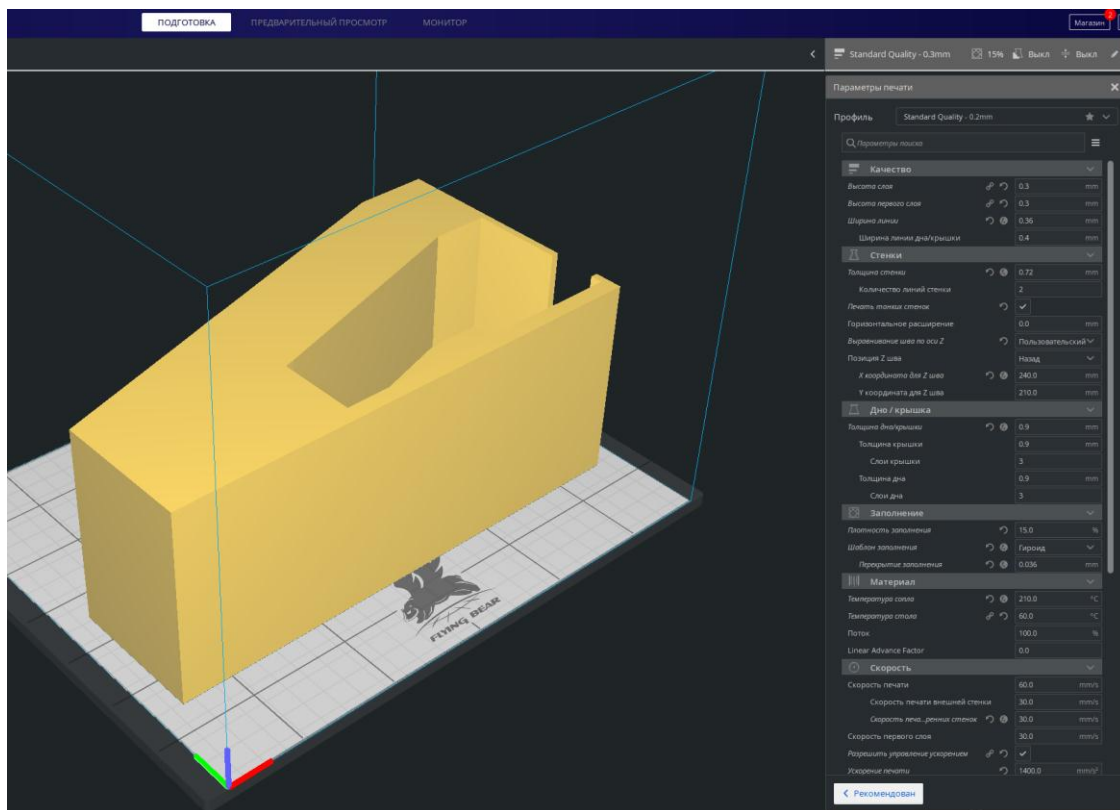


Рисунок 66 – Подготовка модели к печати в слайсере Cura

Основными характеристиками печати являются: подбор температуры печати, высота слоя, плотность заполнения, скорость печати и передвижения. На рисунке 67 изображен процесс печати одной из моделей полукапонира.

Помимо возможности гибкой настройки печати слайсер Cura дает возможность просчитать время и вес печати. Суммарная печать всей модели составила 223 часа и 4255 грамма пластика.

