

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
«_____» _____ 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На тему: Разработка симулятора системы газоснабжения космодрома

Исполнитель студент группы 157-ом	_____	А.А. Огородников
	(подпись, дата)	
Руководитель Доцент, канд. физ-мат. наук	_____	В.В. Еремина
	(подпись, дата)	
Руководитель научного содержания программы магистратуры Профессор, доктор техн. наук	_____	И.Е. Еремин
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль Доцент, канд. техн. наук	_____	Л.В. Никифорова
	(подпись, дата)	
Рецензент Доцент, канд. техн. наук	_____	
	(подпись, дата)	

Благовещенск, 2023

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

« _____ » _____ 2023 г.

З А Д А Н И Е

К магистерской диссертации студента группы 157-ом _____

Огородникова Александра Александровича _____

1. Тема магистерской диссертации: Разработка симулятора системы газоснабжения космодрома

(Утверждено приказом от 21.02.2023 № 442-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 20.06.2023

3. Исходные данные к магистерской диссертации: Техническое описание, фотографии, учебная литература, интернет ресурсы.

4. Содержание магистерской диссертации (перечень подлежащих разработке вопросов): анализ предметной области; поиск существующих решений; моделирование объекта исследования

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): техническое задание, руководство пользователя.

6. Рецензент магистерской диссертации: _____

7. Дата выдачи задания 30.01.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: В.В. Еремина,

доцент, канд. физ-мат. наук

Задание принял к исполнению (30.01.2023) _____

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 72 с., 69 рисунков, 51 источник, 2 приложения на 10 с.

СИМУЛЯЦИЯ, СИСТЕМА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ, ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ, ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ, BLENDER 3D, АНИМАЦИЯ.

Целью работы является разработка симулятора системы газоснабжения космодрома, при помощи 3D моделирования. Полученный программный продукт будет использоваться для обучения специалистов и демонстрации работы системы.

В данной работе описывается процесс разработки симулятора при помощи графического редактора Blender 3D. Результатом является подробная симуляция эксплуатации системы, представленная готовым рендером анимации. Также работа подразумевает дальнейшее использование программного продукта в среде разработки для добавления возможности взаимодействия с пользователем посредством VR технологии.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Общая характеристика исследуемой задачи	6
1.1 Предметная область и объект проводимого исследования	6
1.2 Обзор существующих методов решения аналогичных задач	9
2 Алгоритмическое и программное обеспечение решения задачи	12
2.1 Предлагаемый алгоритм компьютеризированного решения задачи	12
2.2 Обзор возможностей профильного программного обеспечения	12
2.2.1 Интерфейс графического редактора	14
2.3 Характеристика выбранного программно-технического обеспечения	21
3 Программная реализация предлагаемого алгоритма решения задачи	22
3.1 Основные этапы практической разработки программного продукта	22
3.1.1 Моделирование компрессорной станции	22
3.1.2 Моделирование пневмоцитов	41
3.1.3 Моделирование ресиверной	43
3.1.4 Моделирование системы	44
3.1.5 Моделирование виртуального рабочего пространства	45
3.1.6 Настройка симуляции работы системы	48
3.2 Примеры фактического тестирования программного продукта	52
3.3 Анализ достоверности практической значимости результатов	54
Заключение	55
Библиографические ссылки	56
Библиографический список	57
Приложение А	63
Приложение Б	67

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время специалисты космодромов «Восточный» (Амурская область РФ), «Плесецк» (Архангельская область), «Южный» (Республика Казахстан) обеспечивают своевременный полный комплекс работ по подготовке ракеты-носителя, участвуют в проведении сборочных операций, комплексных испытаний и монтажных работ на техническом комплексе. Результатом работы специалистов является скомплектованное, испытанное изделие готовое к отправке на стартовый комплекс к проведению заправочных и заключительных операций по запуску ракеты космического назначения. Специалисты технического комплекса, работая с изделиями ракетно-космической техники, должны обладать высокой степенью ответственности при выполнении своих трудовых функций. Качество работ должно быть обеспечено на наивысшем уровне. В связи с этим на специалистов технического комплекса накладывается ответственность за высокий уровень знаний и умений в использовании технологического оборудования, технических средств, инструментов и приборов для обеспечения успешного проведения испытаний на техническом комплексе.

Для развития и оценки профессиональных качеств разработка симулятора системы газоснабжения космодрома является современным и перспективным решением. Симулятор будет повторять процесс работы, который проводится персоналом отдела эксплуатации систем газоснабжения технического комплекса.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОЙ ЗАДАЧИ

1.1 Предметная область и объект проводимого исследования

Предметной областью исследования является система газоснабжения космодрома. Далее приводится общее описание систем газоснабжения, которое берется за основу для разработки симулятора. Системы газоснабжения космодромов предназначены для выполнения следующих операций:

- заправки бортовых баллонов ракеты сжатыми газами (воздухом, азотом, гелием);
- пневмоиспытаний ракеты на технической позиции;
- пневмоиспытаний космических аппаратов;
- пневмоиспытаний разгонных блоков и блоков выведения;
- обеспечения работы элементов пневмоавтоматики (пневмоклапанов, пневмоцилиндров и т.д.);
- для наддува заправочных емкостей при заправке ракеты компонентами топлива;
- для опрессовки соединений трубопроводов заправочных систем с целью определения их герметичности.

К сжатым газам, выдаваемым компрессорными станциями, предъявляются ряд специфических требований, связанных с их очисткой от механических примесей, осушкой (удалением паров и капель воды), а также удалением капель масла.

Удаление механических примесей из сжатых газов необходимо для исключения отказов в работе пневмоклапанов и пневмоавтоматики двигательных установок ракет и стартового оборудования, так как данные элементы имеют малые проходные сечения, которые могут забиваться механическими примесями, если не подвергать сжатые газы предварительной очистке. Осушка сжатых газов необходима для удаления паров и капель воды, которые при снижении давления в дроссельных устройствах, сопровождаемого понижением температуры ниже 0 °С, могут превращаться в кристаллы льда, забивающего проходные сечения

арматуры, и вызывать отказы в работе пневмоавтоматики двигательных установок ракеты и стартового комплекса. Удаление капель масла из сжатых газов необходимо для исключения попадания их в топливные баки ракеты и емкости заправочных систем, так как масло при контакте с окислителями (с жидким кислородом) образует взрывоопасные смеси.

Компрессорные станции могут быть многоступенчатые, многоцилиндровые поршневые и дизельные. Получение сжатых газов может осуществляться с использованием газификационных установок, позволяющих производить газ из жидкого состояния. Например, газообразный сжатый азот может получаться из жидкого азота, являющегося побочным продуктом при получении жидкого кислорода. Варианты исполнения компрессорных станций приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Примеры компрессорных станций воздуха высокого давления

Для получения сжатых газов используются компрессорные станции, в состав которых входят многоступенчатые, многоцилиндровые поршневые компрессоры и дизель-компрессоры высокого давления, позволяющие получать на выходе сжатый газ с давлением до 40 МПа (400 атм). Получение сжатых газов может осуществляться с использованием газификационных установок, позволяющих производить газ из жидкого состояния. Например, газообразный сжатый азот может получаться из жидкого азота, являющегося побочным продуктом при получении жидкого кислорода.

Хранение сжатых газов осуществляется в специальных баллонах, размещаемых в хранилищах – ресиверных или на подвижных транспортных средствах. Ресиверные размещаются в отдельных защищенных помещениях. При хранении большого количества сжатых газов в ресиверных используются стандартные

баллоны объемом 400 л., рассчитанные на рабочее давление в 400 атм. В ресиверных несколько баллонов соединяются параллельно в секции, которые обслуживают определенного потребителя. Баллоны в ресиверных располагаются, как правило, в вертикальном положении, хотя допускается и иное их расположение (горизонтальное или наклонное).

Для приема, контроля и выдачи сжатых газов потребителям в оборудовании ресиверной входят:

- приемная колонка;
- арматура;
- контрольно-измерительные приборы;
- трубопроводы.

Приемная колонка служит для наполнения баллонов сжатыми газами от подвижных заправочных средств (передвижных компрессорных станций и ресиверных). Контрольно-измерительные приборы позволяют осуществлять контроль за качеством сжатых газов и давлением в баллонах. Для определения влажности газов и взятия проб в ресиверной оборудуется щит отбора проб. Давление в секциях контролируется манометрами дистанционным способом.

Для автоматизации заполнения ресиверной сжатыми газами и выдачи их потребителю применяются: электроклапаны;

- электропневмоклапаны;
- пневмоклапаны;
- редукторы (служат для понижения давления).

Для удобства обслуживания ресиверной во время эксплуатации арматура и контрольно-измерительные приборы отдельных секций группируются на отдельных щитах. Для обеспечения безопасности эксплуатации систем газоснабжения применяются предохранительные клапаны и предохранительные (разрывные мембраны).

Объектом исследования является сам симулятор. У понятия симулятор существует множество определений. В данной работе принимается следующее: симулятор — это программное средство, создающее впечатление

действительности, отображая часть реальных явлений и свойств в виртуальной среде. Разрабатываемый симулятор будет визуализировать процесс работы на системе газоснабжения, отображая изменение параметров агрегатов.

1.2 Обзор существующих методов решения аналогичных задач

Симуляторы рабочих процессов на производстве постепенно становятся популярными, одной из компаний занимающихся разработкой симуляторов является «Vizzion» - Системный интегратор IT решений полного цикла. Данный разработчик использует в своей работе в том числе Unity. Данная компания внедрила свои симуляторы в такие компании как «Северсталь», «Роснефть» (в данном примере использовалось VR-оборудование: Oculus Quest), «Газпром нефть».

Симуляторы на производстве позволяют отработать поведение руководителей и персонала в нестандартных ситуациях, пройти обучение по работе с оборудованием различного типа, проводить конструкторские работы с детальной информацией об изделиях и их конфигурациях и многое другое (рисунки 2 и 3) [1].



Рисунок 2 – Конструктор компании Vizzion



Рисунок 3 – VR-симулятор для обучения на производстве компании Vizzion

Компания «Varwin Reality Management System» также является разработчиком VR-симуляторов. Varwin специализируется на разработке решений с использованием собственного отечественного VR-конструктора. Данная компания разрабатывала VR-тренажеры для «Объединенной химической компании «Уралхим», «Газпром Нефть» (рисунки 4,5) [2].

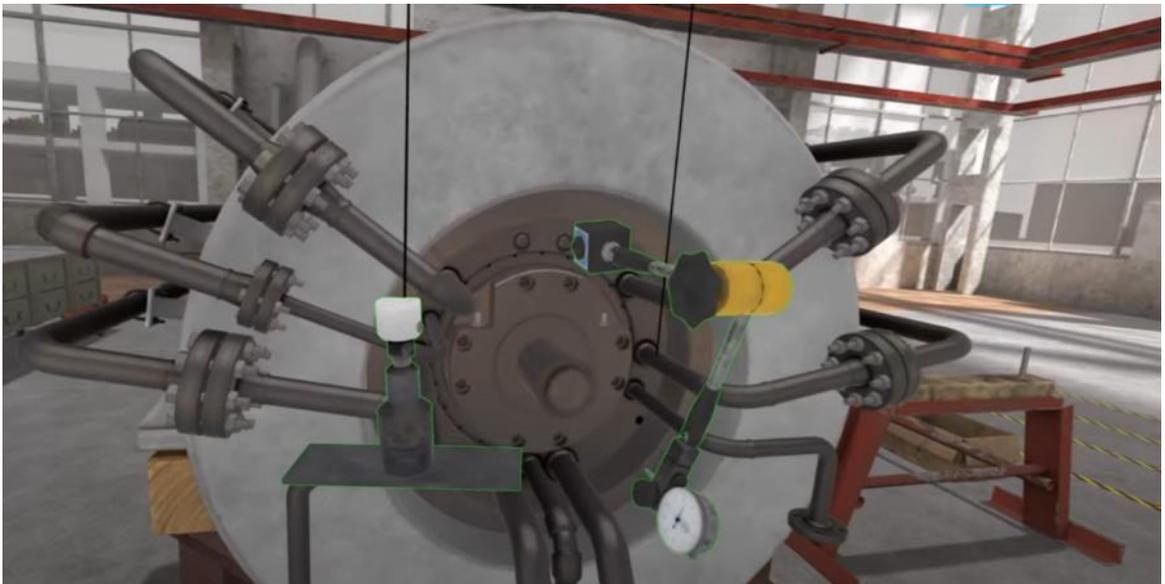


Рисунок 4 – Тренажер по ремонту компрессора разработанный «Varwin»



Рисунок 5 – VR-тренажер для осуществления работ по зачистке емкости от нефтешлама разработанный «Varwin»

Перечисленные компании не являются единственными на отечественном рынке, симуляторы на основе технологии виртуальной реальности все чаще внедряются в производство и промышленность. Наиболее передовые предприятия нашей страны уже успешно применяют подобные разработки [3].

2 АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

2.1 Предлагаемый алгоритм компьютеризированного решения задачи

Симулятор системы газоснабжения космодрома должен содержать виртуальное оборудование как можно более приближенное к реальному и отображать основные процесс эксплуатации системы.

В ходе данной работы предлагается следующее решение по разработке симулятора:

- разработать 3Д модели с использованием графического редактора;
- анимировать процесс работы агрегатов, повторяя алгоритм эксплуатации системы специалистами космодрома;
- добавить аудио сопровождение;
- подготовить демонстрационные рендеры и протестировать симуляцию работы.

Полученный по итогу выполнения работы программный продукт в дальнейшем будет экспортирован в среду разработки с целью адаптации к работе с технологией VR и добавления функционала взаимодействия с пользователем.

2.2 Обзор возможностей профильного программного обеспечения

Для разработки симулятора используется графический редактор Blender 3D. Это бесплатный программный продукт, предназначенный для создания и редактирования трехмерной графики. Программа распространена на всех популярных платформах, имеет открытый исходный код и доступна совершенно бесплатно всем желающим, а также есть версия на русском языке. Эти особенности сделали ее крайне популярной как среди начинающих пользователей, так и среди настоящих профессионалов моделирования. Нередко она выбирается в качестве основного рабочего инструмента для больших и серьезных проектов. Blender 3D сможет познакомить с основными особенностями 3D моделирования, а также предложит использовать понятные инструменты для создания или

редактирования моделей. Представлены практически все опции, доступные пользователям профессиональных сборок.

Функции приложения, которые обусловили выбор данного графического редактора:

- *3D моделирование.* Пользователю доступно огромное количество инструментов для создания и редактирования 3D моделей самых разных уровней сложности. Причем моделировать объекты можно при помощи доступных примитивов, полигонов, NURBS-кривых и кривых Безье. Дополнительно предусмотрен функционал для формирования метасфер и управления формой при помощи булевых операций. Не стоит забывать и о технологиях Subdivision Surface и наиболее понятных инструментах создания скульптур. По аналогии с профессиональными сборками, тут предусмотрены модификаторы для изменения формы моделей.

- *Создание анимации.* Несмотря на то, что софт сам по себе рассчитан на моделирование, анимация также представлена. Можно использовать традиционную скелетную анимацию или риггинг, инверсную кинематику, различные ограничители и многое другое. Все коэффициенты и параметры настраиваются при помощи встроенных инструментов. Дополнительно представлена динамика тел разной твердости и формирование анимации мелких частиц.

- *Текстуры.* Можно накладывать сразу несколько текстур на один и тот же объект. Есть масса инструментов для текстурирования, в том числе UV-маппинг и функция частичного настраивания. Значительно облегчает работу настройки шейдеров.

- *Рисование.* Есть много встроенных средств для создания набросков кистями прямо в окне программы. Сейчас эту функцию используют для более удобного формирования двухмерной анимации.

- *Инструменты визуализации.* Есть сразу несколько предустановленных средств для показа результата работы, а также предусмотрена совместимость со сторонними рендерами от разных разработчиков.

- *Видеоредактор*. О наличии этой функции могут не догадываться даже очень опытные пользователи. Однако в программе действительно предусмотрен редактор видеороликов с неплохим инструментарием [4].

Интерфейс Blender состоит из нескольких окон. Количество окон и их типы не заданы жёстко; пользователь может настроить интерфейс по своему усмотрению - вручную или выбрав один из готовых вариантов расположения окон из меню «Screen Layout» в верхней части экрана.

2.2.1 Интерфейс графического редактора

Кроме кнопок верхнего меню (File, Edit, Render, Window и Help) в той же области можно найти различные вкладки — это преднастроенные рабочие пространства для различных действий. Таким образом, разработчики уже настроили оптимальные раскладки для моделирования, скульптинга, рисования текстур, анимации и т.д. Быстро переключаться между ними можно с помощью комбинации клавиш Ctrl+PageUp/PageDown (рисунок 6).

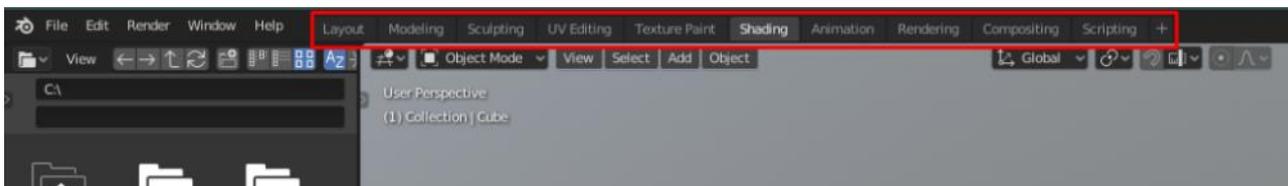


Рисунок 6 – Верхняя часть меню

Стоит обратить внимание на нижнюю панель, на которой можно обнаружить подсказки по действиям мыши (рисунок 7):

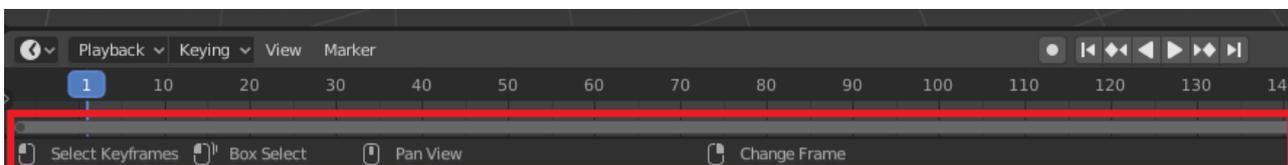


Рисунок 7 – Нижняя часть интерфейса

Чуть выше таймлайн (временная шкала). Он нужен в первую очередь для создания анимаций. Причем в зависимости от зажатых клавиш или места наведения курсора эти подсказки будут меняться. Если зажать Shift или Ctrl, то программа напишет вам, что они сделают.

Чтобы открыть/закрыть панель инструментов, необходимо нажатие клавиши T (панель инструментов представлена на рисунке 8).



Рисунок 8 – Панель инструментов

Здесь представлены основные инструменты для данного окна. В зависимости от режима инструменты могут меняться.

Для того, чтобы открыть правую панель нажимается клавиша N (панель представлена на рисунке 9).

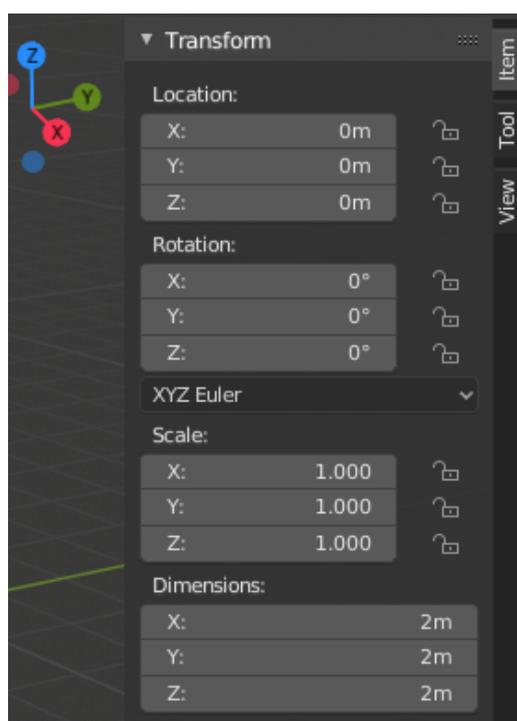


Рисунок 9 – Панель со вкладками Item, Tool, View

В этих вкладках можно найти данные по трансформации (Item), специфичные настройки инструментов (Tool) и самого окна предпросмотра (View). В последнем можно настроить положение 3D курсора (рисунок 10).

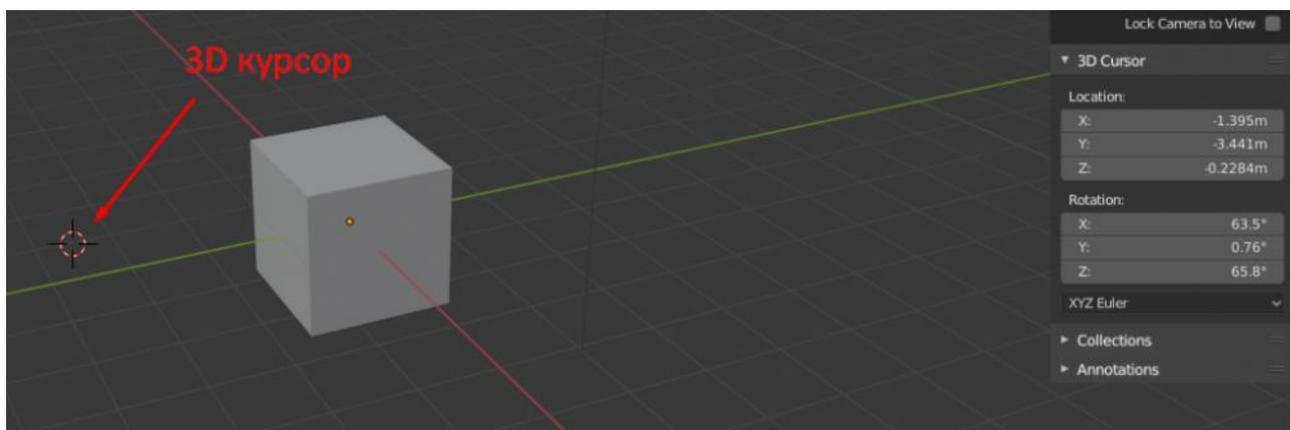


Рисунок 10 – Настройка курсора

3D курсор – точка появления всех объектов. Также 3D курсор можно использовать как “точку опоры” (pivot point).