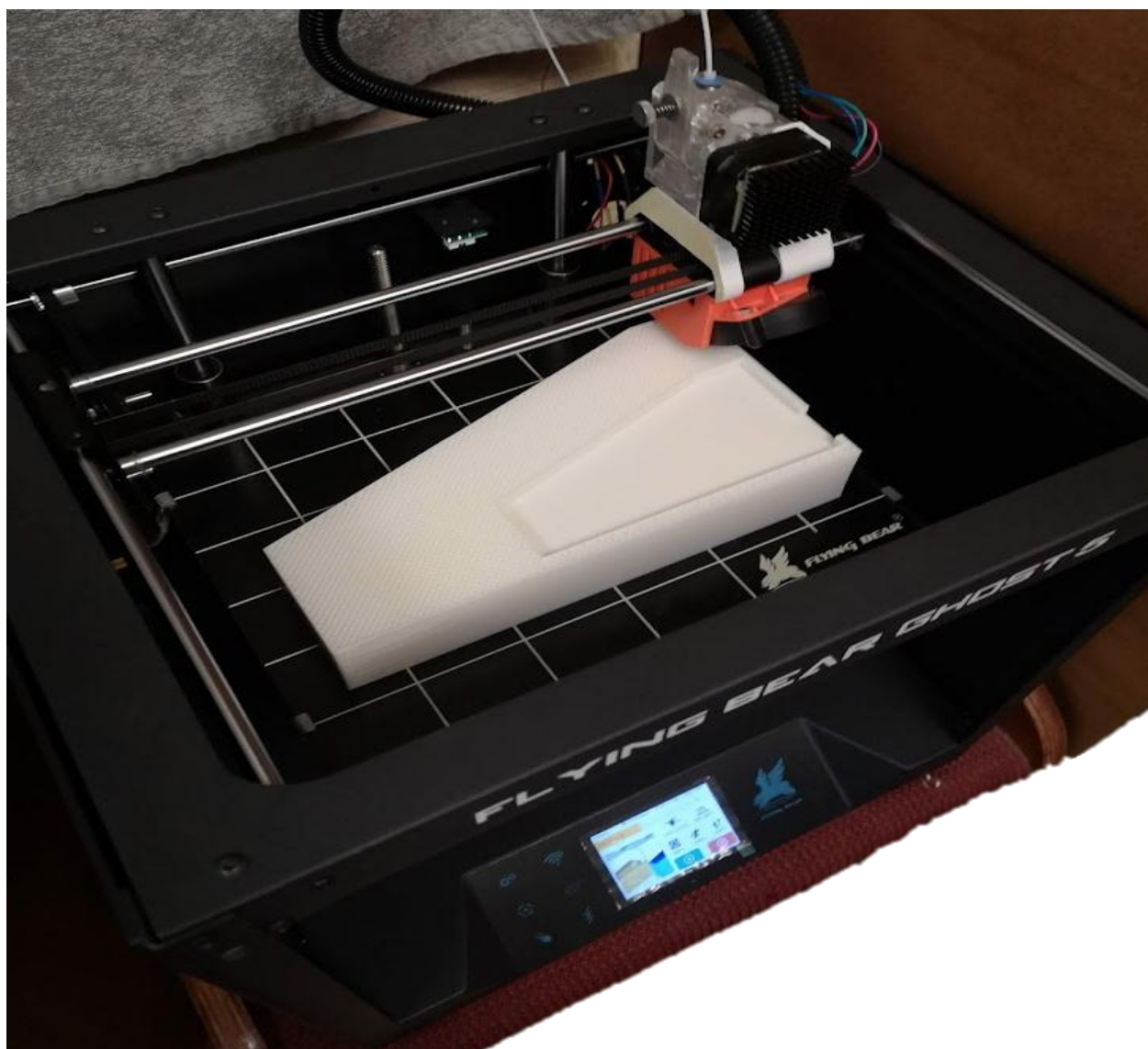


Рисунок 67 – процесс печати 3D-модели

Результатом печати является 3D-модель артиллерийского полукапонира в разборе. Следующим этапом является сборка полукапонира и изготовление макета.

3.3. Изготовление макета АПК

В первую очередь, прежде чем заняться макетом, необходимо собрать распечатанные модели полукапонира. Для этого нужно соединить между собой все части основного этажа, вместе с его помещениями, а затем прикрепить к ним внешние части крыши, не включая сборную часть, относящуюся к разборной части крыши. Результатом этого этапа является собранная модель артиллерийского полукапонира (рис. 68).