В окне предпросмотра курсор можно переставлять, зажав Shift и нажав ПКМ на месте, где нужно его видеть. Чтобы вернуть курсор на изначальную позицию, можно нажать Shift+S – Cursor to World Origin (рисунок 11).

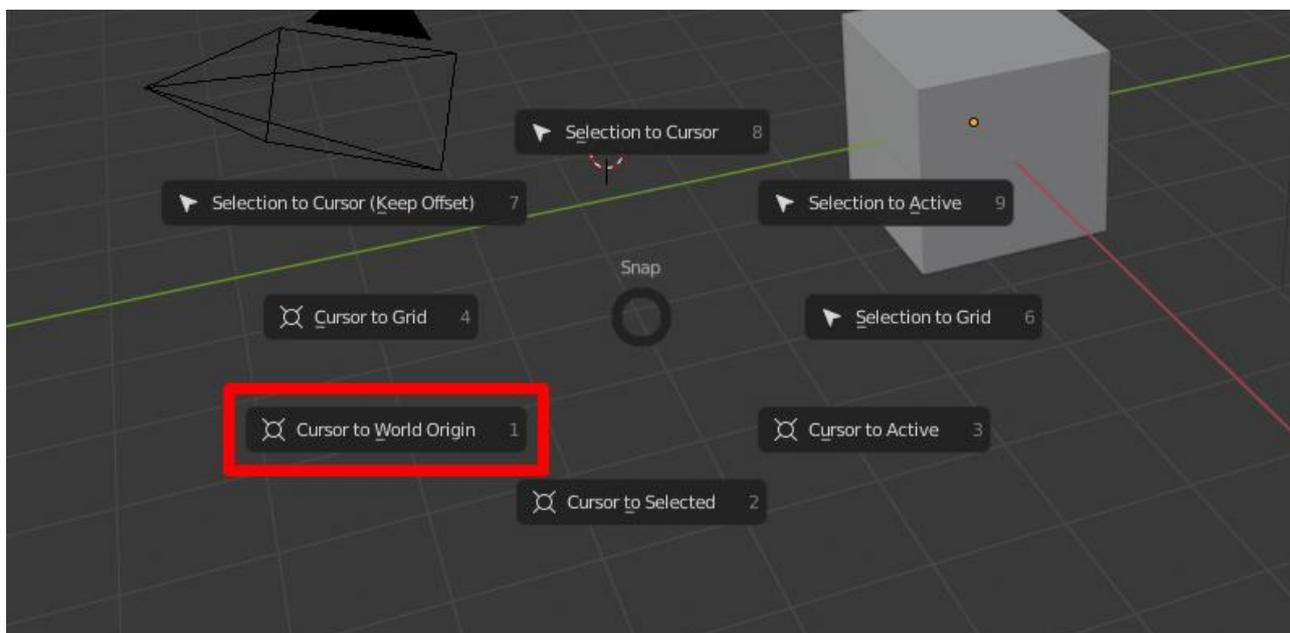


Рисунок 11 – Выбор расположения курсора

Все круговые разные служат разным целям, но управление у них одинаковое. Взаимодействовать с ними можно горячими клавишами (горячая клавиша может быть также любой, в общем случае Shift+S):

- горячая клавиша (нажать или зажать) + ПКМ – отмена. Меню закроется;
- зажать комбинацию – навестись на пункт – отпустить. Пункт, на который навелись, выберется;
- зажать комбинацию – отпустить кнопки до перемещения курсора – навестись на пункт – выбрать его через ЛКМ.

Одно из самых сложных и самых важных окон в Blender — Свойства (Properties). Здесь можно найти свойства сцены (область 1 на рисунке 12), выбранного объекта (область 2 на рисунке 12) или инструмента (область 3 на рисунке 12).

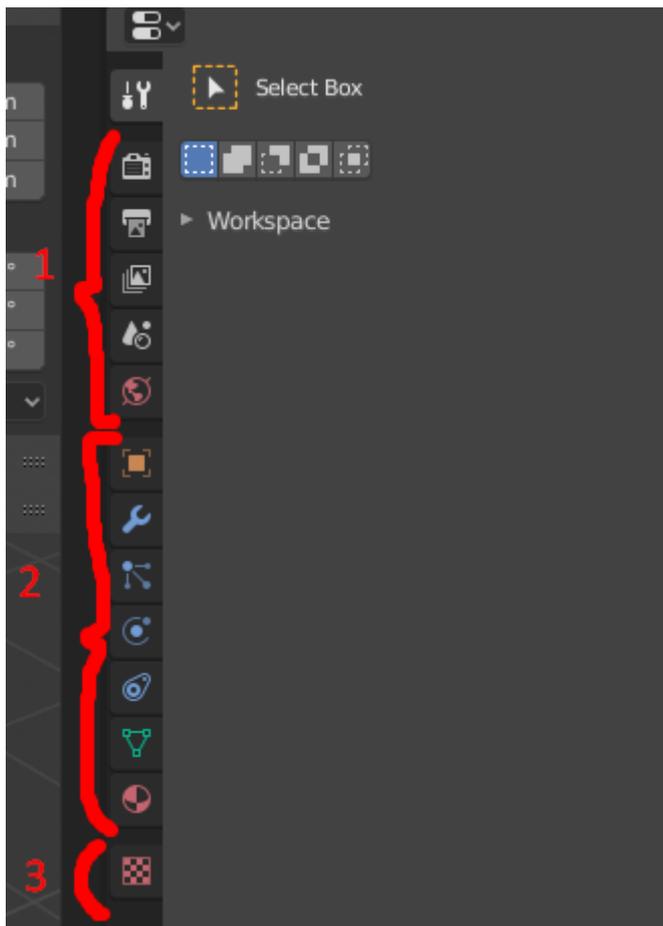


Рисунок 12 – Окно свойств

Первая вкладка (иконка в виде фотоаппарата) — рендер. Здесь есть все настройки для рендера (финального изображения/видеоряда) — двигатель (evee и cycles), сэмплинг и конкретные свойства двигателя.

Вторая вкладка (с принтером) — output (выход). Здесь располагаются все выходные настройки, такие как разрешение, частота кадра, путь, тип файла и прочие.

Иконка с фотографиями — view layer. Позволяет управлять слоями рендера, которые в свою очередь нужны для упрощения процесса композитинга (создания композиции). Управлять view layer'ами можно также сверху (рисунок 13).

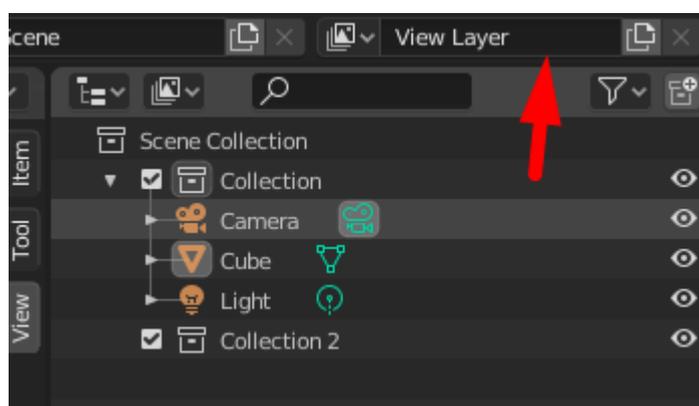


Рисунок 13 – Управление view layer'ами

Окно на рисунке 13 — планировщик (outliner). Он полезен тем, что позволяет указывать коллекции, которые будут отрендерены в слое. Отсюда можно управлять всеми объектами, их видимостью и существованием (отсюда можно удалять).

За view layer следует непосредственно вкладка с настройками сцены. Здесь указывается активная камера и, например, настраиваются единицы измерения вкупе с rigidbody.

Последняя вкладка из раздела — мир (world). Здесь настраивается окружение, цвет фона и объёмность.

Следующие вкладки отражают свойства конкретных объектов. Для наглядности лучше предварительно выбрать куб.

Первая вкладка с кубиком в рамке — Object. Базовые свойства самого объекта вроде положения, вращения и масштаба. Тут же настраиваются родительские связи и видимость.

Вкладка с гаечным ключом — это модификаторы. С их помощью можно производить мощные манипуляции, причем использовать их можно сколько угодно и как угодно, расставляя в нужном порядке (рисунок 14).



Рисунок 14 – Вкладка модификаторов

Вкладка с частицами позволяет настраивать частицы, их размер, количество и поведение.

Вкладка, иконка которой как бы отражает орбиту планеты — физика. Здесь можно настраивать мощнейшие манипуляции с физикой.

Следующая вкладка — ограничители (констрейнты / constraints). Иконка представляет из себя объекты, завернутые друг в друга. Ограничители более влияют на отношения одних объектов с другими, а не на сами объекты. Можно, например, копировать положение других объектов через сопу location, держаться

выше уровня земли через floor или отслеживать другие объекты и указывать на них через трекинг (рисунок 15).

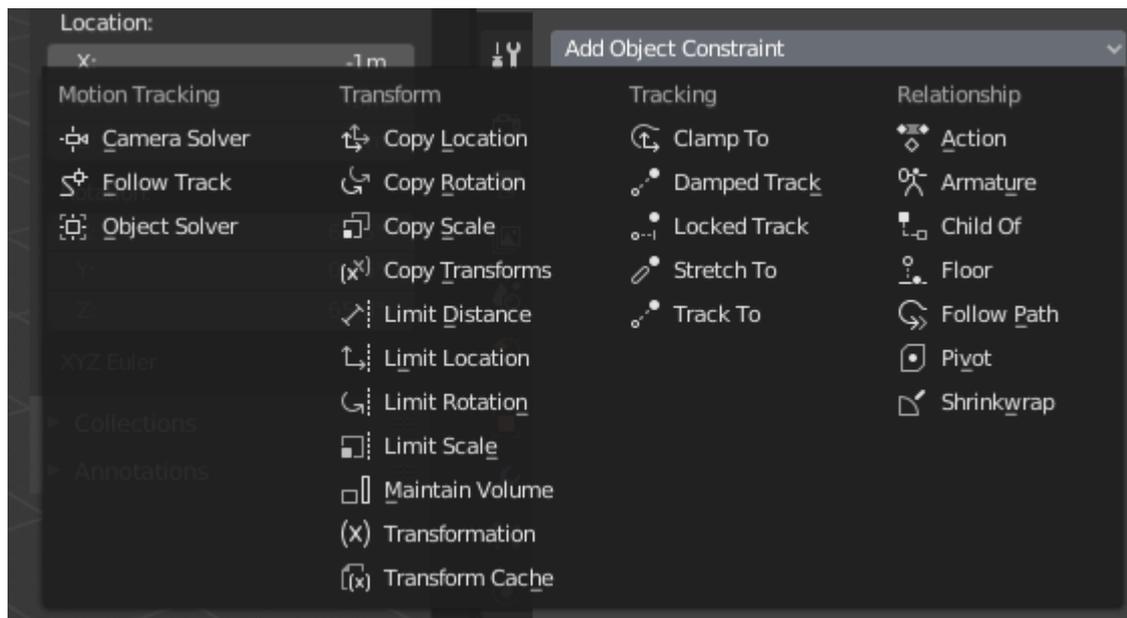


Рисунок 15 – Вкладка ограничителей

Вкладка с зеленым треугольником демонстрирует данные меша. Если поменять данные меша, то точно такой же объект уже будет совсем другим. Совсем другой формы (рисунок 16).

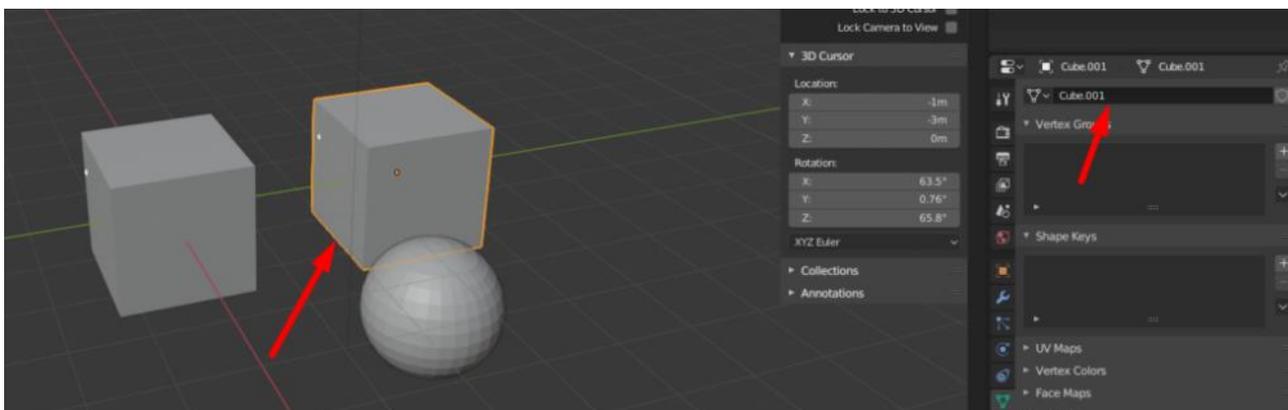


Рисунок 16 – Данные меша

При этом данные вроде положения объекта в пространстве сохраняются. Тут же производятся действия с группами вертексов (vertex groups), ключами формы (shape keys) и другими специфическими настройками.

Последняя вкладка раздела — материалы. Иконка тоже соответствующая — кубики на сфере. Здесь настраивается шейдинг для рендера.

Последняя вкладка с пробелом — это текстуры. Текстуры не привязаны к объекту, они существуют отдельно от него. На них может ссылаться сам мир (скайбокс), а также материалы и кисти [5].

2.3 Характеристика выбранного программно-технического обеспечения

Для работы с графическим редактором используется компьютер со следующим аппаратным обеспечением:

- видеокарта Gigabyte GeForce 1660 6 Гб;
- процессор AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor 3.20 GHz;
- оперативная память 16 Гб.

Компьютер работает на операционной среде Windows 10 PRO. Для работы с 2Д изображениями будет использоваться программное обеспечение КОМПАС-3D.

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

3.1 Основные этапы практической разработки программного продукта

3.1.1 Моделирование компрессорной станции

Так как симулятор воспроизводит процесс работы системы газоснабжения, то основным средством измерения является манометр. Манометры используются на пневмощитах, щитах отбора проб, компрессорном и газификационном оборудовании. На системах газоснабжения используются манометры разных типов (МКр-60, МТИ-1216, МТИ-1232 и т.д.). Но в связи с тем, что симулятор является обучающим и демонстрационным, допускается использование однотипной 3Д модели манометра с соответствующей шкалой для каждого оборудования [6].

Моделирование 3Д модели манометра начинается с добавления «меша» цилиндра (рисунок 17).

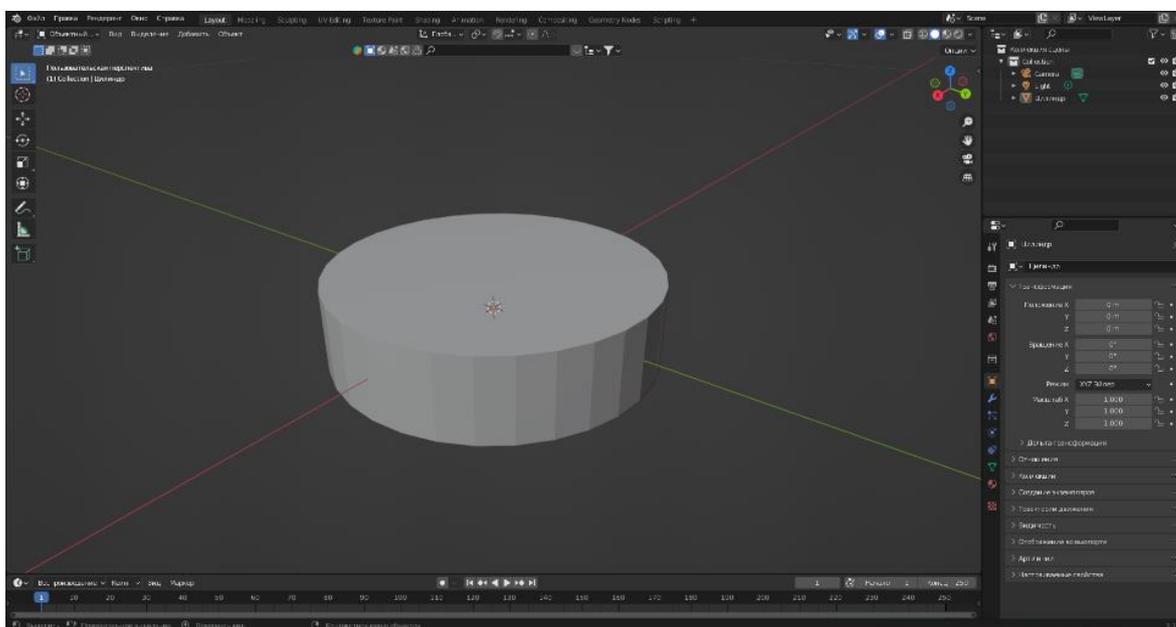


Рисунок 17 – Добавление «меша» цилиндра

Далее посредством манипуляций с данным «мешом» формируется внешняя часть корпуса манометра (рисунок 18).

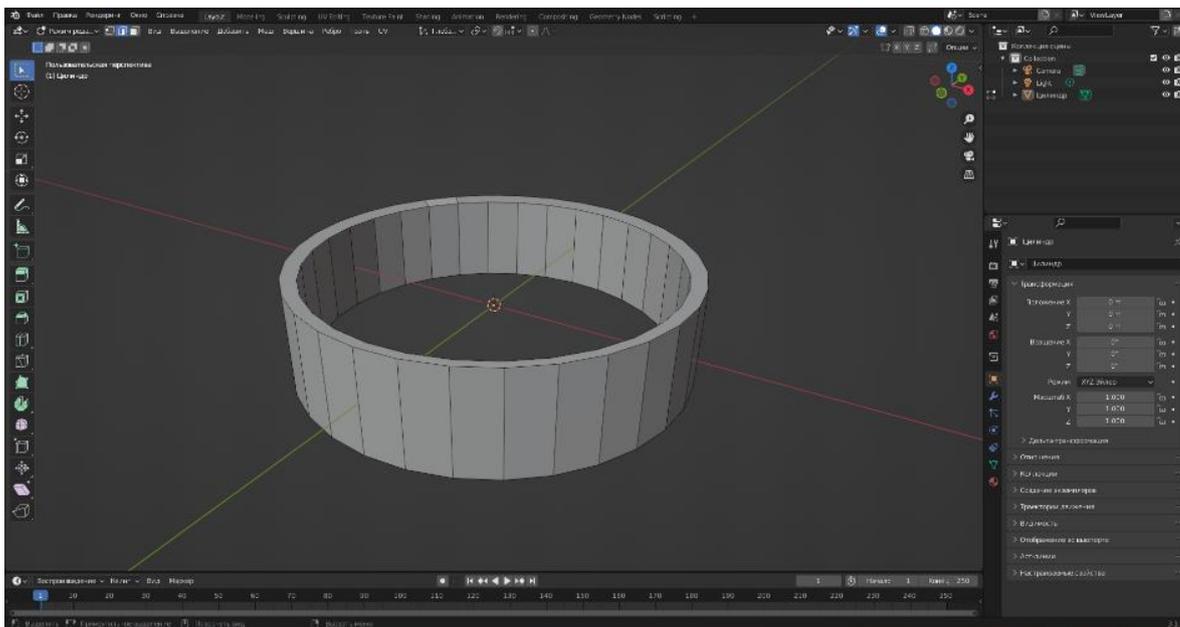


Рисунок 18 – Работа с гранями цилиндра

После чего аналогично выполняется задняя часть. На все объекты накладывается модификатор «Подразделение поверхности» для сглаживания (рисунок 19).

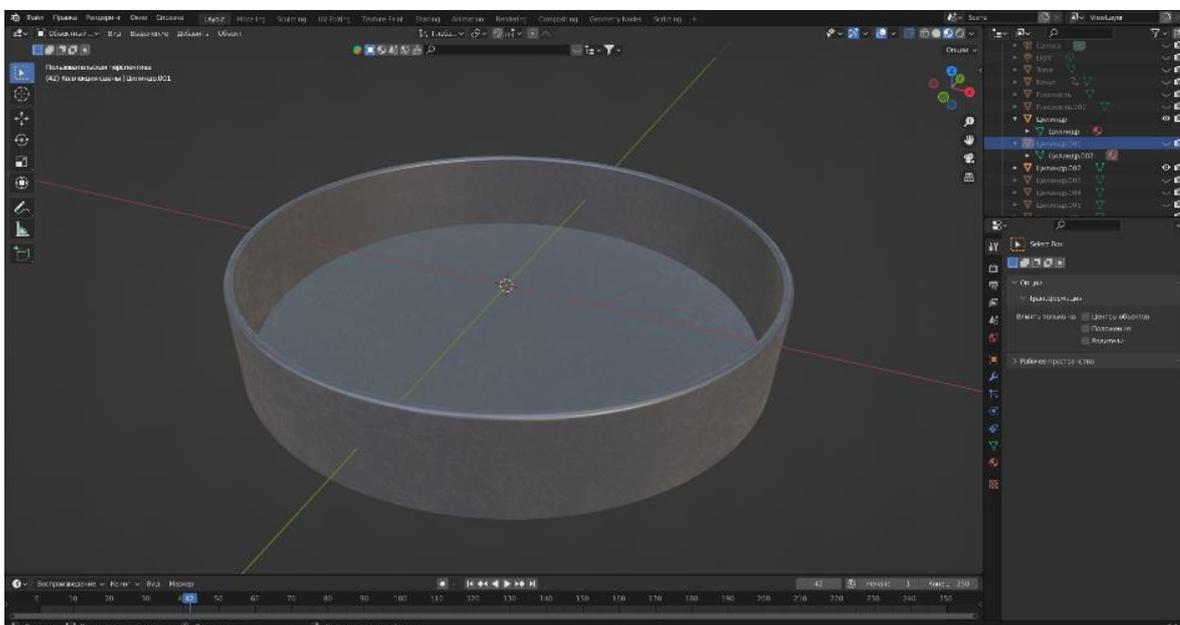


Рисунок 20 – Корпус манометра

Для выбора и добавления материалов объектов используется библиотека «BlenderKit» (рисунок 20). BlenderKit — это библиотека материалов и ассетов

применяемых для работы в Blender [5]. Библиотека устанавливается в графический редактор как аддон.