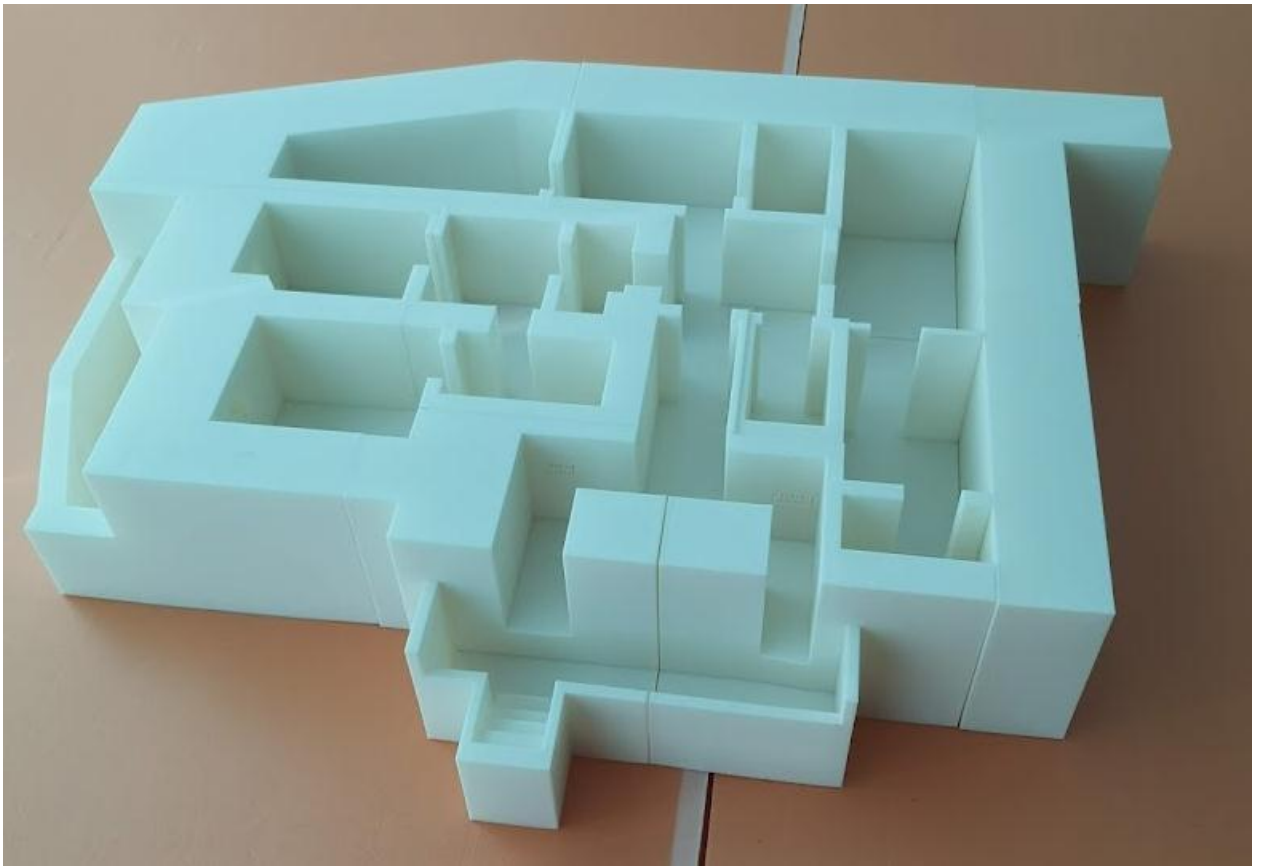


Рисунок 68 – Собранная модель артиллерийского полукапонира

В качестве подмакетника использовались 6 листов утеплителя «ПЕНО-ПЛЭКС» размером 1200 x 600 мм, три слоя по 2 листа, склейка производилась с помощью клея ПВА. По завершению склейки, производилась разметка места посадки модели артиллерийского полукапонира, с последующим вырезом на глубину одного слоя, таким же образом была размечена и вырезана траншея с артиллерийской точкой.

Первым этапом визуализации стала покраска, перед ней потребовалось произвести грунтование. Покраска выполнялась акриловыми красками в несколько слоев. Покраска основной плоскости производилась при помощи валика, а покраска траншейной части при помощи кистей. Результат начальной покраски изображен на рисунке 69.



Рисунок 69 – Склеенный и покрашенный подмакетник

Следующий этап включил в себя, разработку и печать дверей между помещениями капонира, а также некоторые важные объекты наполнения АПК с последующей их установкой на места (рис. 70).

После расположения дверных проемов в межкомнатные пространства, наступает время смоделировать внутренние и внешние объекты и в последствии их распечатать.

В ходе разработки внутренних и внешних атрибутов макета, были разработаны: дизельные бочки, фильтровентиляционная установка, печка, перископ, двухъярусная казарменная койка, столик с телефоном.

Финальный этап включил в себя натяжку проволоки, установку внутренних и внешних объектов, а также придание более естественной окраски (рис. 71).

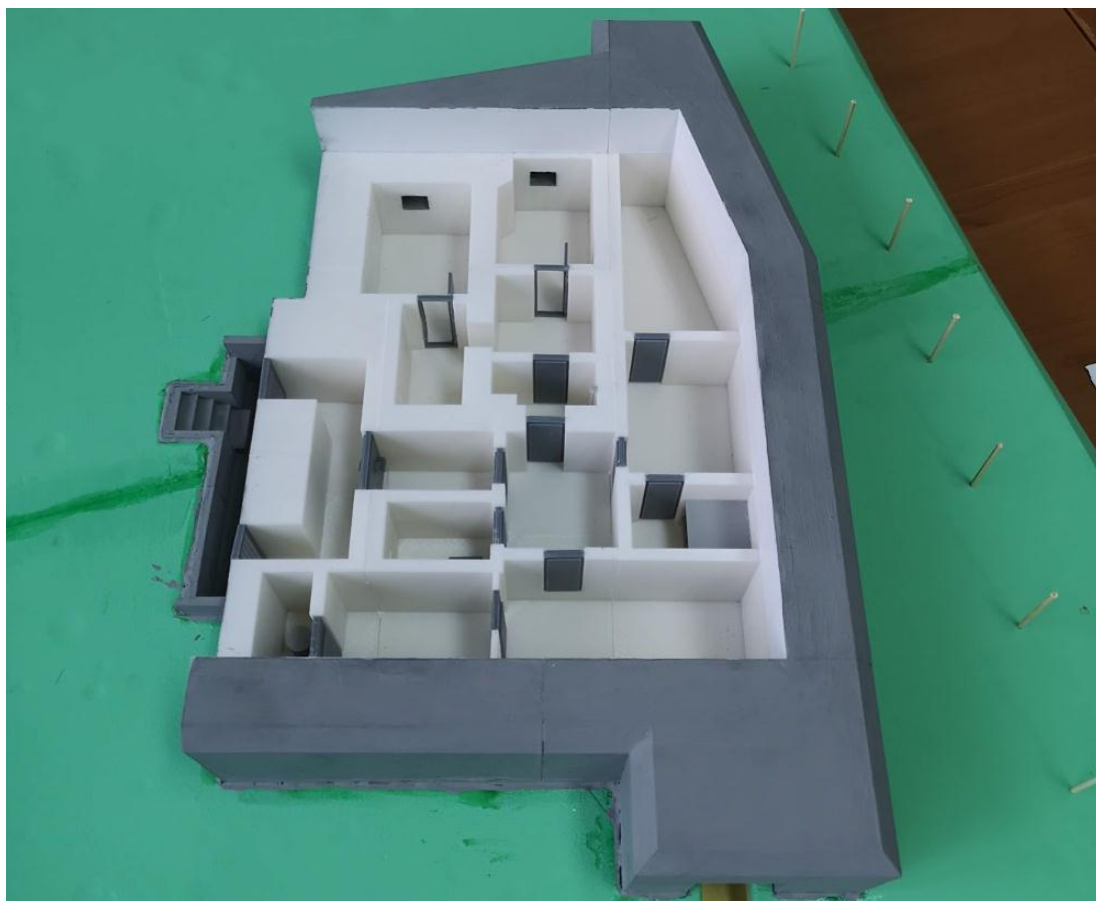


Рис. 70 – Установка внутренних объектов



Рисунок 71 – Финальный результат

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В наши дни множество цифровых технологий могут обеспечить удобство и гибкость разработки компьютерных макетов, позволяя оперативно вносить изменения. Вид макетов, который использует цифровые технологии, связанные с компьютерной трехмерной графикой, отличаются от других существующих макетов. Такие макеты, в отличие от макетов, собранных вручную, могут тиражироваться в больших масштабах.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы были решены все поставленные задачи. Произведен обзор видов компьютерной графики, в частности трехмерной компьютерной графики, а также средств для разработки 3D-моделей, были проанализированы существующие решения, выделены недостатки. Изучение имеющейся литературы посвященной Благовещенскому артиллерийскому полукапониру №108, позволили разработать макет высокой точности. Из плана постройки были получены основные размеры строения и внутренних комнат, размеры бойниц и т.д. Разработанная 3D-модель получила свою физическую копию, при помощи аддитивных технологий, а именно 3D-печати методом послойного наплавления.