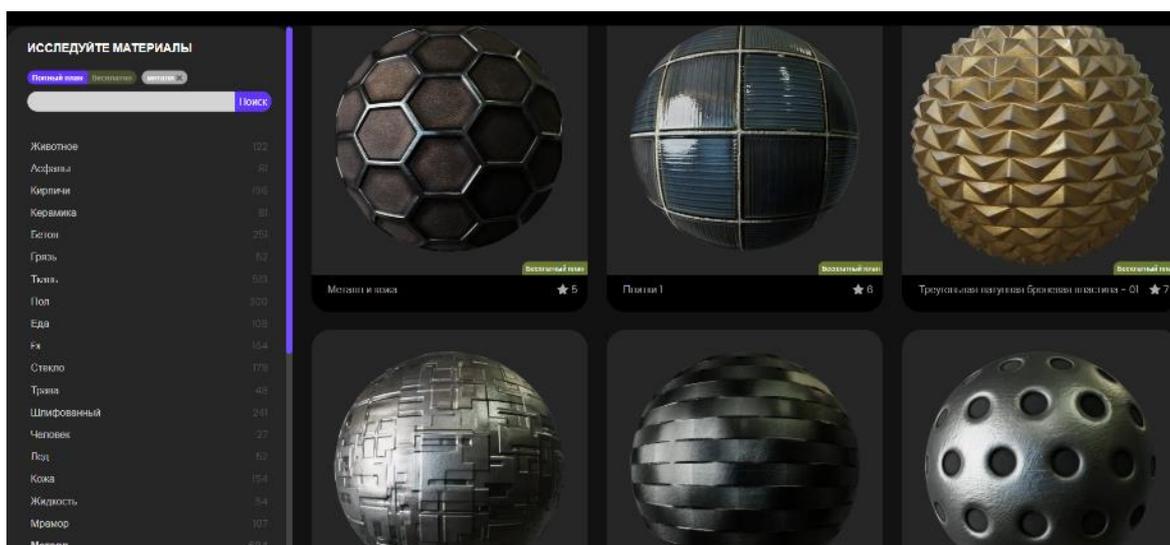


Рисунок 19 – Материалы из библиотеки BlenderKit

В качестве «мешей» циферблата и стекла манометра так же используются цилиндры. Предварительно в программном обеспечении КОМПАС-3Д выполняется чертеж без рамки, в котором чертится шкала циферблата и указываются единицы измерения. Чертеж сохраняется в формате PNG и с помощью вкладки «Shading» переносится на объект в Blender (рисунок 20, 21).

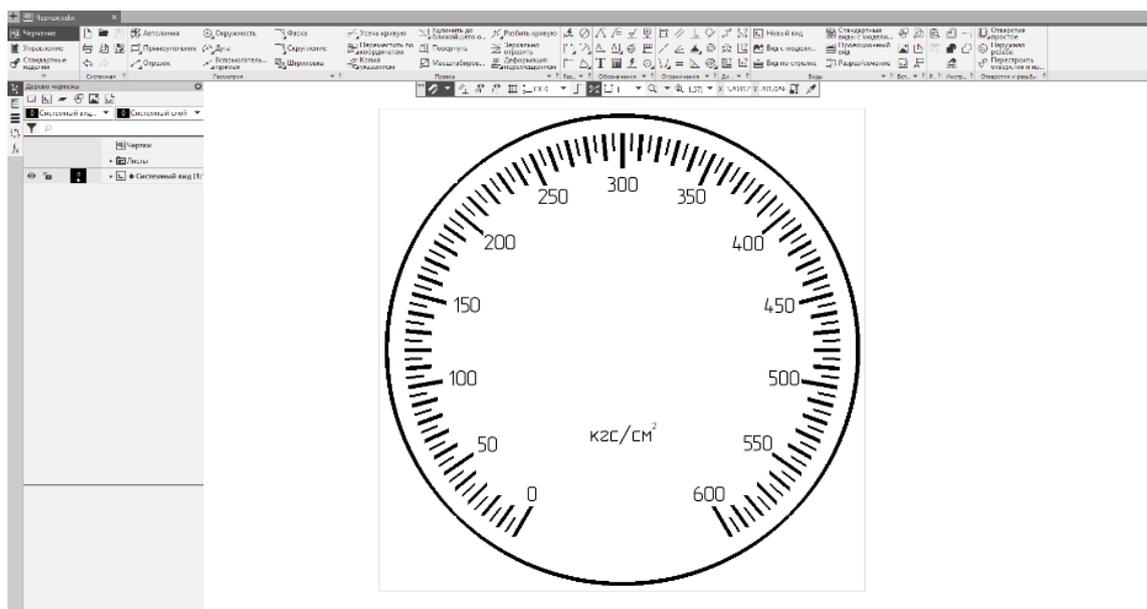


Рисунок 20 – Чертеж циферблата

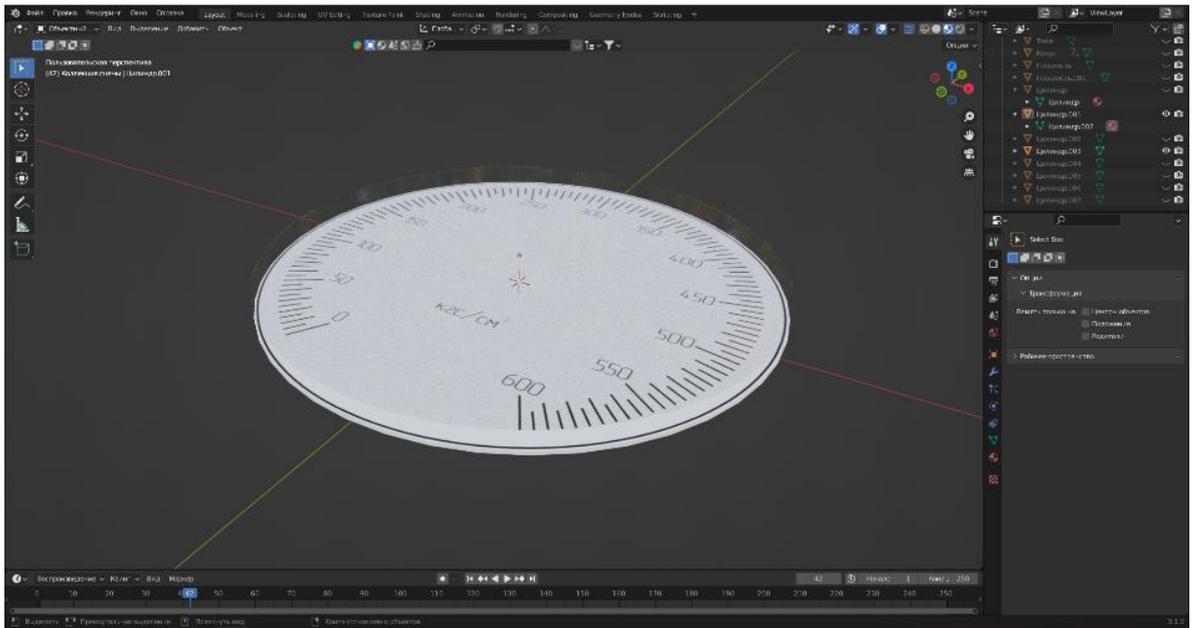


Рисунок 21 – Циферблат и стекло

Добавляя «меш» (тор, конус, плоскость, цилиндры) и работая с их полигонами, моделируются стрелка манометра и штуцер с гайкой. Так же накладывается модификатор «Подразделение поверхности» и выбираются материалы объектов из библиотеки. Готовая модель манометра представлена на рисунке 22.

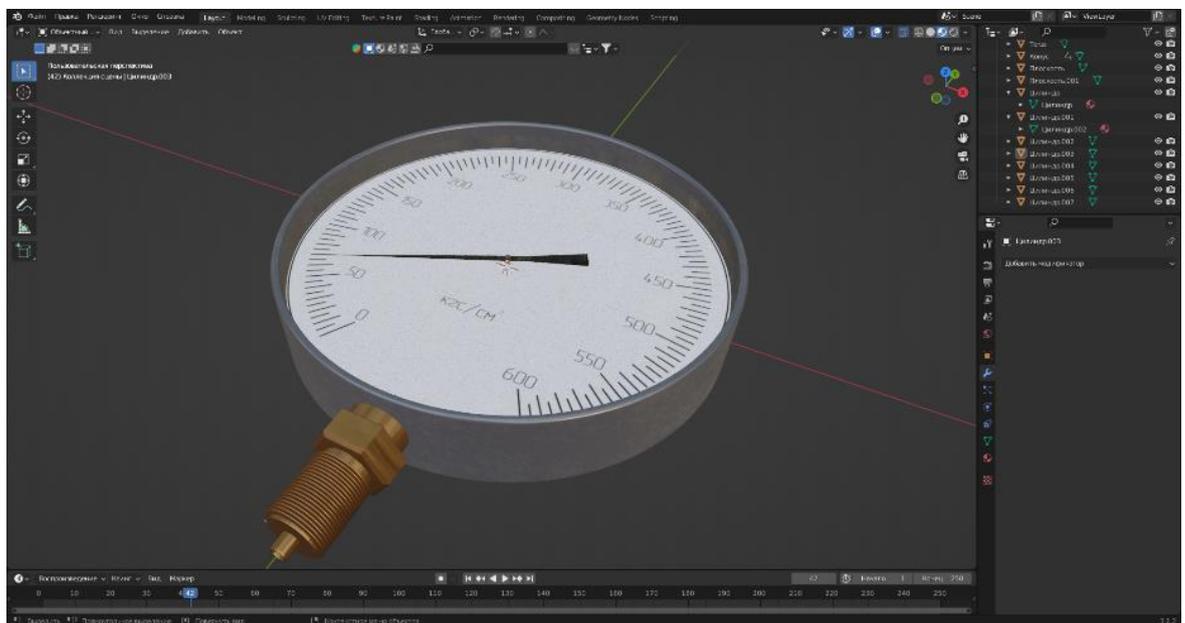


Рисунок 22 – 3Д модель манометра

Далее следует моделирование компрессорной станции. В связи с ограничением на использование чертежей и общего вида изделия заводом-изготовителем, компрессорная станция будет моделироваться в общем виде сохранив основные элементы.

Главным элементом работы компрессорной станции является электродвигатель. Для его моделирования за основу будет взят «меш» цилиндра, манипулируя с его размерами, а также накладывая модификатор «подразделение поверхности» задается форма электродвигателя (рисунок 23). Для движущегося маховика заранее выдавливается небольшую полость, часть которой будет видна.

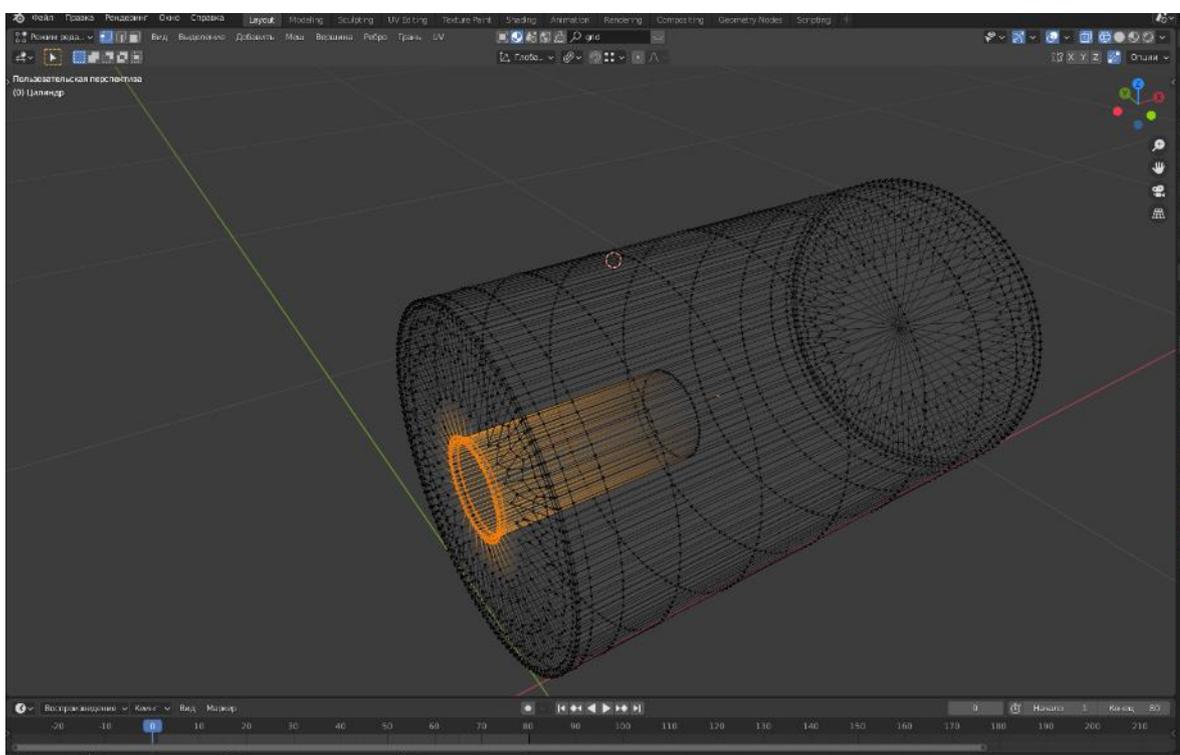


Рисунок 23 – Электродвигатель

Под двигатель формируются четыре одинаковые опоры и основание станции (рисунок 24).

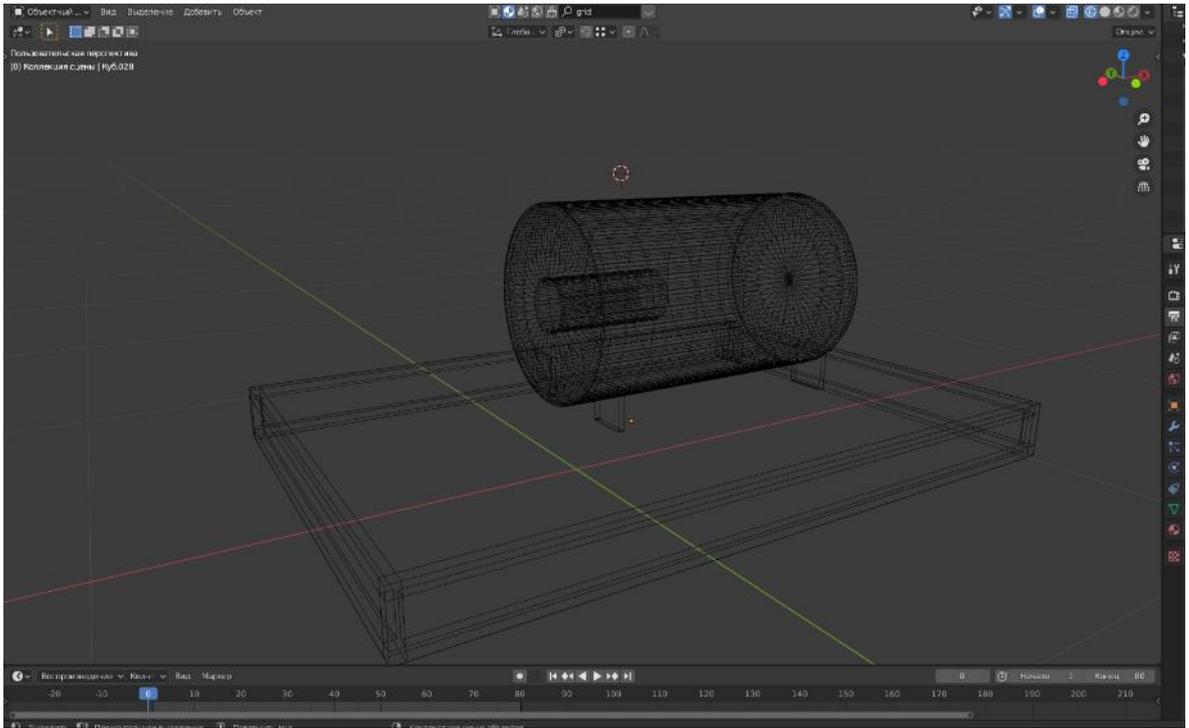


Рисунок 24 – Основание станции с опорами

Сверху двигателя должна находиться плита для размещения на ней щита с манометрами, она формируется из «меша» куба, боковые грани экструдируются и закругляются с помощью фасок (рисунок 25).

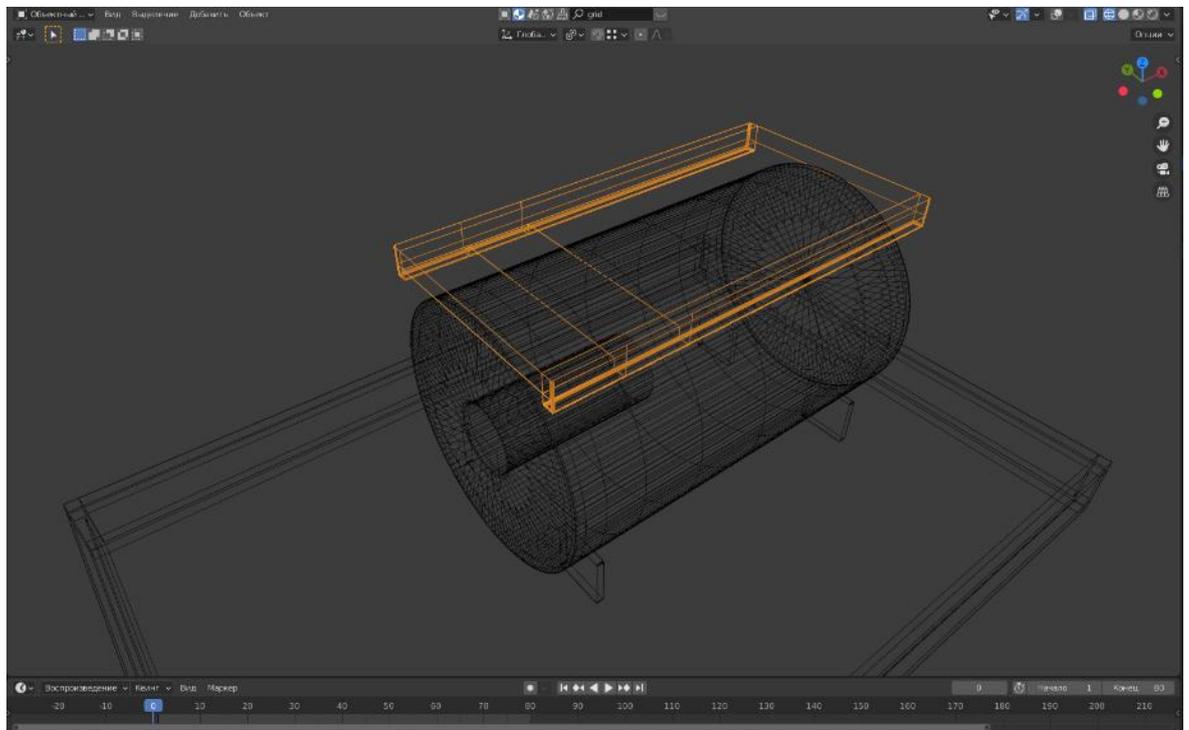


Рисунок 25 – Плита для щита

На основании станции размещаются два цилиндра под опоры для адсорберов. Для того, чтобы изобразить полые опоры, часть граней вырезается, края отверстий закругляются фаской (рисунок 26).

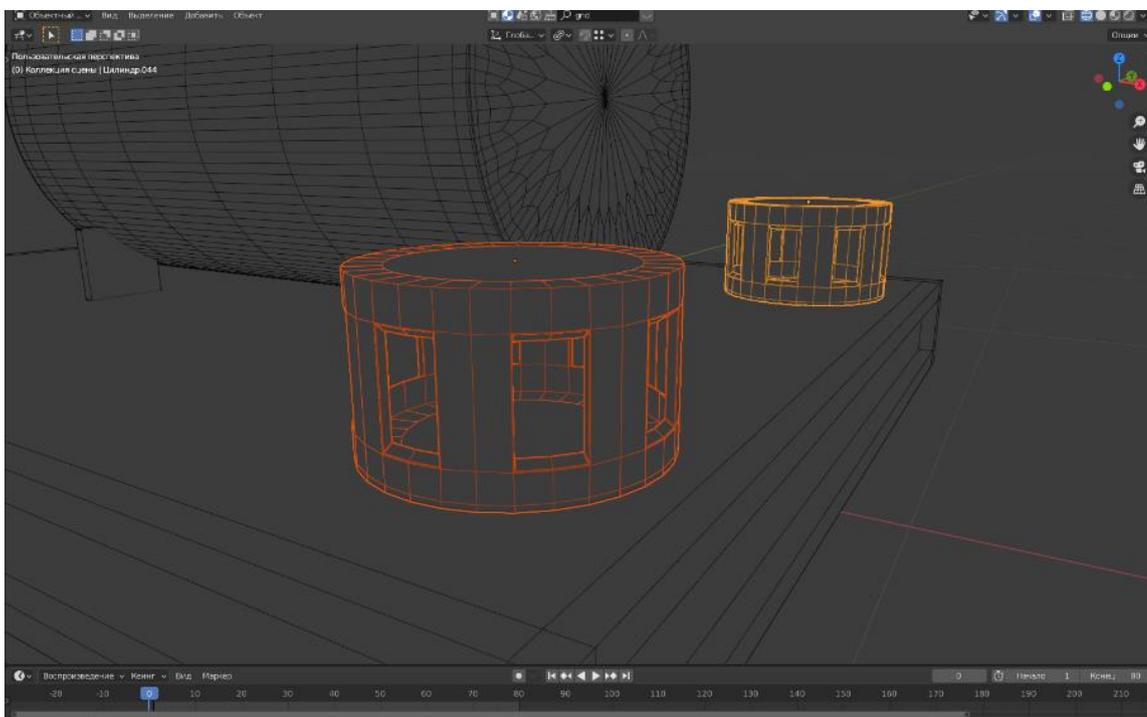


Рисунок 26 – Опоры адсорберов

На поверхности опор моделируются два адсорбера из цилиндров (рисунок 27).