Полученный макет, является наглядной копией своего оригинала, включая преимущество в виде разборной крыши, что позволяет просмотреть все внутренние части и особенности комнат и бойниц АПК. Таким образом макет может участвовать в научно-образовательной сфере, а также в развитии военно-патриотической тематике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- 1 Плотников, А.В. Теория, методика и организация социально-культурных проектов: учебное пособие / А.В. Плотников, Г.Г. Плотникова. – Краснодар: КГУФКСТ, 2018. – 210 с.
- 2 Клютко, Д.В. Макетирование и трехмерное компьютерное моделирование деталей и узлов верхнего строения многоцелевых гусеничных и колесных машин: учебное пособие / Д.В. Клютко. – Минск: Инфра-М, 2015. – 349 с.
- 3 Королев, Ю.И. Инженерная графика: учебное пособие / Ю.И. Королев, С.Ю. Устюжанина. – СПб: Питер, 2015. – 496 с.
- 4 Стасюк, Н.Г. Макетирование: учебное пособие / Н.Г. Стасюк, Т.Ю. Киселева. – Москва: Архитектура-С, 2014. – 96 с.
- 5 Новицкий В.Ф. Капонирные орудия: военная энциклопедия / В.Ф. Новицкий. – СПб: Кобелянка, 1915. – 364 с.
- 6 РГВА, ф. 22, оп. 32, д. 199, л. 87-89.
- 7 РГВА, ф. 22, оп. 32, д. 199, л. 26.
- 8 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1, л.2.
- 9 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1, л.3.
- 10 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1.
- 11 РГВА, ф. 37519, оп. 1, д. 46.
- 12 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1.
- 13 Наставление по эксплуатации долговременных фортификационных сооружений укрепленных районов. –М.: Военное издательство, 1957. – С.77-81.
- 14 «85-мм Казематная пушка (ЗИФ-26)». Руководство службы–М.: Военное издательство, 1950. – С.189
- 15 «85-мм Казематная пушка (ЗИФ-26)». Руководство службы–М.: Военное издательство, 1950. – С.97
- 16 Наставление по эксплуатации долговременных фортификационных сооружений укрепленных районов. –М.: Военное издательство, 1957. – С.89
- 17 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.24, лл.291-293