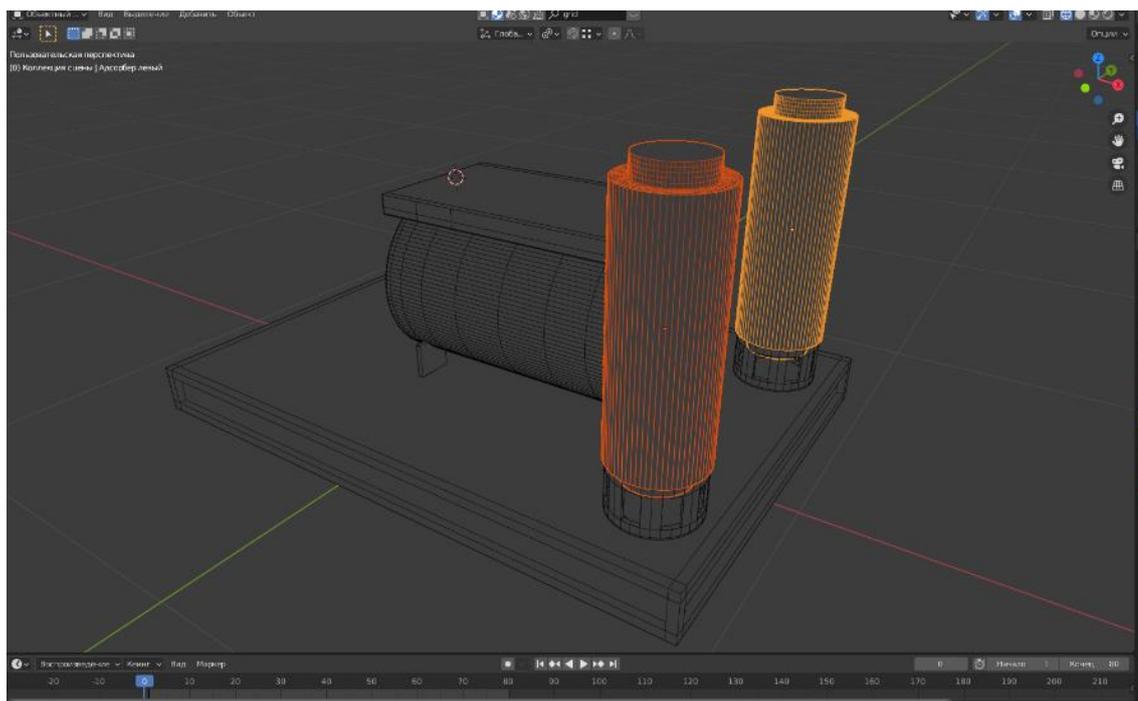


Рисунок 27 – Адсорберы станции

На поверхности плиты должна быть конструкция, внутри которой в реальной станции располагаются клапаны и происходит переключение между работой левого и правого адсорберов (рисунок 28).

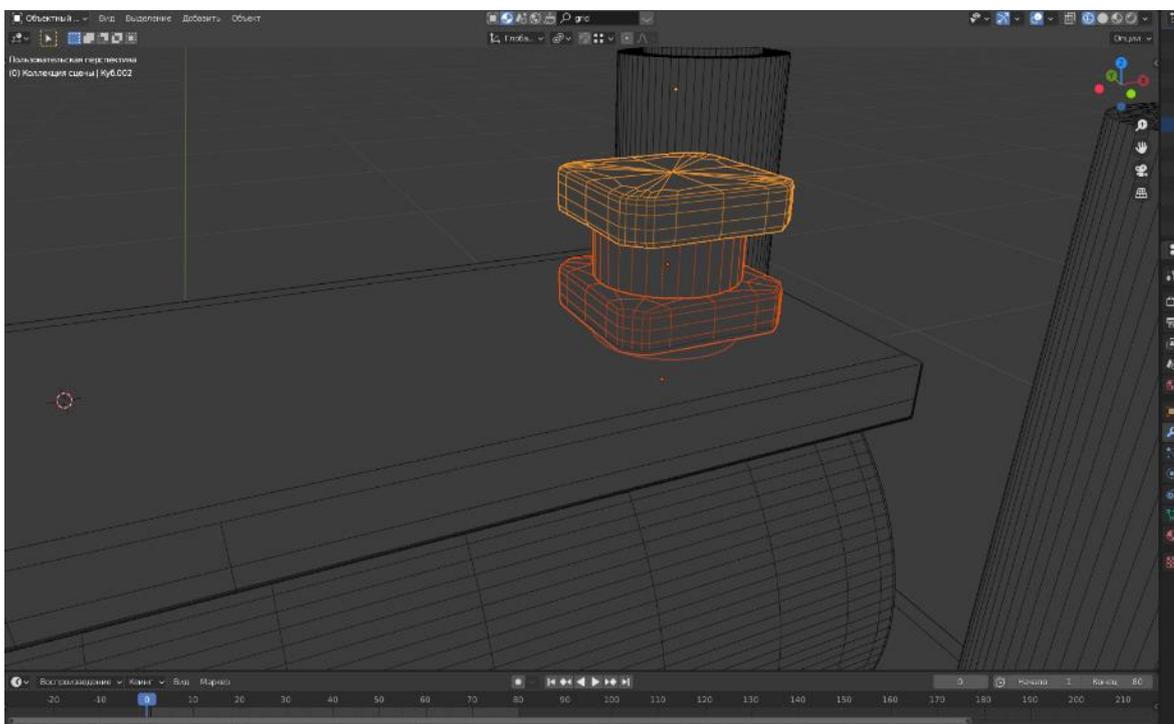


Рисунок 28 – Устройство переключения работы адсорберов.

На поверхности этого устройства должен находиться предохранительный клапан. Подобный клапан будет устанавливаться на остальных частях станции, поэтому моделируется один «ассет», который будет использован несколько раз (рисунок 29). Формируется клапан из двух цилиндров и экструдирования их граней, верх граней клапана на разъемных частях моделируются гайки. На объект накладывается модификатор «подразделение поверхности».

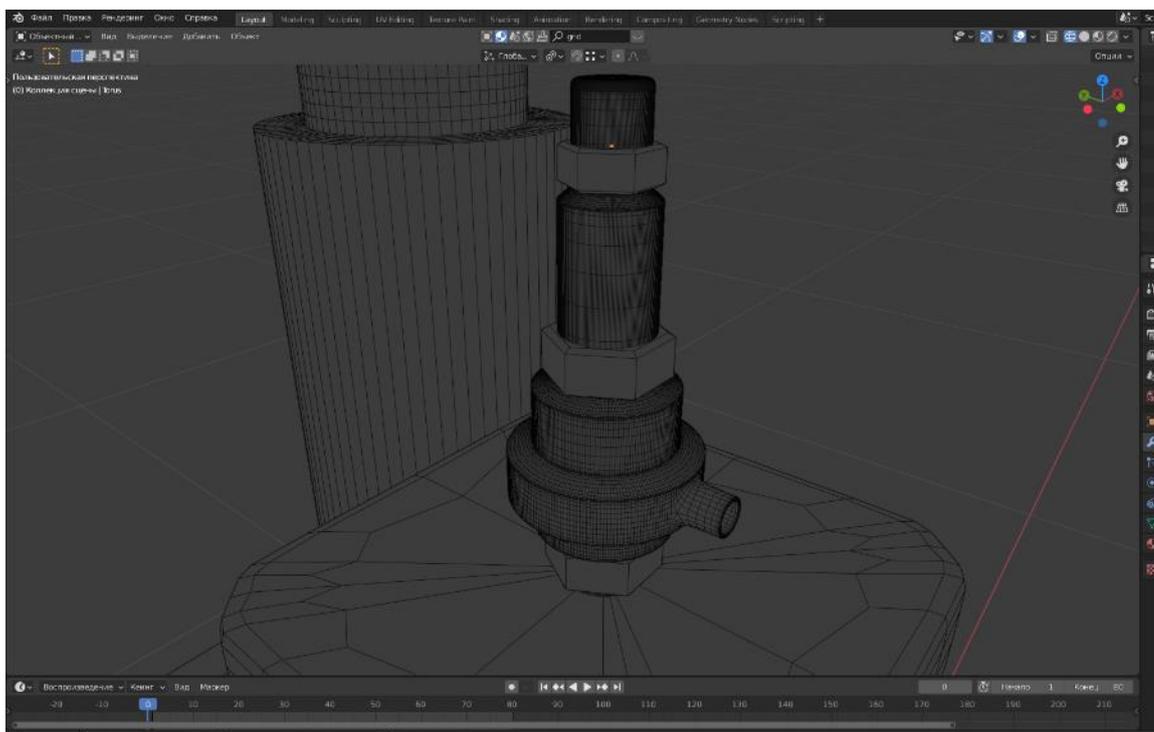


Рисунок 29 – Предохранительный клапан

Поверх плиты рядом с устройством переключения адсорберов моделируется щит под манометры, с помощью дополнительного объекта в виде цилиндра проводится «вырезание по проекции» для отверстий под манометры (рисунок 30).

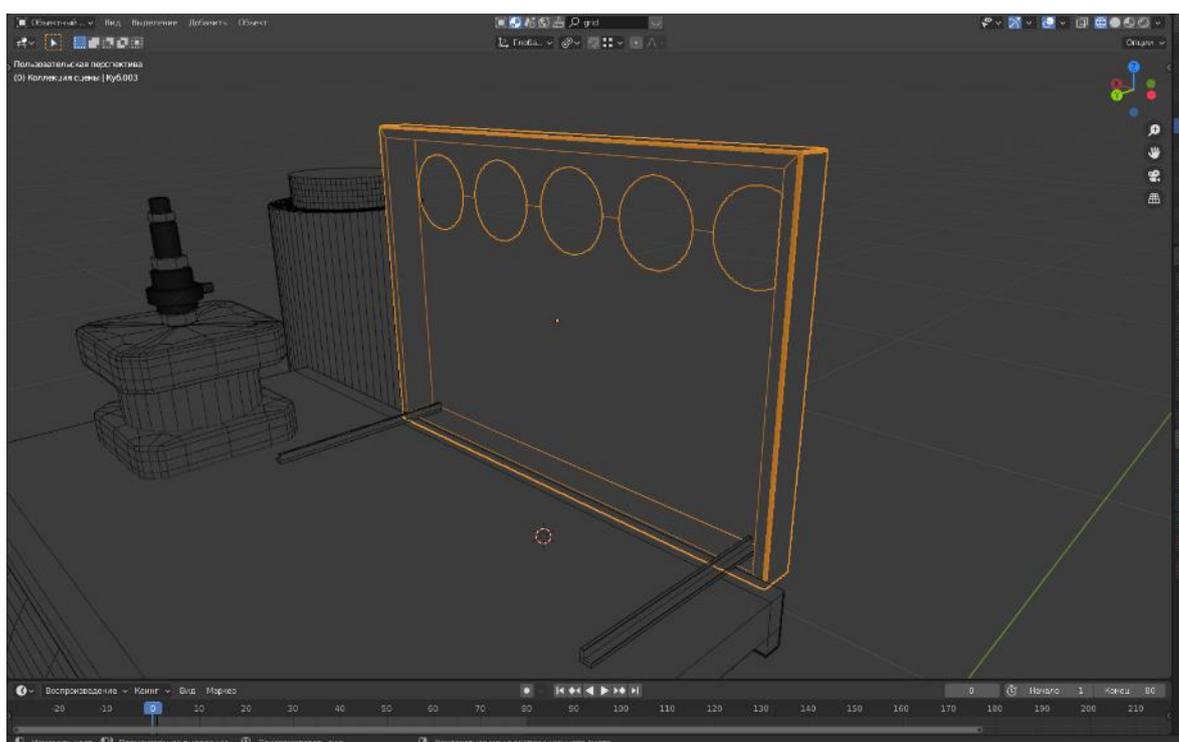


Рисунок 30 – Щит под манометры

Напротив отверстий размещаются и дублируются уже смоделированные манометры (рисунок 31).

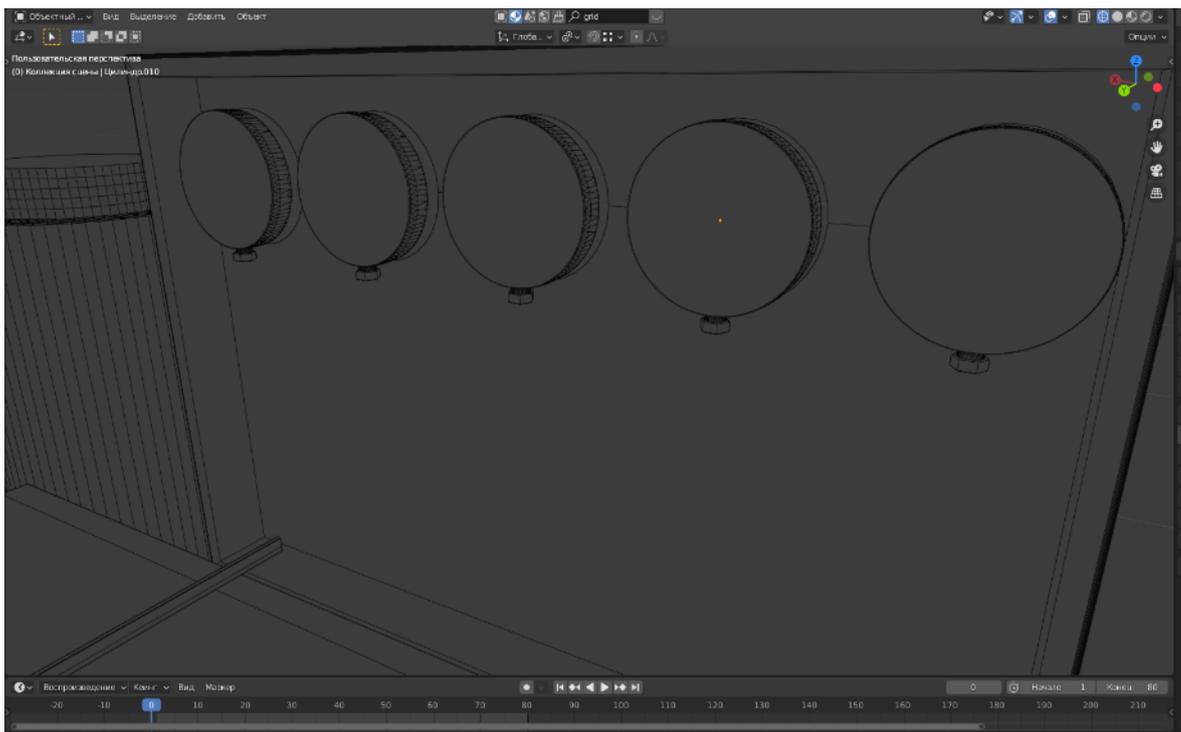


Рисунок 31 – Манометры компрессорной станции

С помощью «меша» куба формируется вторая часть корпуса станции, в которой находится система охлаждения, смазки, движущиеся части механизмов. На одно из граней данной фигуры выдавливается отверстие под видимую часть маховика. Сверху с помощью «меша» цилиндра моделируются часть корпуса, через которую идет всасывание воздуха окружающей среды для дальнейшего компримирования. Эти две готовые части корпуса сливаются путем схлопывания точек на ребрах «мешей», накладывается модификатор «подразделение поверхностей» (рисунок 32). Ребра готового объекта сглаживаются с помощью фасок. С внешней части с помощью цилиндра создается будущая решетка воздухозаборника.

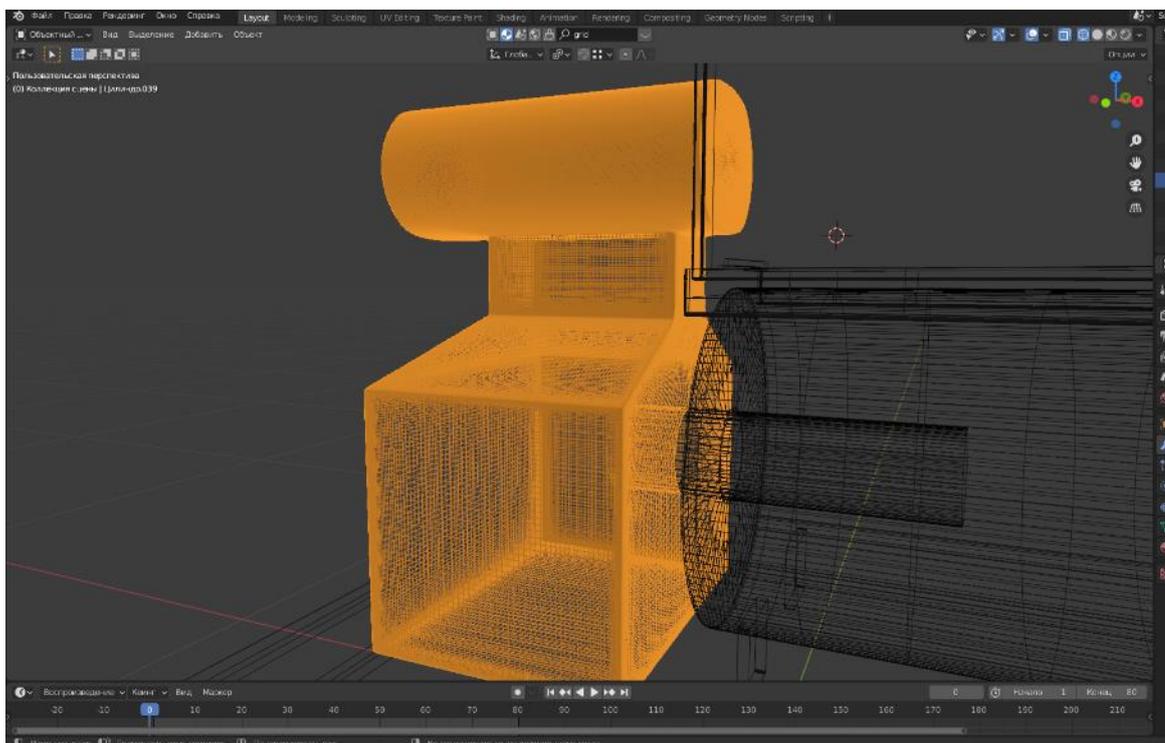


Рисунок 32 – Вторая часть корпуса станции

На второй части корпуса моделируются две цилиндропоршневые группы с помощью двух цилиндров и множественного экструдирования граней, ребра закругляются фасками, применяется модификатор «подразделение поверхностей» (рисунок 33).

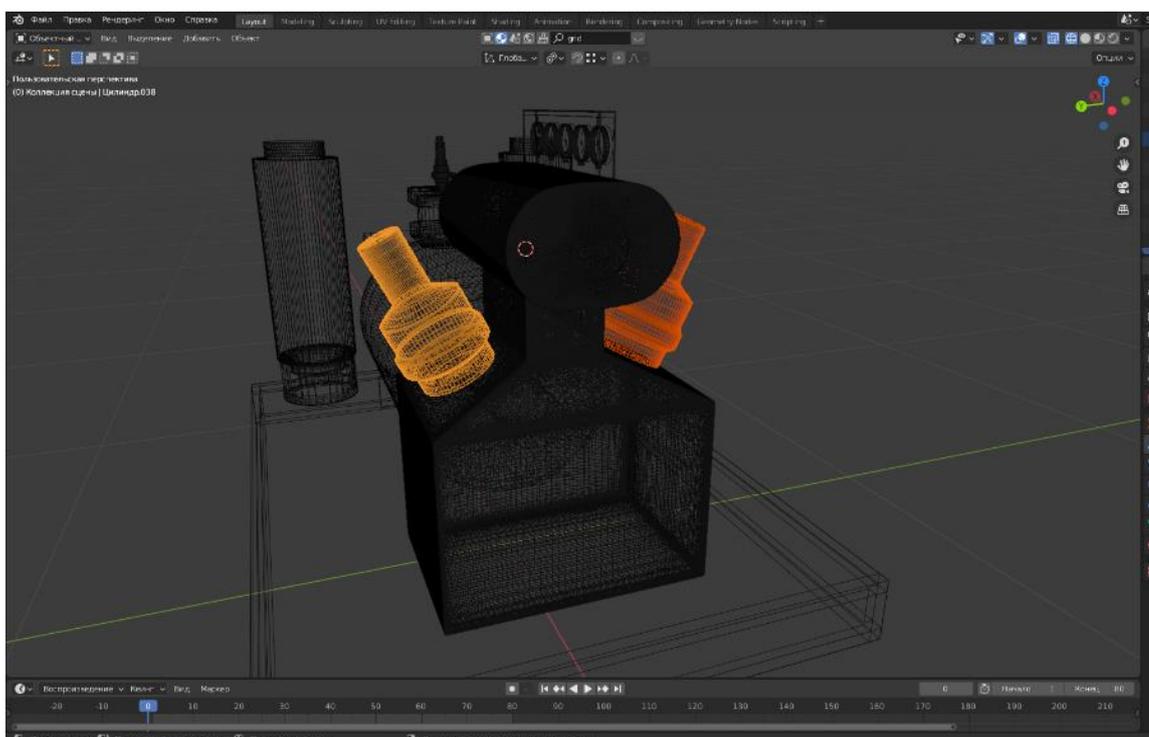


Рисунок 33 – Цилиндропоршневые группы

После этого добавляются некоторые детали корпуса (рисунок 34).

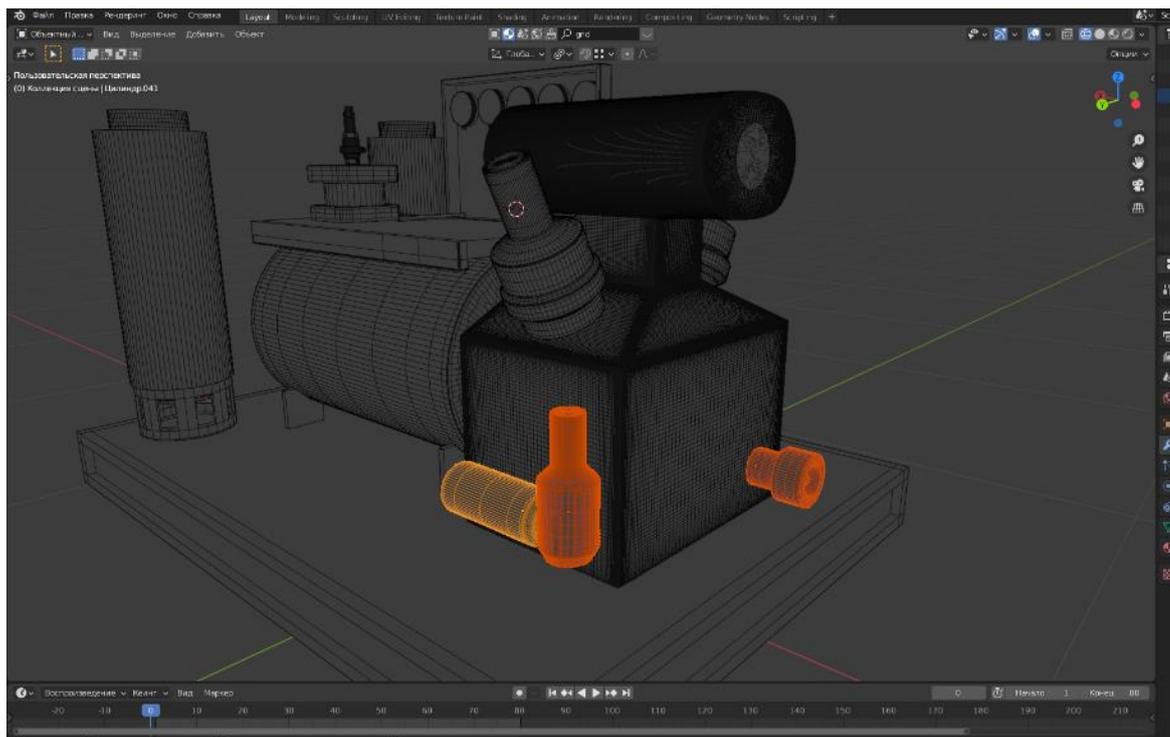


Рисунок 34 – Детали корпуса

Цилиндропоршневые группы, адсорберы и манометры соединяются трубопроводами с деталями корпуса (рисунок 35). Трубопроводы моделируются из куба, вершины которого схлопываются и экструдируются по длине. На повороты трубопроводов накладываются фаски. Далее соединение вершин преобразуется из «меша» в кривую, задается глубина кривой. Предохранительные клапаны дублируются и расставляются по станции. На местах соединения трубопроводов и деталей устанавливаются гайки.

Для 3D моделирования системы газоснабжения будут необходимы трубопроводы. Рассмотрим общий процесс моделирования трубопровода. Первым этапом является добавление «меша» куба (рисунок).

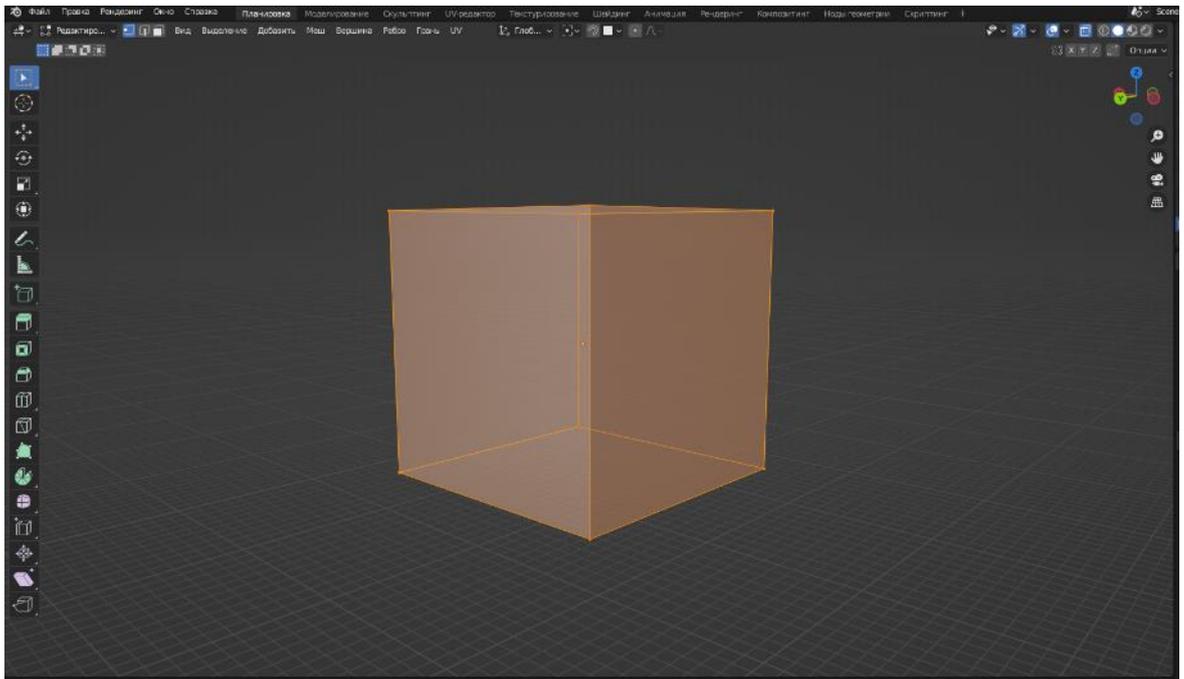


Рисунок 35 – Добавление меша куба

После чего в режиме редактирования вершины куба требуется «схлопнуть» (рисунок 36).

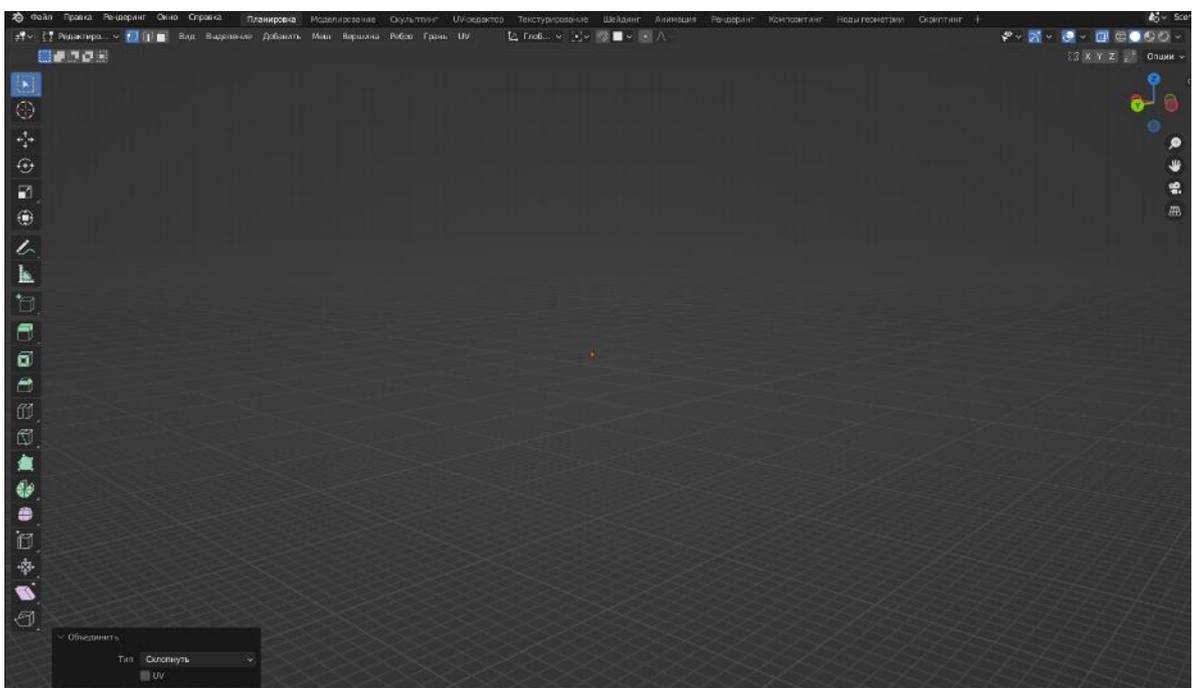


Рисунок 36 – Вершины «схлопнуты» в одну точку

Далее вершина экструдировается, повторяя изгибы трубопровода (рисунок 37).

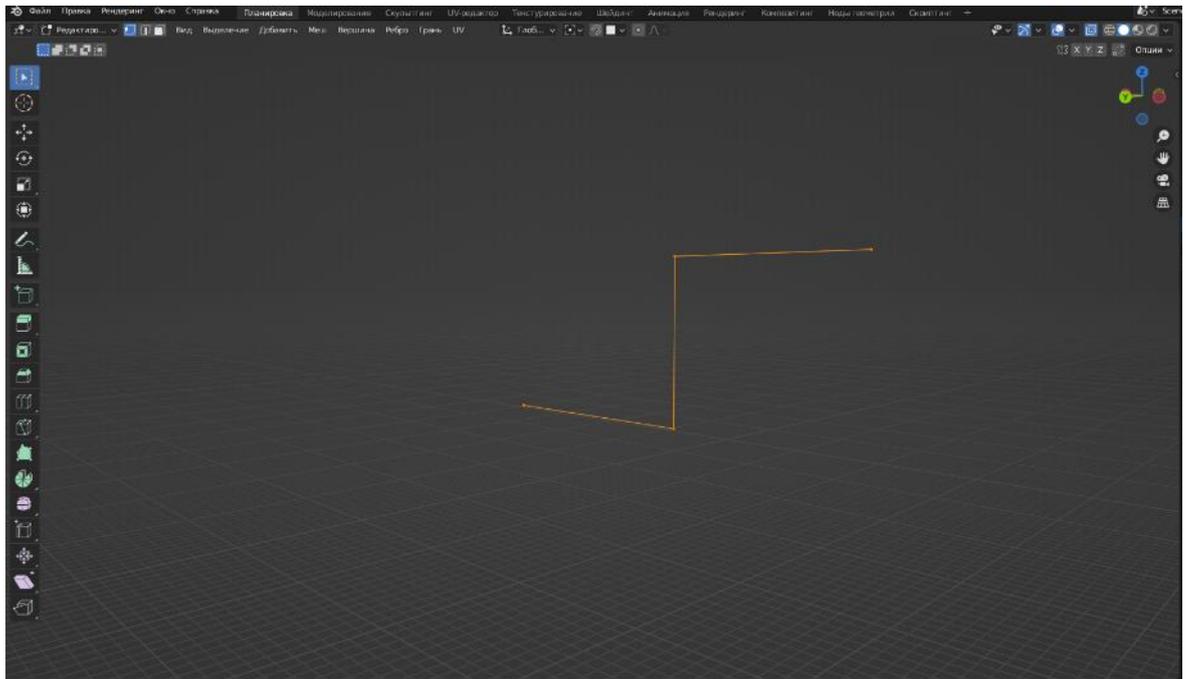


Рисунок 37 – Вершина экструдирована

На тех вершинах, где будет изгиб трубопровода добавляется фаска вершины (рисунок 38).

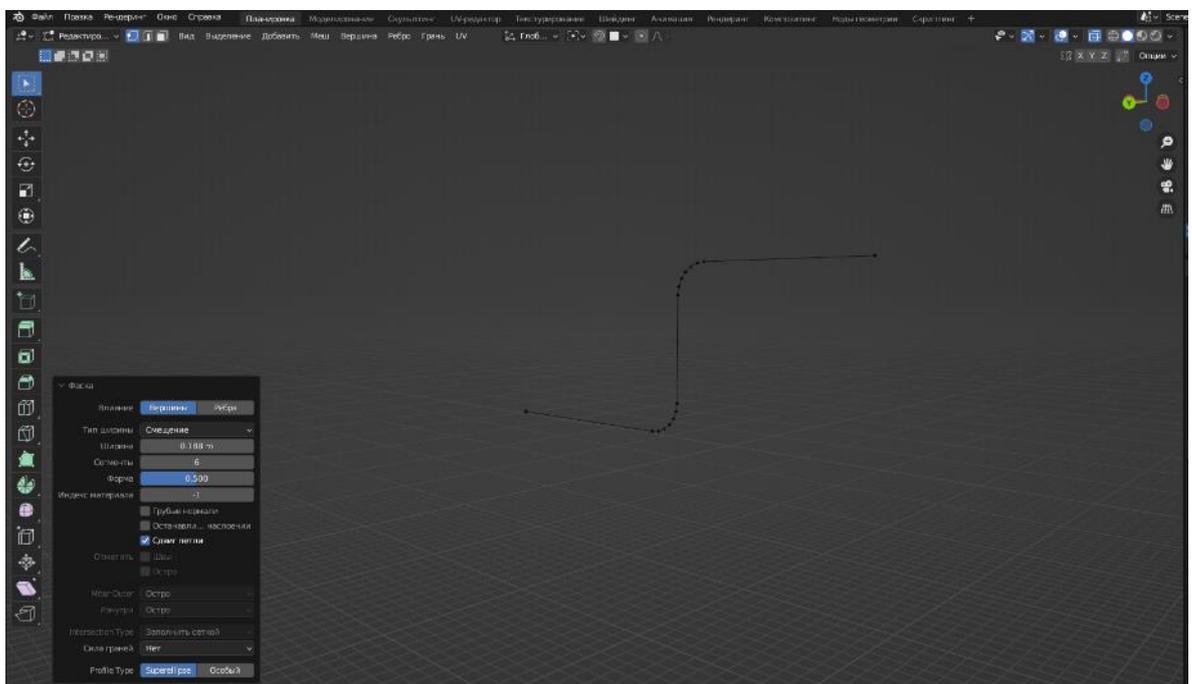


Рисунок 38 – Создание фасок вершин

Чтобы из полученной ломанной линии создать трубопровод, данный «меш» следует преобразовать в кривую с помощью контекстного меню (рисунок 39).

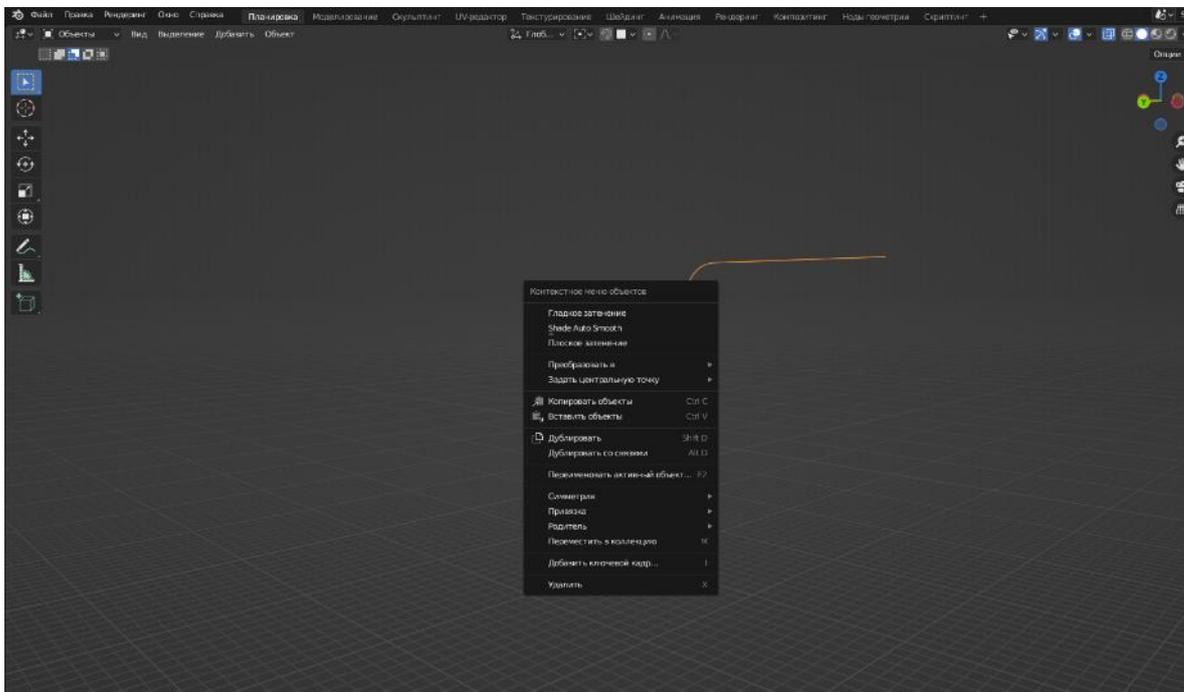


Рисунок 39 – Контекстное меню объекта

В разделе «Фаска» задается глубина – это радиус будущего трубопровода (рисунок 40).

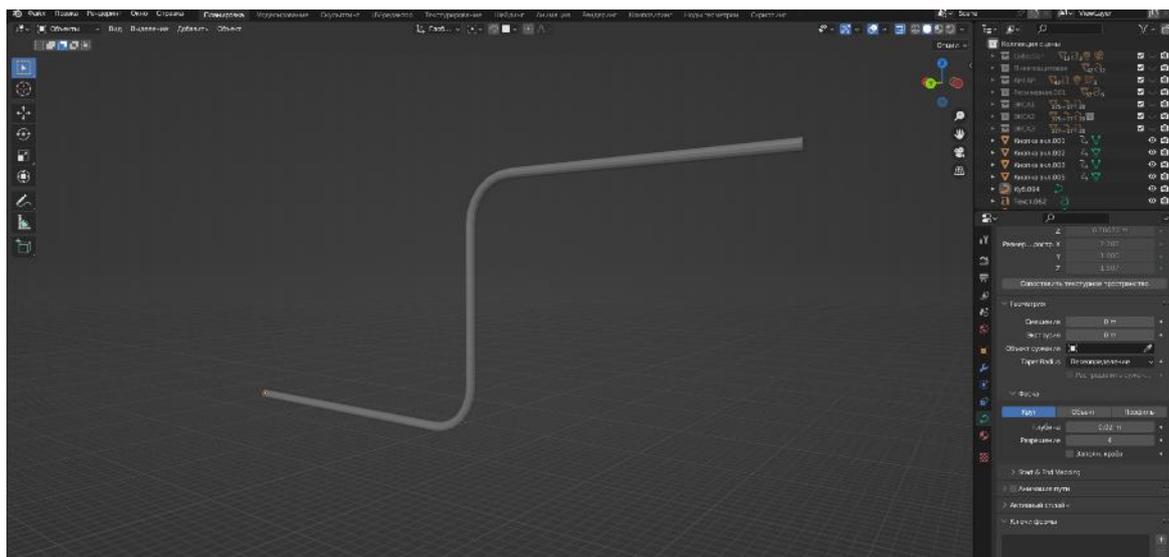


Рисунок 40 – Трубопровод полученный из кривой

Для удобства дальнейшей работы с трубопроводом, его следует преобразовать обратно в «меш». Далее аналогичным путем манометры и детали компрессорной станции соединяются трубопроводами (рисунок 41).

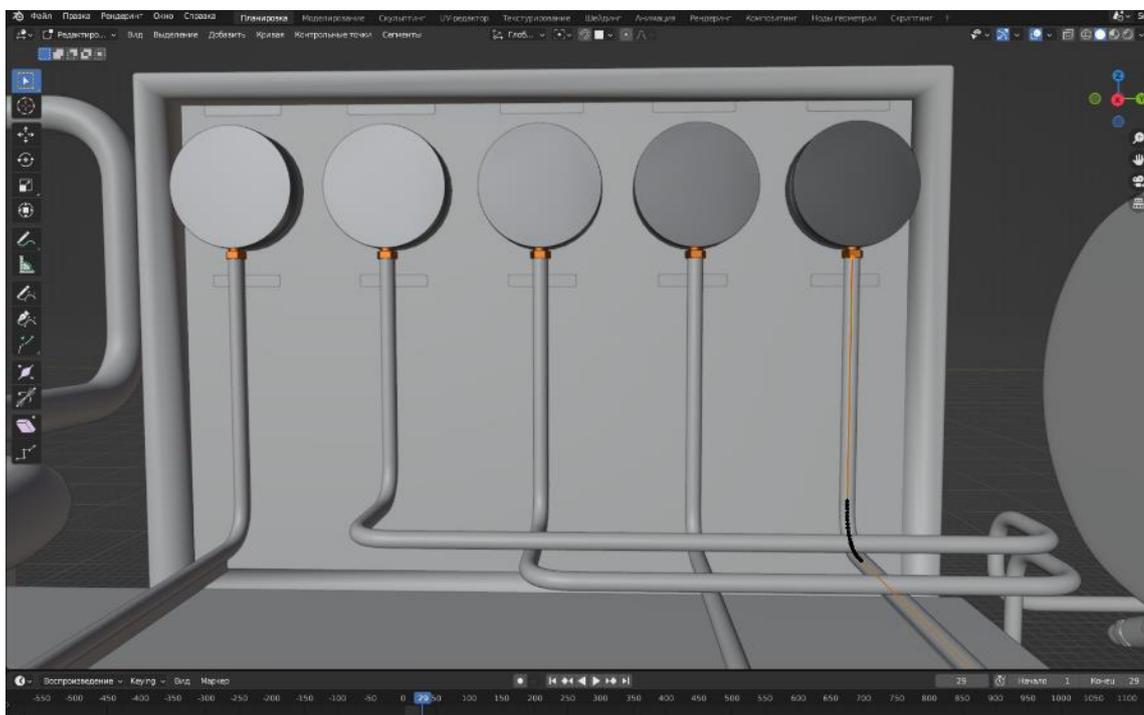


Рисунок 41 – Добавление трубопроводов

Кабели у компрессорной станции моделируются аналогично трубопроводам (рисунок 42).