- 18 Соломенцева, С.Б. 3D-моделирование и визуализация: учебное пособие / С.Б. Солменцева. – Елец: ЕГУ им И.А. Бунина, 2019. – 80 с.
- 19 Горелик, А.В. Самоучитель 3Ds Max 2020: учебное пособие / А.В. Горелик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 544 с.
- 20 Миловская, О.В. Дизайн интерьеров и архитектуры. 3Ds Max 2017: учебное пособие / О.В. Миловская. – СПб.: Питер, 2017. – 416 с.
- 21 Чехлов, Д.А. Визуализация в Autodesk May: учебное пособие / Д.А. Чехлов. – Москва: ДМК Пресс, 2016. – 696 с.
- 22 Цыпцын, С.В. Понимая Maya: учебное пособие / С.В. Цыпцын. – Москва: Арт Хаус медиа, 2007. – 1429 с.
- 23 Келлер, Э. Введение в ZBrush 4: учебное пособие / Э. Келлер. – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 754 с.
- 24 Альба, Р. ZBrush для начинающих: учебное пособие / Р. Альба, М. Хоссейн. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 873 с.
- 25 Келлер, Э. Введение в ZBrush 4: учебное пособие / Э. Келлер. – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 754 с.
- 26 Технология 3D-печати FDM (Fused Deposition Modeling) [Электронный ресурс] //Globatek3D. – Режим доступа: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/– 1.04.2022.
- 27 3D-печать для начинающих, или что такое 3D-принтер [Электронный ресурс] // 3D-Today. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/3dprint_basics/. - 3.04.2022.
- 28 Технологии SLA и DLP: сравнение 3D-принтеров в 2020 году [Электронный ресурс] //FormLabs. – Режим доступа: <https://formlabs.com/ru/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>. – 3.04.2020.
- 29 Слайсеры. Программы для подготовки к 3D-печати [Электронный ресурс] //3D Laboratory. – Режим доступа: <https://3d-laboratory.ru/blog-g-code/>. – 3.04.2022.
- 30 Горьков, Д.В. 3D-печать с нуля: учебное пособие / Д.В. Горьков. – СПб. : Издательский Дом СПбГУ, 2005. - 400 с.

- 31 Prusa Slicer обзор [Электронный ресурс] // 3dradar. – Режим доступа: <https://3dradar.ru/post/47992/ю> - 05.04.2022.
- 32 Обзор Simplify3D: лучшая программа для слайсинга? [Электронный ресурс] // 3D Print Story. – Режим доступа: <https://3dprintstory.org/obzor-simplify3d-luchshaya-programma-dlya-slaisinga/>. – 05.05.2022.
- 33 Что такое 3D-печать: просто о сложном [Электронный ресурс] // Top3DShop. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/what-is-3d-printing.html>. – 05.05.2022.
- 34 Обзор Simplify3D: лучшая программа для слайсинга? [Электронный ресурс] // 3D Print Story. – Режим доступа: <https://3dprintstory.org/obzor-simplify3d-luchshaya-programma-dlya-slaisinga/>. – 05.05.2022.
- 35 Обзор слайсера ChiTuBox для 3D печати [Электронный ресурс] // 3DMall. – Режим доступа: <https://3d-m.ru/obzor-slajsera-chitubox-dlya-3d-pechati/>. – 06.05.2022.
- 36 Петренко, А.В. 3D-диорама артиллерийского полукапонира №108 // Молодежь XXI века: шаг в будущее: мат. XXIII регион. науч.-практ. конф. Амурского гос. ун-та – Благовещенск: АмГУ, 2022. – С. 202-203.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 «85-мм Казематная пушка (ЗИФ-26)». Руководство службы–М.: Военное издательство, 1950. – С.189
- 2 «85-мм Казематная пушка (ЗИФ-26)». Руководство службы–М.: Военное издательство, 1950. – С.97
- 3 Альба, Р. ZBrush для начинающих: учебное пособие / Р. Альба, М. Хоссейн. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 873 с.
- 4 Горелик, А.В. Самоучитель 3Ds Max 2020: учебное пособие / А.В. Горелик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 544 с.
- 5 Горьков, Д.В. 3D-печать с нуля: учебное пособие / Д.В. Горьков. – СПб.: Издательский Дом СПбГУ, 2005. - 400 с.
- 6 Келлер, Э. Введение в ZBrush 4: учебное пособие / Э. Келлер. – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 754 с.
- 7 Клютко, Д.В. Макетирование и трехмерное компьютерное моделирование деталей и узлов верхнего строения многоцелевых гусеничных и колесных машин: учебное пособие / Д.В. Клютко. – Минск: Инфра-М, 2015. – 349 с.
- 8 Королев, Ю.И. Инженерная графика: учебное пособие / Ю.И. Королев, С.Ю. Устюжанина. – СПб: Питер, 2015. – 496 с.
- 9 Миловская, О.В. Дизайн интерьеров и архитектуры. 3Ds Max 2017: учебное пособие / О.В. Миловская. – СПб.: Питер, 2017. – 416 с.
- 10 Наставление по эксплуатации долговременных фортификационных сооружений укрепленных районов. –М.: Военное издательство, 1957. – С.77-81.
- 11 Наставление по эксплуатации долговременных фортификационных сооружений укрепленных районов. –М.: Военное издательство, 1957. – С.89
- 12 Новицкий В.Ф. Капонирные орудия: военная энциклопедия / В.Ф. Новицкий. – СПб: Кобелянка, 1915. – 364 с.
- 13 Обзор Simplify3D: лучшая программа для слайсинга? [Электронный ресурс] // 3D Print Story. – Режим доступа: <https://3dprintstory.org/obzor-simplify3d-luchshaya-programma-dlya-slaisinga/>. – 05.05.2022.