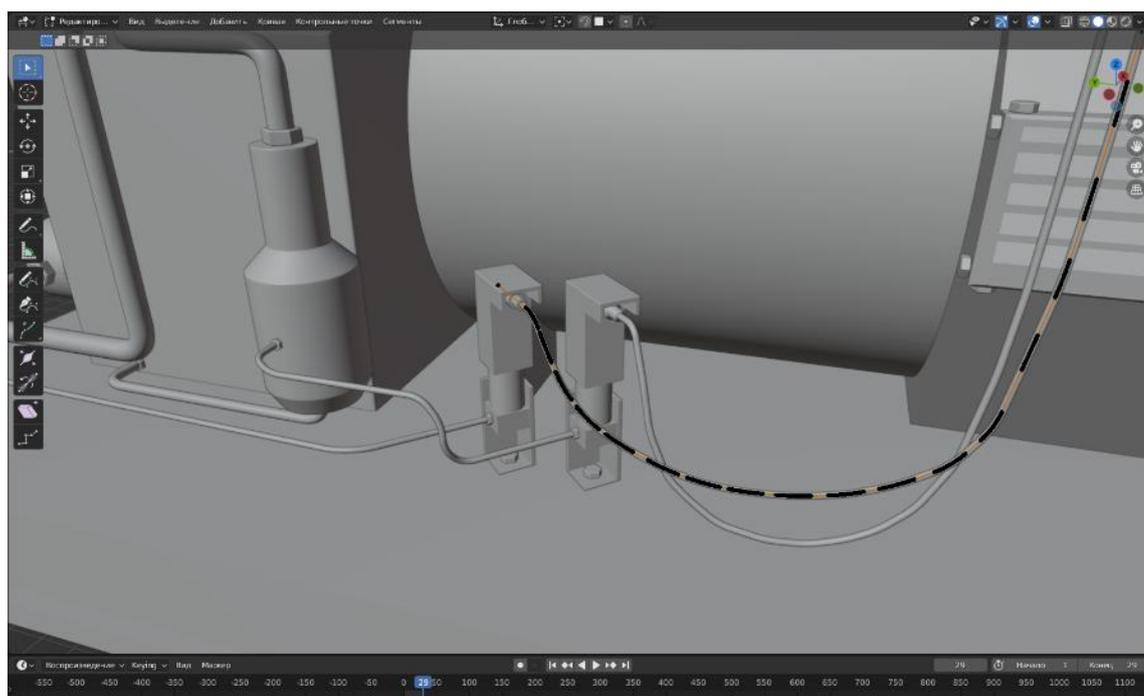


Рисунок 42 – Соединение кабелями деталей станции

На щите у каждого манометра должны быть надписи с указанием того параметра, который он измеряет, а также еще номер и пределы измерения (рисунок). Компрессорная станция должна иметь 5 манометров, а именно:

- давление I ступени;
- давление II ступени;
- давление III ступени;
- давление в адсорбере (эквивалентно давлению IV ступени);
- давление воздуха управления.

Размещение манометров представлено на рисунке 43.



Рисунок 43 – Манометры компрессорной станции

На этом же щите следует разместить индикаторы (светодиоды), указывающие два состояния: питание электродвигателя и состояние аварии. Для управления компрессорной станцией размещается две кнопки: пуск и стоп двигателя. Каждому индикатору и кнопке соответствует надпись (рисунок 44).

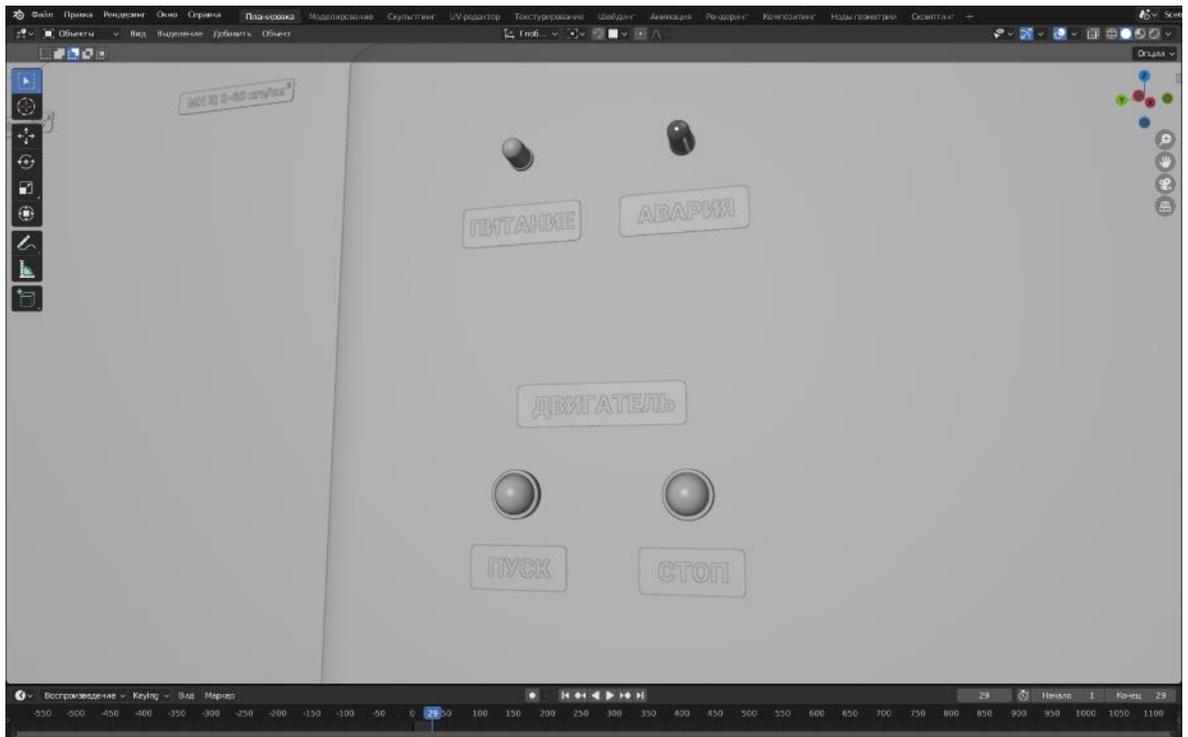


Рисунок 44 – Индикаторы и кнопки компрессорной станции

С помощью вкладки «Шейдинг» добавляются «Ноды» и создается визуализация работы индикаторов (рисунок 45).

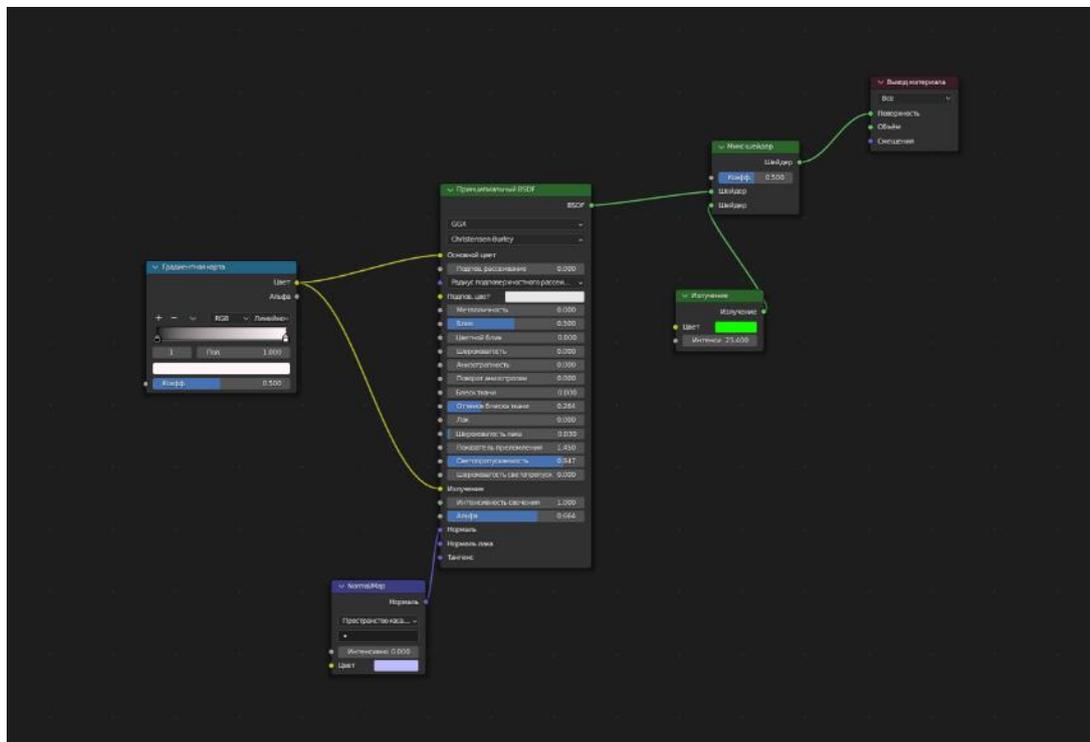


Рисунок 45 – «Ноды» индикатора

Для дальнейшей визуализации работы в корпус электродвигателя добавляется вентилятор (рисунок 46).

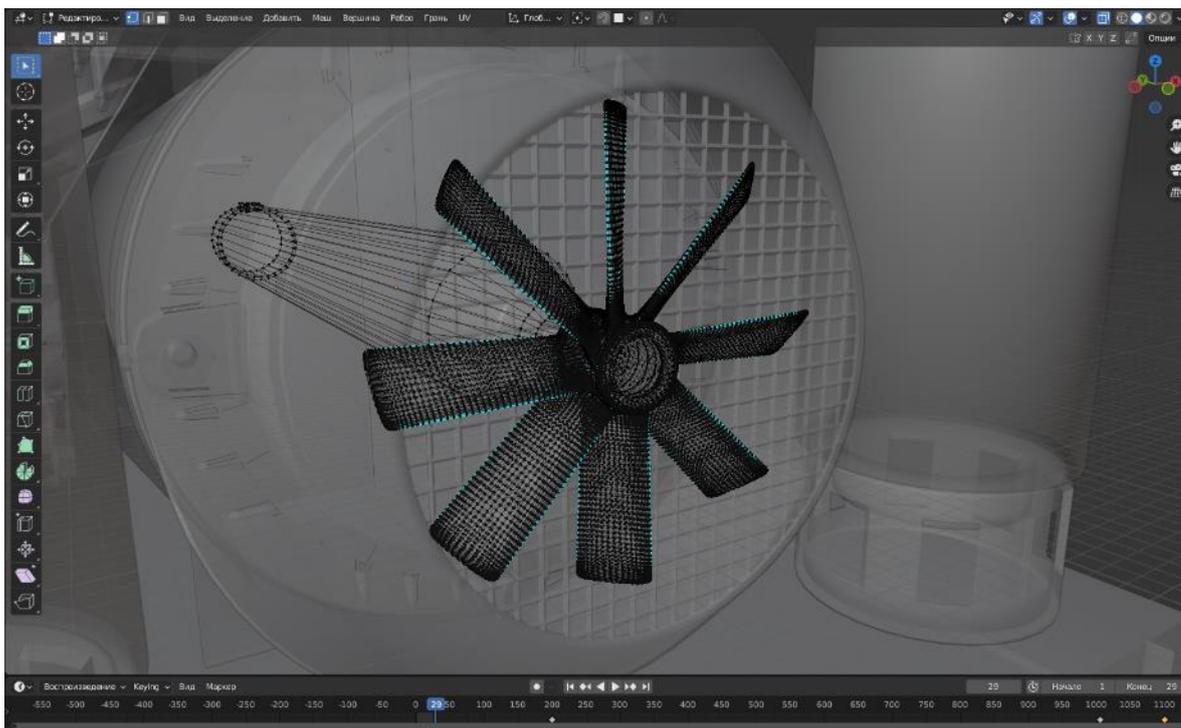


Рисунок 46 – Вентилятор электродвигателя

Общий вид компрессорной станции, полученный в ходе 3Д моделирования представлен на рисунке 47.

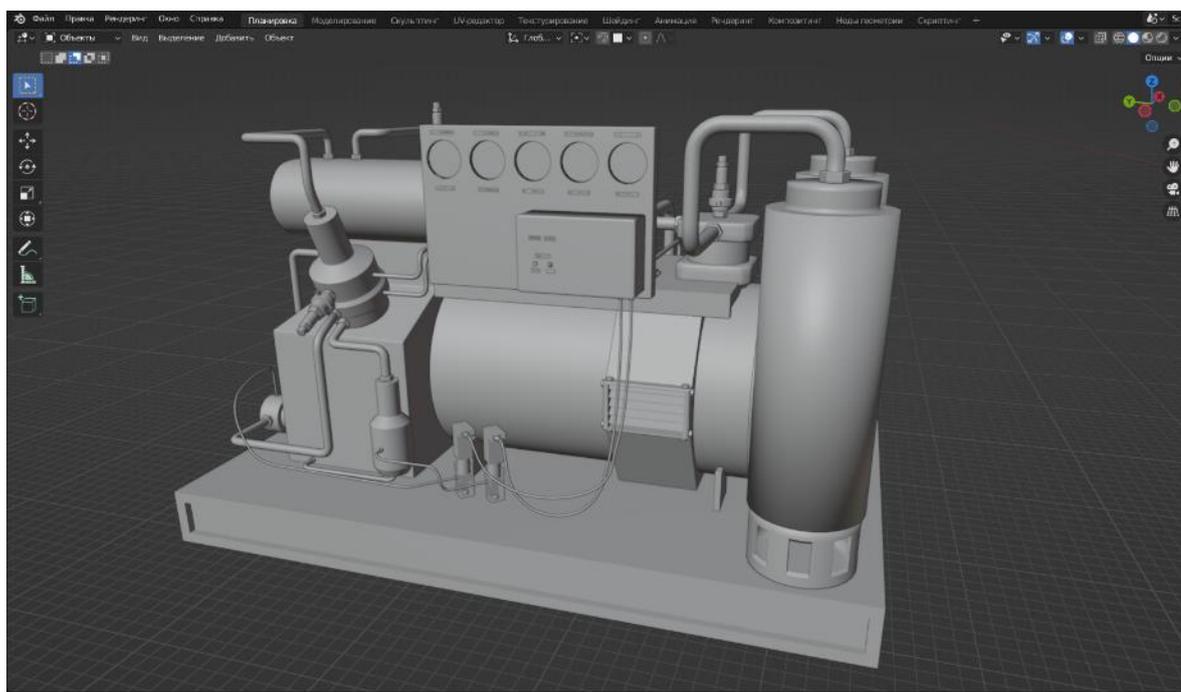


Рисунок 47 – Общий вид компрессорной станции

Таким была смоделирована компрессорная станция. Модель имеет достаточную детализацию и все основные элементы агрегата.

3.1.2 Моделирование пневмоцитов

Пневмоцит моделируется из «меша» куба, на ребрах которого создаются фаски. Под манометры вырезаются отверстия. В данной конфигурации системы газоснабжения будет использованы пневмоцит для выдачи и пневмоцит для заправки.

Пневмоцит выдачи содержит:

- два манометра (давление выдачи потребителю, давление выдачи воздуха управления на компрессорные станции);
- три вентиля (выдача воздуха управления, выдача потребителю, дренаж).

Пневмоцит заправки содержит:

- два манометра (подаваемое давление от компрессорных станций, давление в секции ресиверной);
- три вентиля (подача давления от компрессорных станций, заправка в секцию, дренаж).

На рисунке 48 представлен корпус пневмоцита выдачи.

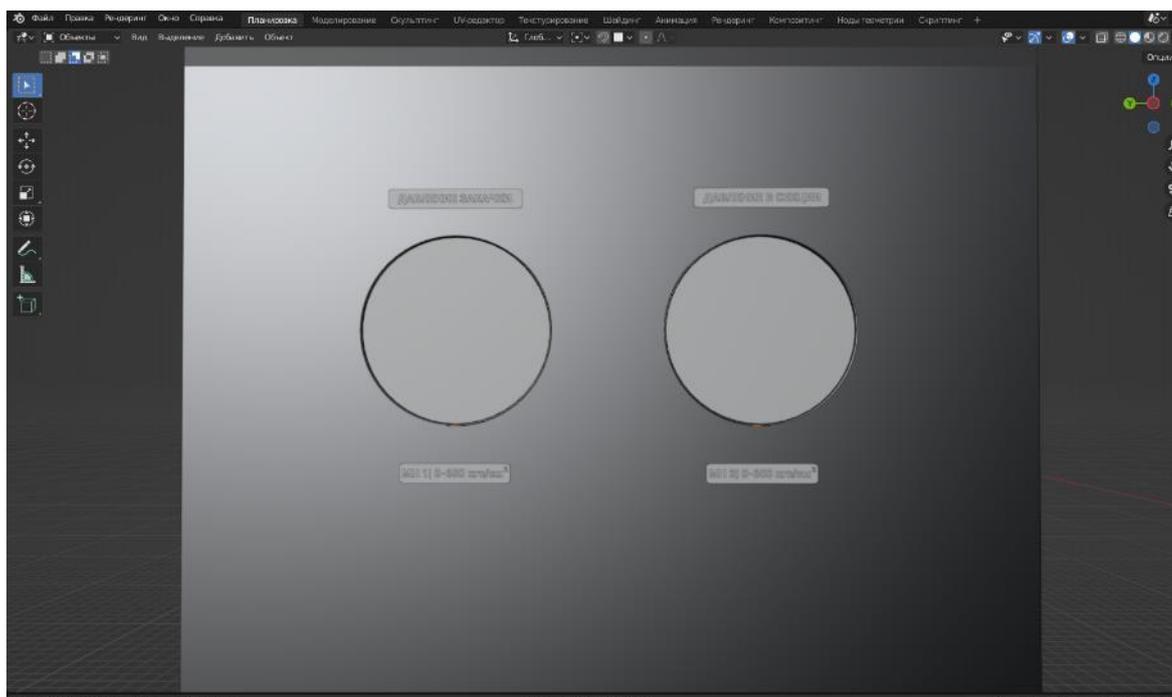


Рисунок 48 – Корпус и манометры пневмоцита выдачи

Так как вентили не будут видны, то для их визуализации используются лишь ручки, которые моделируются из двух взаимно перпендикулярных цилиндров, объединённых с помощью «аддона» «Bool Tool». После объединения на местах соединения цилиндров необходимо «схлопнуть» ближайшие точки и на полученных ребрах сделать небольшие фаски для корректного отображения в дальнейшем. По окончании манипуляций добавляется модификатор «Подразделение поверхности» для сглаживания (рисунок 49).

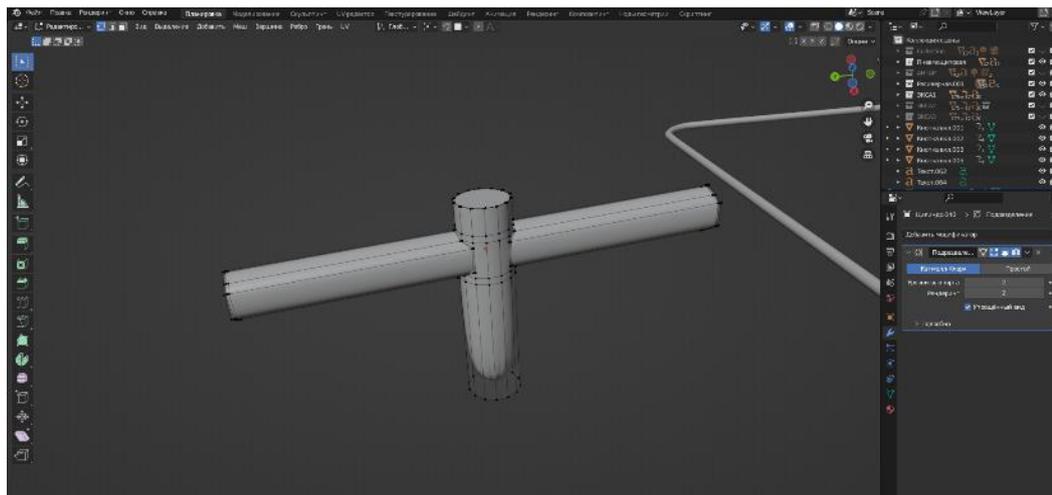


Рисунок 49 – Моделирование ручки вентиля

На каждом пневмощите размещаются надписи у манометров и вентилях. (рисунок 50).



Рисунок 50 – Полученные пневмощиты

Для данной работы были выполнены два пневмоцилта, похожей конфигурации. Различие заключается в том, что для воздуха управления пневмоцилта выдачи будет установлен манометр с циферблатом на 100 кгс/см², у остальных манометров циферблат на 600 кгс/см².

3.1.3 Моделирование ресиверной

Ресиверная содержит в себе секцию из сосудов, выдерживающих высокое давление. В данной конфигурации системы газоснабжения будет использовано пять сосудов, каждый из них будет копией одной модели, полученной с помощью вращения ребра (рисунок 51).

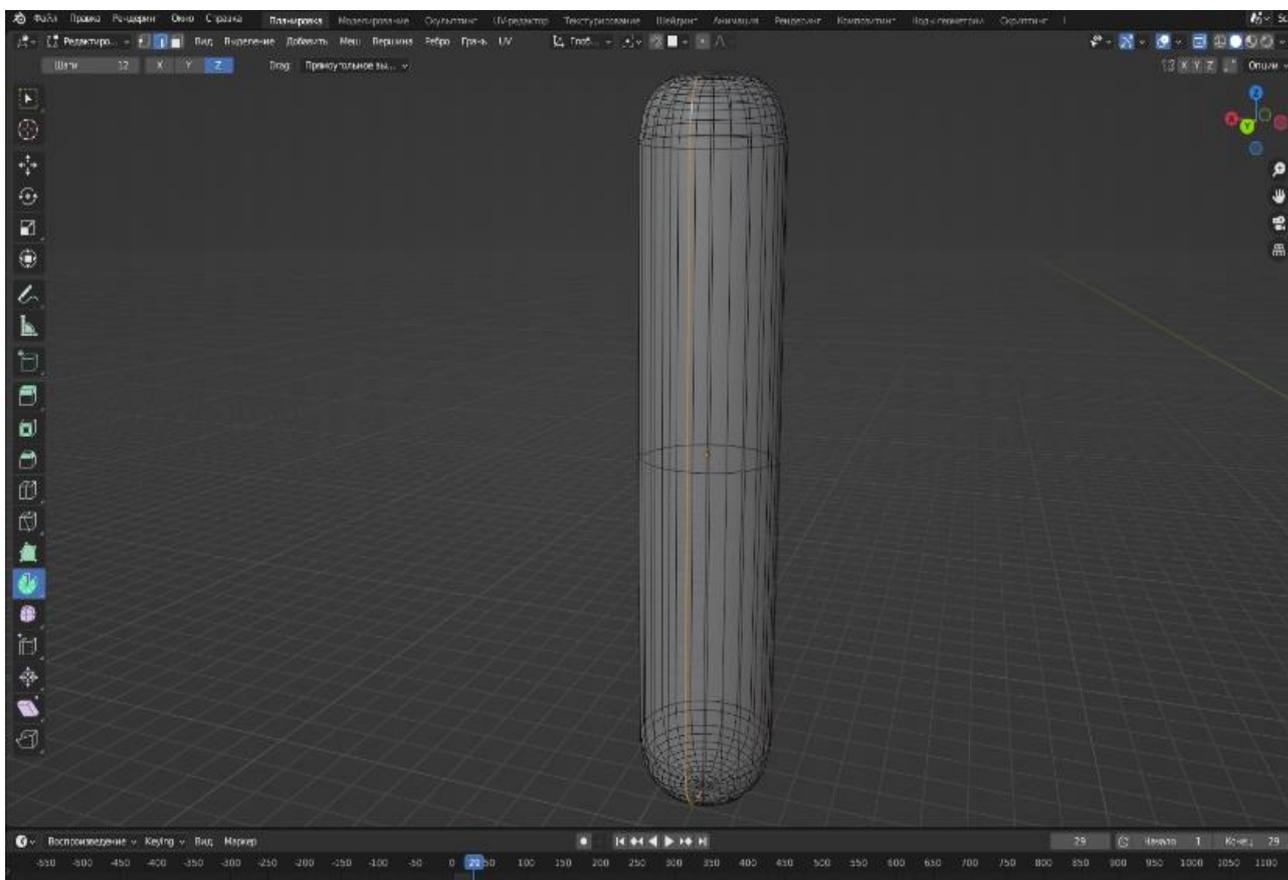


Рисунок 51 – Сосуд ресиверной

Пять одинаковых сосудов объединены в секцию двумя коллекторами на закачку и выдачу соответственно (рисунок 52).

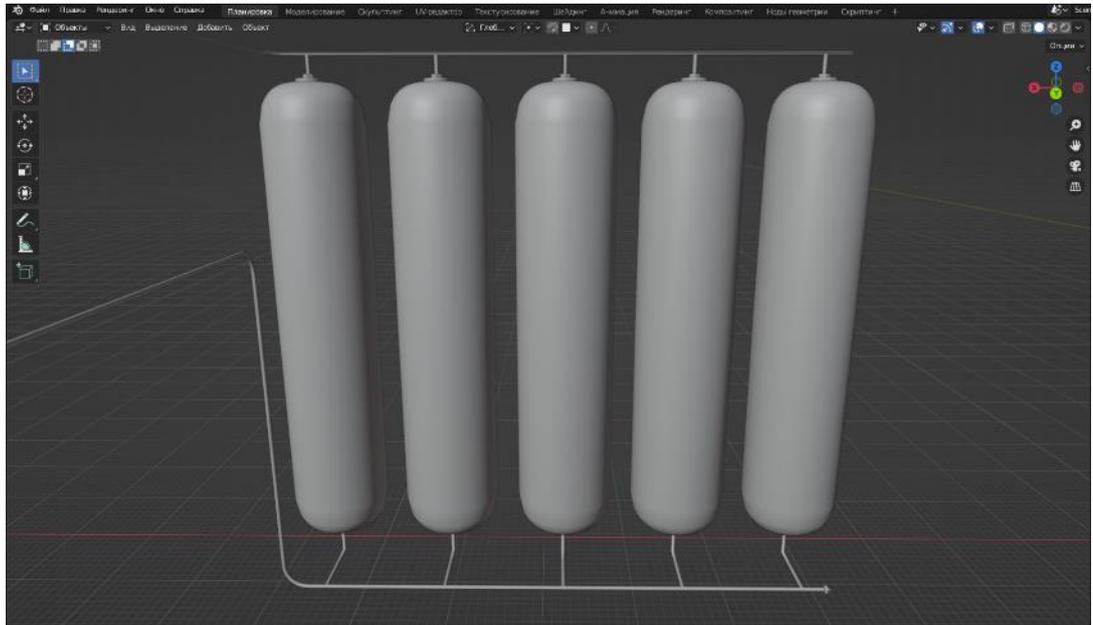


Рисунок 52 – Секция ресиверной

Далее эта ресиверная будет установлена на платформу производственного помещения, а коллекторы подсоединены к пневмоцистам.

3.1.4 Моделирование системы

Для оптимальной производительности системы газоснабжения зачастую используется две или несколько компрессорных станций. В данной системе будет использовано три. Компрессорные станции объединяются двумя коллекторами: подача воздуха управления от пневмоциста и выдача сжатого воздуха на зачатку (рисунок 53).

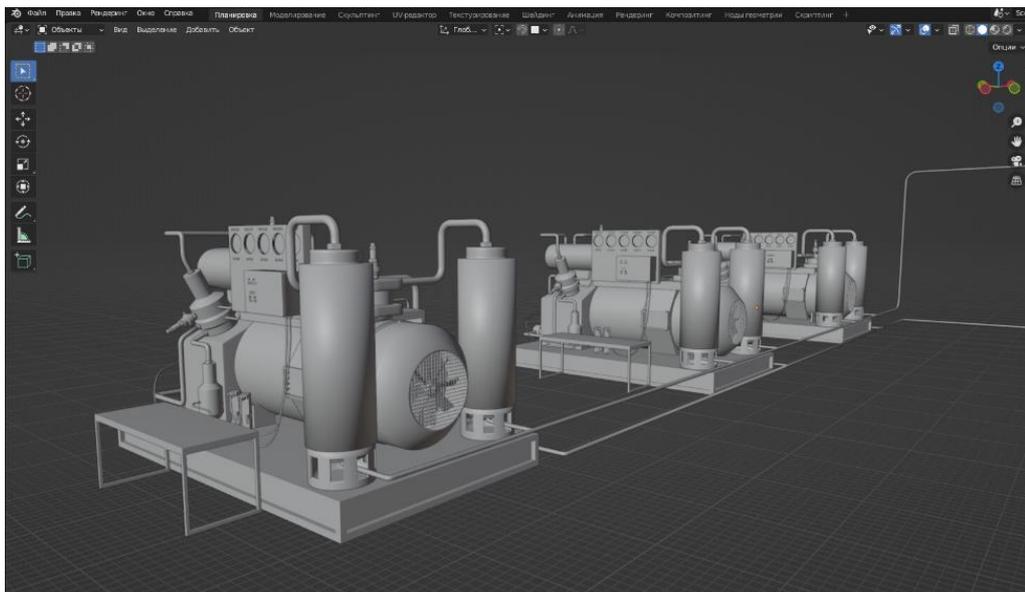


Рисунок 53 – Компрессорные станции системы

Коллекторы от компрессорных станций и ресиверной подсоединены трубопроводами в пневмоцисты. Таким образом у пневмоциста выдачи есть четыре трубопровода, отвечающих за:

- подача сжатого воздуха от ресиверной в пневмоцист;
- выдача потребителю;
- выдача воздуха управления на компрессорные станции;
- дренаж.

Пневмоцист заправки имеет три трубопровода:

- подачу давления от компрессорных станций;
- заправку секции;
- дренаж.

Два дренажных трубопровода и трубопровод на потребителя выведены отдельно за стену виртуального рабочего пространства (рисунок 54).

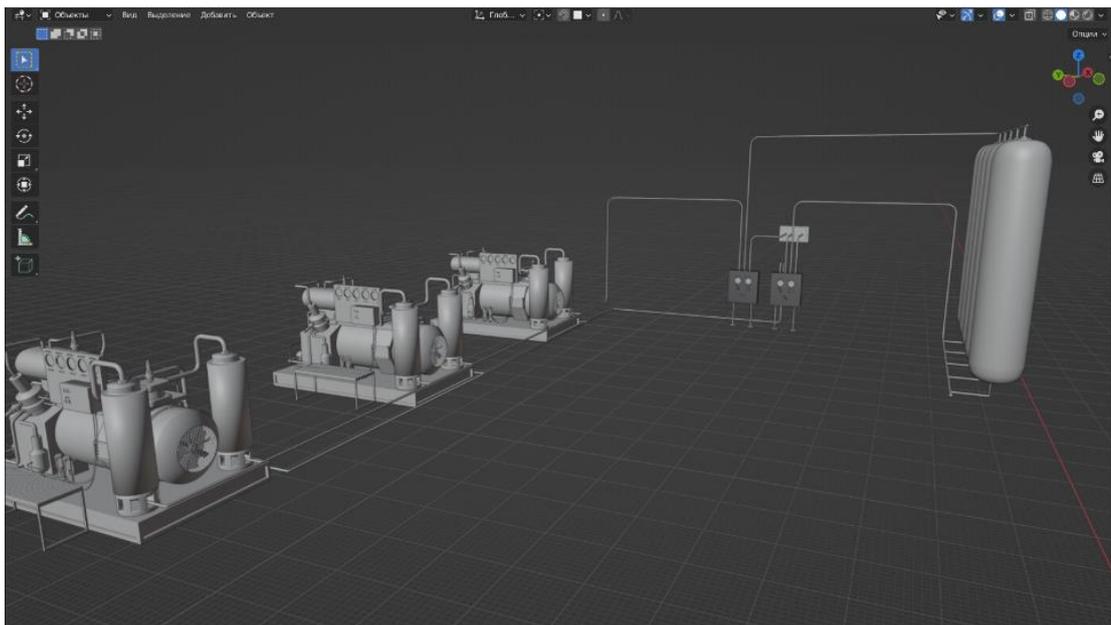


Рисунок 54 – 3Д модель виртуальной системы газоснабжения

По окончании моделирования накладываются добавляются материалы и накладываются текстуры.

3.1.5 Моделирование виртуального рабочего пространства

Для производственного помещения используются как готовые «ассеты» из библиотек в открытом доступе, так и собственные 3Д модели. Помещение

представляет собой ангар, содержащий в себе ворота, лампы, колонны, окна и металлическую крышу (рисунок 55).

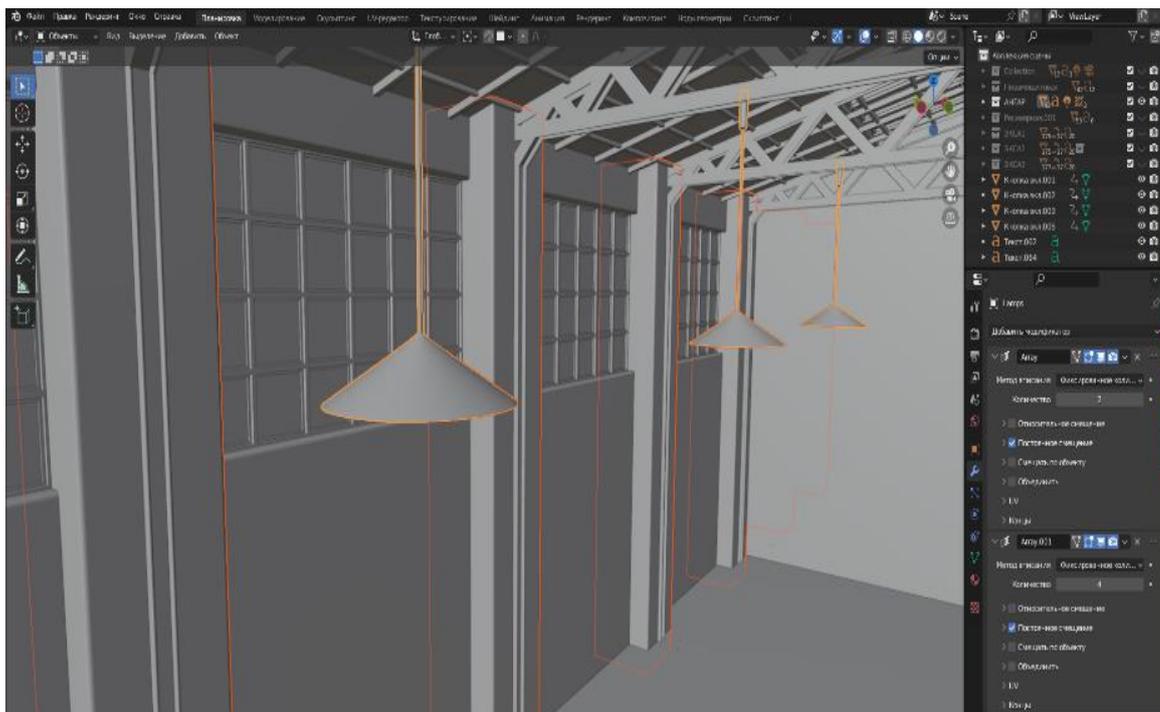


Рисунок 55 – Производственное помещение

В виртуальном рабочем месте должны быть расположены некоторые регламентированные журналы такие как: журнал инструктажей, журнал учета технического состояния агрегата, которые заполняются перед началом работ. Для чего были смоделированы журналы и рабочий стол (рисунок 56).

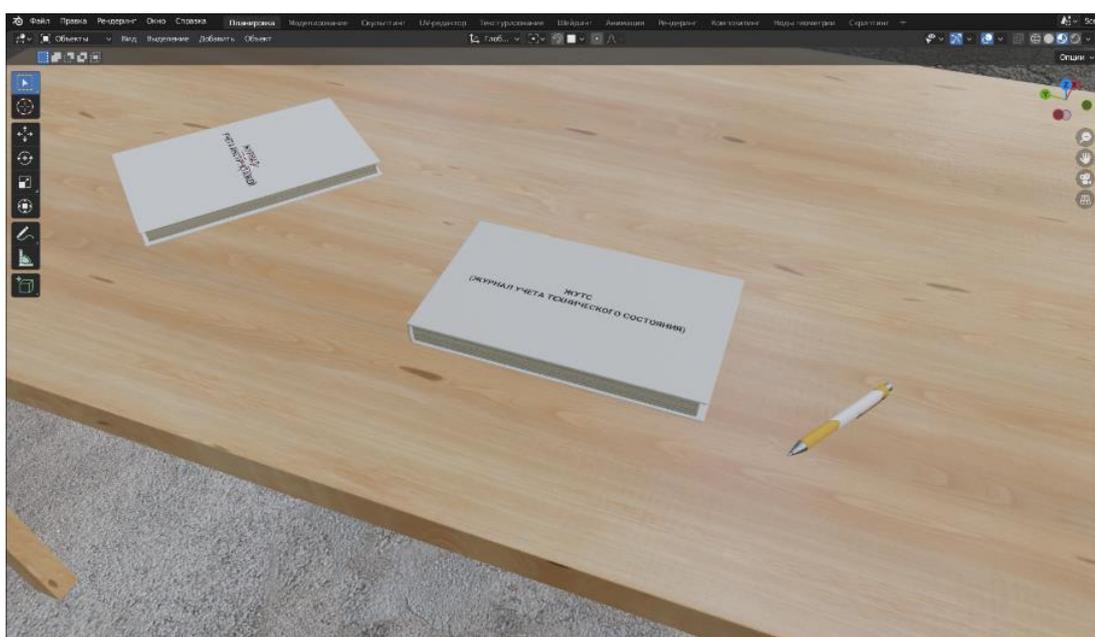


Рисунок 56 – Рабочий стол с журналами

При работе с агрегатами обязательно необходимо наличие ящиков с запасными инструментами и принадлежностями (ЗИП). Поэтому в виртуальном пространстве размещаются два таких ящика (рисунок 57).



Рисунок 57 – ЗИП системы газоснабжения

Для обеспечения эксплуатации компрессорных станций после определенного времени непрерывной работы необходимо подливать в лубрикатор масло. Поэтому в виртуальном пространстве размещаются бочки с горюче-смазочными материалами (рисунок 58)

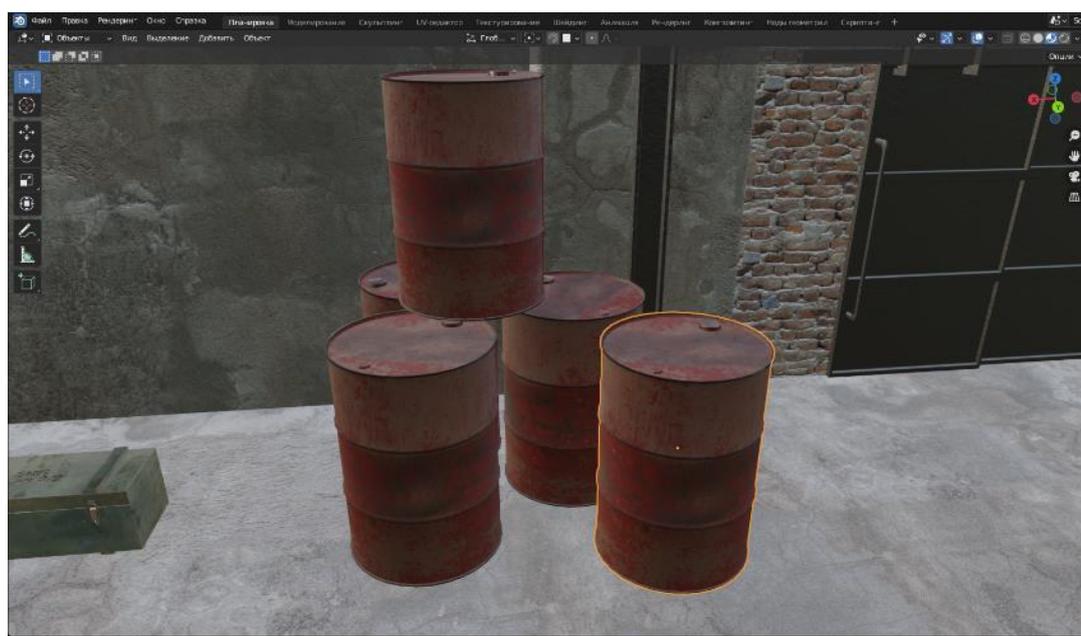


Рисунок 58 – Бочки с маслом для компрессорных станций

В итоге было выполнено производственное помещение в виртуальном пространстве со всеми необходимыми для работы системы элементами.

Внешний вид виртуальной системы газоснабжения и ее производственного помещения после выполнения всех операций по 3Д моделированию и работы с материалами и текстурами представлен на рисунке 59.

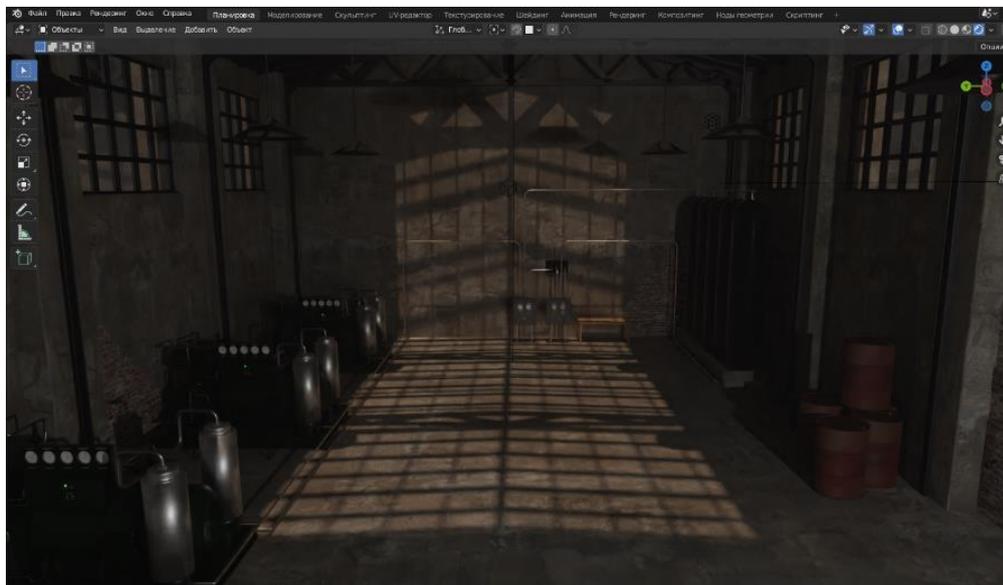


Рисунок 59 – Итоговый вид системы газоснабжения

3.1.6 Настройка симуляции работы системы

Условно работу системы газоснабжения можно разделить на два этапа:

- закачка компрессорным станций секции ресиверной;
- выдача потребителям.

Для визуализации подъема давления, дренажа и выдачи сжатого газа необходимо анимировать манометры пневмоцистов. С помощью вкладки «Анимация» создаются «Ключевые кадры» вращения стрелок. Таким образом определяется положение стрелок манометров каждый момент времени (рисунок 60).

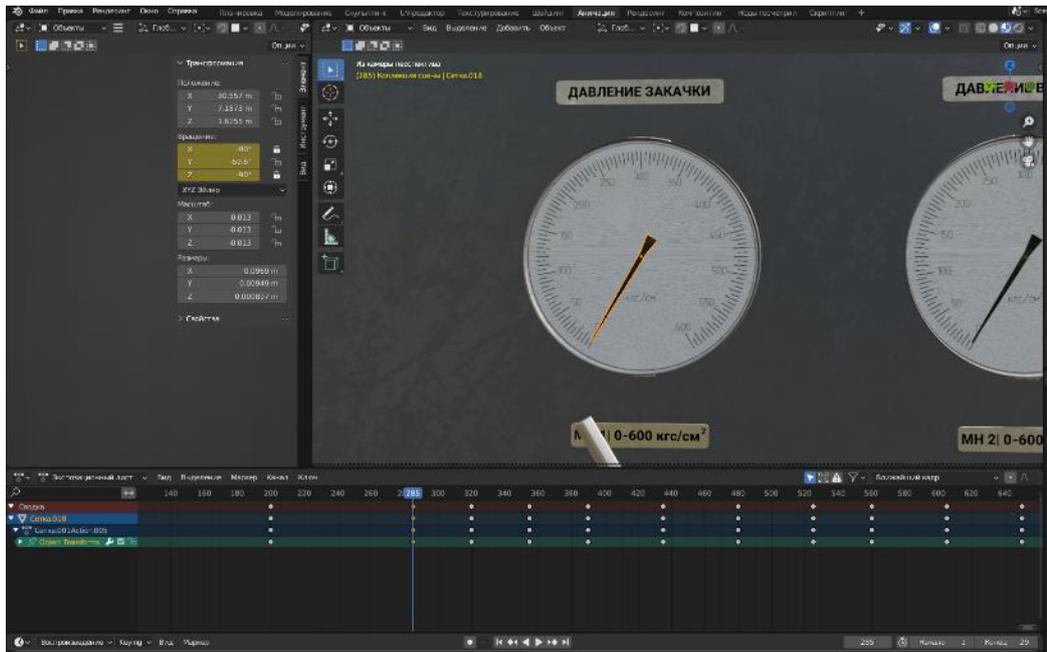


Рисунок 60 – Анимация манометров пневмоцистов

Аналогично манометрам анимируются вентили в соответствии с действиями специалиста на каждом этапе эксплуатации системы газоснабжения (рисунок 61).