- 14 Обзор слайсера ChiTuBox для 3D печати [Электронный ресурс] // 3DMall. – Режим доступа: <https://3d-m.ru/obzor-slajsera-chitubox-dlya-3d-pechati/>. – 06.05.2022.
- 15 Плотников, А.В. Теория, методика и организация социально-культурных проектов: учебное пособие / А.В. Плотников, Г.Г. Плотникова. – Краснодар: КГУФКСТ, 2018. – 210 с.
- 16 Петренко, А.В. 3D-диорама артиллерийского полукапонира №108 // Молодежь XXI века: шаг в будущее: мат. XXIII регион. науч.-практ. конф. Амурского гос. ун-та – Благовещенск: АмГУ, 2022. – С. 202-203.
- 17 РГВА, ф. 22, оп. 32, д. 199, л. 26.
- 18 РГВА, ф. 22, оп. 32, д. 199, л. 87-89.
- 19 РГВА, ф. 37519, оп. 1, д. 46.
- 20 Слайсеры. Программы для подготовки к 3D-печати [Электронный ресурс] //3D Laboratory. – Режим доступа: <https://3d-laboratory.ru/blog-g-code/>. – 3.04.2022.
- 21 Соломенцева, С.Б. 3D-моделирование и визуализация: учебное пособие / С.Б. Солменцева. – Елец: ЕГУ им И.А. Бунина, 2019. – 80 с.
- 22 Стасюк, Н.Г. Макетирование: учебное пособие / Н.Г. Стасюк, Т.Ю. Киселева. – Москва: Архитектура-С, 2014. – 96 с.
- 23 Технологии SLA и DLP: сравнение 3D-принтеров в 2020 году [Электронный ресурс] //FormLabs. – Режим доступа: <https://formlabs.com/ru/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>. – 3.04.2020.
- 24 Технология 3D-печати FDM (Fused Deposition Modeling) [Электронный ресурс] // Globatek3D. – Режим доступа: https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/fdm/– 1.04.2022.
- 25 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1, л.2.
- 26 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1, л.3.
- 27 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.1.
- 28 ЦАМО РФ ф.2335, оп.1, д.24, лл.291-293

- 29 Цыпцын, С.В. Понимая Maya: учебное пособие / С.В. Цыпцын. – Москва: Арт Хаус медиа, 2007. – 1429 с.
- 30 Чехлов, Д.А. Визуализация в Autodesk Maya: учебное пособие / Д.А. Чехлов. – Москва: ДМК Пресс, 2016. – 696 с.
- 31 Что такое 3D-печать: просто о сложном [Электронный ресурс] // Top3DShop. – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/what-is-3d-printing.html>. – 05.05.2022.
- 32 3D-печать для начинающих, или что такое 3D-принтер [Электронный ресурс] // 3D-Today. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/3dprint_basics/. – 3.04.2022.
- 33 Prusa Slicer обзор [Электронный ресурс] // 3dradar. – Режим доступа: <https://3dradar.ru/post/47992/ю> - 05.04.2022.