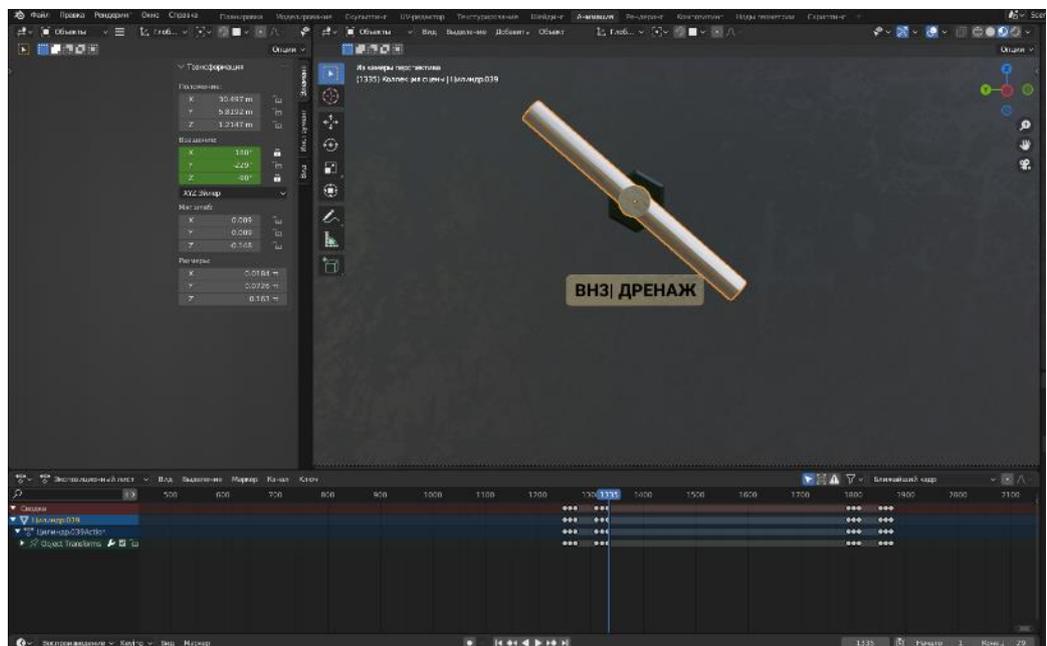


Рисунок 61 – Анимация вентилей

Манометры компрессорных станций анимируются в соответствии с давлением каждой ступени в определенный момент времени (рисунок 62).

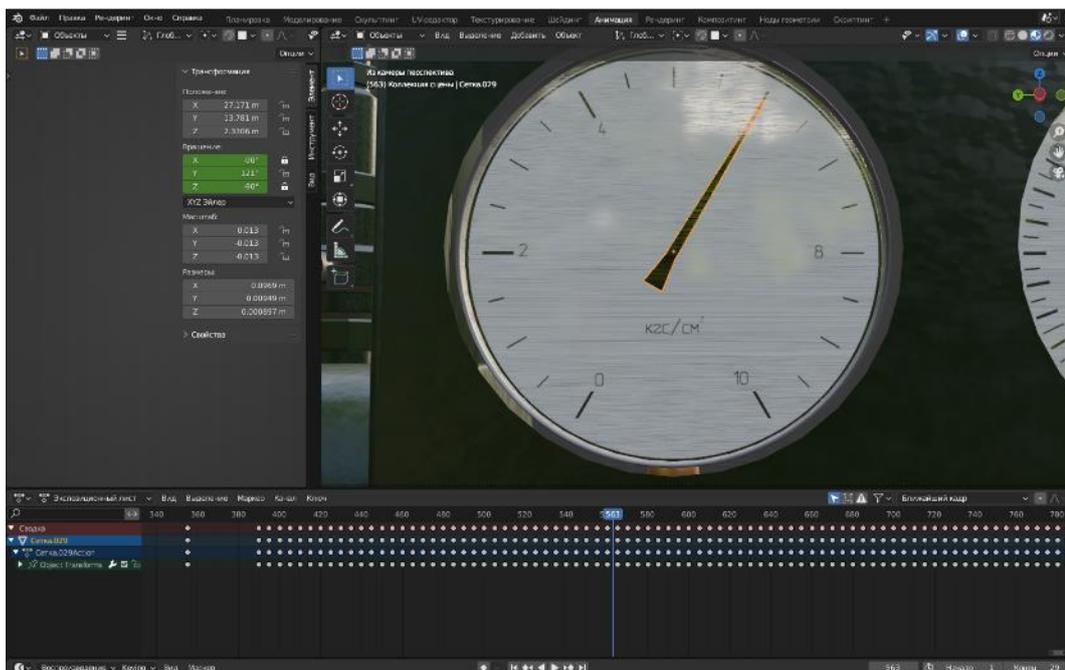


Рисунок 62 – Анимация манометров станций

Некоторые показания манометров станций дублируются с показаниями манометров пневмоцитов. Например, показание давления воздуха управления, отображаемое на пневмоците выдачи, совпадает с показанием на станции.

Также анимируется вращение вентиляторов электродвигателей (рисунок 63).

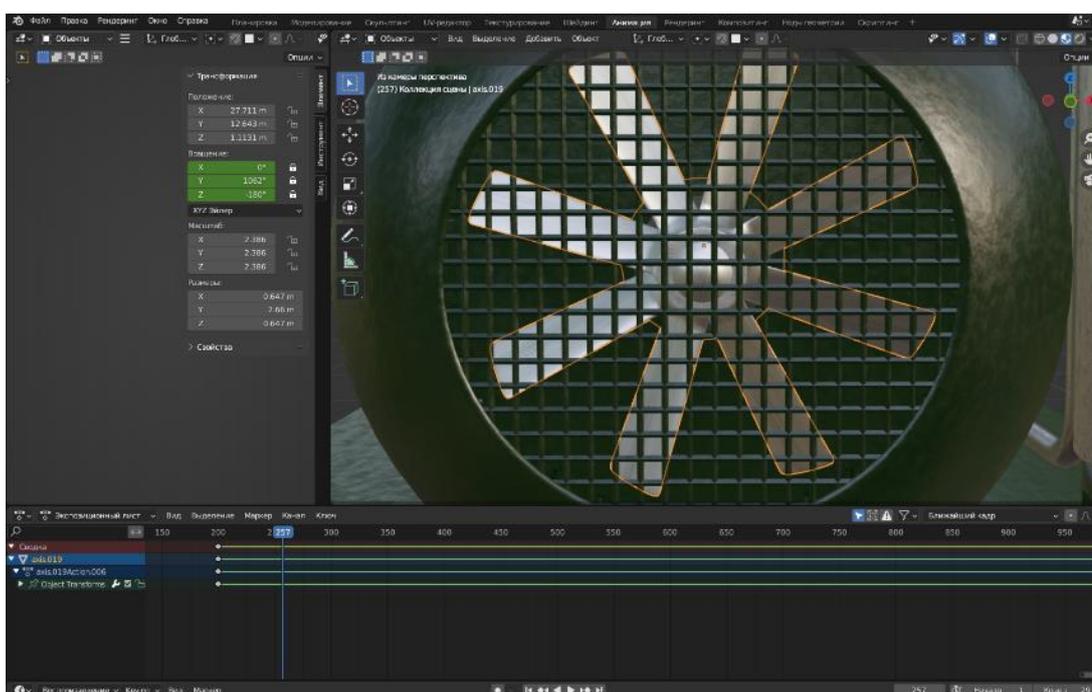


Рисунок 63 – Вращение вентилятора электродвигателя

Нажатие специалистом кнопок «ПУСК» и «СТОП» также должно быть визуализировано, для чего анимируется смещения кнопок вдоль оси (рисунок 64).

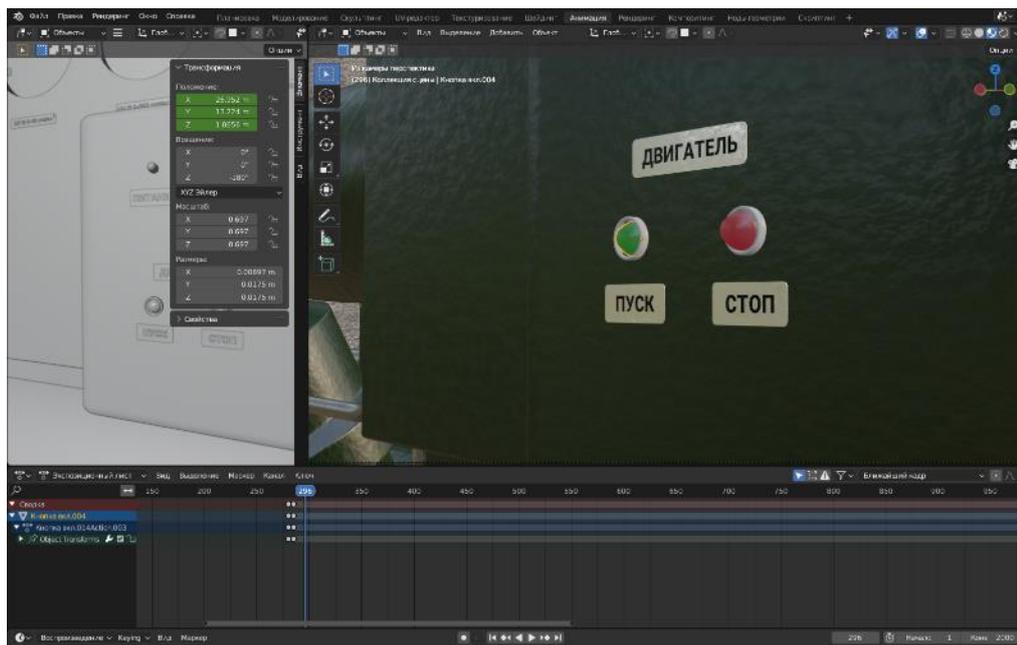


Рисунок 64 – Анимация нажатия кнопок

С помощью нелинейного видеоредактора на каждый момент времени анимации добавляется соответствующая аудиодорожка с целью аудиосопровождения движения газа по трубопроводам, дренажа, работы компрессорных станций (рисунок 65).



Рисунок 65 – Работа с аудиосопровождением

3.2 Примеры фактического тестирования программного продукта

Для тестирования полученного программного продукта необходимо провести рендер изображений системы газоснабжения и видеоролика анимации работы. Рендер изображений занимает в среднем одну минуту. Полученные рендеры изображений представлены на рисунках 66-68.



Рисунок 66 – Полученное изображение общего вида системы



Рисунок 67 – Полученное изображение вида на ресиверную



Рисунок 68 – Полученное изображение вида на компрессорные станции

Рендер видеоролика с анимацией работы системы занял 16 часов. Видео в формате MKV, качество HD, длительность 1 минута 16 секунд. Полученный видеоролик является демонстрационным, на нем представлены все этапы работы системы, но в ускоренном виде. Кадр из данного видеоролика представлен на рисунке 69.



Рисунок 69 – Кадр из видеоролика

Просматривая и анализируя полученные рендеры, можно сделать вывод о корректном отображении света, теней, материалов и геометрии 3D объектов, а также анимации.

3.3 Анализ достоверности практической значимости результатов

Готовый программный продукт сохраняется в формате BLEND. Данный программный продукт может использоваться в следующих целях:

- *Рендеринг изображений.* С целью изучения работы системы в целях обучения студентов и/или специалистов на производстве;

- *Рендеринг анимаций.* Для симуляции работы системы созданы и настроены анимации. Показания манометров соответствуют давлению каждой ступени нагнетания в цилиндро-поршневых группах, вращение вентилятора визуализирует работу двигателя, а добавленные источники звука создает аудио сопровождение процесса работы системы.

Помимо этого, при желании пользователя можно дополнить 3Д модель коммуникациями, еще одним пневмоцистом, транспортным сосудом и т.д. для симуляции работы системы газоснабжения различной конфигурации. Для пользователя программного продукта было разработано руководство, представленное в приложении Б.

Полученный программный продукт соответствует техническому заданию представленному в приложении А и отображает полный список операций на системе газоснабжения космодрома. Подробно визуализированы элементы агрегатов и виртуальное рабочее пространство, сами агрегаты и их параметры соответствуют реальному оборудованию. Далее программный продукт будет экспортирован в среду разработки, где будет начата работа со взаимодействием с пользователем посредством VR технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации был разработан программный продукт симулирующий процесс работы реальной системы газоснабжения космодрома. Виртуальное оборудование и процесс работы соответствуют действительным.

Авторская разработка заключается в новизне использования симулятора с целью обучения и демонстрации на космодроме. Работа проводилась в графическом редакторе Blender 3D с использованием программного обеспечения КОМПАС-3D. Полученный программный продукт содержит все необходимые 3D модели, анимации и аудио сопровождение для дальнейшего экспорта в среду разработки и добавления взаимодействия с пользователем посредством VR технологии. Разработанный симулятор уже на данном этапе демонстрирует полный цикл работы системы газоснабжения космодрома.

По окончании разработки были выполнены рендеры изображений системы, а также видеоролик, демонстрирующий работу системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- 1 Vizzion комплексные решения | VR-Симуляторы в промышленности и на производстве [Электронный ресурс]: vizzion.ru URL:https://vizzion.ru/solutions/vr_solution/vr-simulators-in-industry-and-manufacturing/ (Дата обращения: 12.03.2023).
- 2 Varwin Reality Management System | Использование VR-технологий в производстве и промышленности [Электронный ресурс]: varwin.com URL: <https://varwin.com/ru/vr-development/cases/hse/> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 3 Огородников А.А. Разработка симулятора системы газоснабжения космодрома / Студенческий вестник: электрон. научн. журн. 2023. № 6(245) [Электронный ресурс]: studvestnik.ru URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/245> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 4 3DDevice | Blender обзор возможностей бесплатного 3D редактора [Электронный ресурс]: 3ddevice.com.ua URL: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzory/3d-redaktor-blender-obzor/> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 5 BlenderKit - Welcome to the fair share marketplace [Электронный ресурс]: blenderkit.com URL: <https://www.blenderkit.com/become-creator/> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 6 Огородников А.А. Моделирование виртуального оборудования симулятора системы газоснабжения / Студенческий вестник: электрон. научн. журн. 2023. № 9(248) [Электронный ресурс]: studvestnik.ru URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/248> (Дата обращения: 12.03.2023).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Как работают ноды blender [Электронный ресурс]: typerus.ru URL: <https://typerus.ru/kak-rabotayut-nody-blender/> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 2 Огородников А.А. Моделирование виртуального оборудования симулятора системы газоснабжения / Студенческий вестник: электрон. научн. журн. 2023. № 9(248) [Электронный ресурс]: studvestnik.ru URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/248> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 3 Огородников А.А. Разработка симулятора системы газоснабжения космодрома / Студенческий вестник: электрон. научн. журн. 2023. № 6(245) [Электронный ресурс]: studvestnik.ru URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/245> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 4 Основы проектирования программ: Этапы создания программного обеспечения (Проектирование программного обеспечения) [Электронный ресурс]: evkova.org URL: <https://www.evkova.org/kursovye-raboty/osnovyi-proektirovaniya-programm-etapyi-sozdaniya-programmnogo-obespecheniya-proektirovanie-programmnogo-obespecheniya> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 5 Проектирование программного обеспечения [Электронный ресурс]: habr.com URL: <https://habr.com/ru/companies/edison/articles/267569/>. – 15.10.2022 (Дата обращения: 12.03.2023).
- 6 Русские Блоги: Диаграмма классов UML и диаграмма последовательности в архитектурном проектировании [Электронный ресурс]: russianblogs.com URL: <https://russianblogs.com/article/14591552097/> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 7 Симуляторы обучения [Электронный ресурс]: pro-sensys.com URL: <https://pro-sensys.com/info/articles/obzornye-stati/simulyatory-obucheniya-v-professionalnoy-podgotovke/> (Дата обращения: 12.03.2023).
- 8 Стандарт организации оформление выпускных квалификационных и курсовых работ (проектов). – СТО СМК 4.2.3.21-2018 ПО [Электронный ресурс]: russianblogs.com URL:

<https://www.amursu.ru/upload/files/podrazdeleniya/library/informatsiya-polzovatelyam/reglamentiruyushchaya-dokumentatsiya/sto-smk-4.2.3.21-2018.pdf>
(Дата обращения: 12.03.2023).

9 Тестирование программного продукта [Электронный ресурс]: [tadviser.ru](https://www.tadviser.ru) URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Тестированиепрограммнопродукта> (Дата обращения: 12.03.2023).

10 Хабр: UML для разработчиков [Электронный ресурс]: habr.com URL: <https://habr.com/ru/companies/ppr/articles/491146/> (Дата обращения: 12.03.2023).

11 Хабр: Обзор процесса разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]: habr.com URL: <https://habr.com/ru/articles/255991/> (Дата обращения: 12.03.2023).

12 Хабр: Простой Blender. Часть 1 [Электронный ресурс]: habr.com URL: <https://habr.com/ru/articles/272519/> (Дата обращения: 12.03.2023).

13 Хабр: Стандарты и шаблоны для ТЗ на разработку ПО [Электронный ресурс]: habr.com URL: <https://habr.com/ru/articles/328822/> (Дата обращения: 12.03.2023).

14 3D Device: Blender обзор возможностей бесплатного 3D редактора [Электронный ресурс]: 3ddevice.com.ua URL: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzory/3d-redaktor-blender-obzor/> (Дата обращения: 12.03.2023).

15 Actions — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/actions.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

16 Assignment — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/materials/assignment.html#material-slots> (Дата обращения: 12.03.2023).

17 Blender как добавить звуки [Электронный ресурс]: typerus.ru URL: <https://typerus.ru/blender-kak-dobavit-zvuki/> (Дата обращения: 12.03.2023).

18 Blender материалы и ноды [Электронный ресурс]: render.ru URL: <https://render.ru/ru/Diman500/post/22279> (Дата обращения: 12.03.2023).

19 BlenderKit: Welcome to the fair share [Электронный ресурс]: blenderkit.com URL: <https://www.blenderkit.com/become-creator/> (Дата обращения: 12.03.2023).

20 Common Shortcuts — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/interface/keymap/introduction.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

21 Data-Blocks — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/files/data_blocks.html (Дата обращения: 12.03.2023).

22 Editing Tools — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/grease_pencil/modes/edit/tools.html (Дата обращения: 12.03.2023).

23 Editing — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/texts/editing.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

24 GeekBrains - образовательный портал: Модели и методологии разработки ПО [Электронный ресурс]: gb.ru URL: <https://gb.ru/posts/methodologies> (Дата обращения: 12.03.2023).

25 Geekbrains: Разработка программного обеспечения: факторы, процессы, этапы [Электронный ресурс]: gb.ru URL: <https://gb.ru/blog/razrabotka-programmnogo-obespecheniya/> (Дата обращения: 12.03.2023).

26 Geekbrains: Тестирование программного обеспечения: разбираемся в деталях [Электронный ресурс]: gb.ru URL: <https://gb.ru/blog/testirovanie-programmnogo-obespecheniya/> (Дата обращения: 12.03.2023).

27 Introduction — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: Reducing Noise — Blender Manual (Дата обращения: 12.03.2023).

28 Introduction — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/keyframes/introduction.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

29 Introduction — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/compositing/introduction.html#examples> (Дата обращения: 12.03.2023).

30 Introduction — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/3dview/introduction.html#header-region> (Дата обращения: 12.03.2023).

31 Introduction — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/texts/introduction.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

32 Introduction — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/cycles/introduction.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

33 Knife Project — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/editing/mesh/knife_project.html (Дата обращения: 12.03.2023).

34 Markers — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/markers.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

35 Multiframe — Blender Manual [Электронный ресурс]: pro-sensys.com URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/grease_pencil/multiframe.html (Дата обращения: 12.03.2023).

36 Music Visualizer in Blender Step by Step - Prospero Coder [Электронный ресурс]: prosperocoder.com URL: <https://prosperocoder.com/posts/blender/music-visualizer/> (Дата обращения: 12.03.2023).

37 Object — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/grease_pencil/object.html#visibility (Дата обращения: 12.03.2023).

38 Preview — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/materials/preview.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

39 Primitives — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org
URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/primitives.html>
(Дата обращения: 12.03.2023).

40 QA evolution: Жизненный цикл программного обеспечения [Электронный ресурс]: qaevolution.ru URL: <https://qaevolution.ru/zhiznennyj-cikl-programmnogo-obespecheniya/> (Дата обращения: 12.03.2023).

41 Reducing Noise — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/cycles/optimizations/reducing_noise.html#path-tracing (Дата обращения: 12.03.2023).

42 Sampling — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/cycles/render_settings/sampling.html#adaptive-sampling (Дата обращения: 12.03.2023).

43 Skedraw: Техническое задание на разработку программного обеспечения [Электронный ресурс]: blog.skedraw.ru URL: <https://blog.skedraw.ru/articles/tehnicheskoe-zadanie-na-razrabotku-programmnogo-obespecheniya> (Дата обращения: 12.03.2023).

44 SkillBox: Уроки по Blender: основы анимации [Электронный ресурс]: skillbox.ru URL: <https://skillbox.ru/media/gamedev/uroki-po-blender-osnovy-animatsii/> (Дата обращения: 12.03.2023).

45 Spreadsheet — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/spreadsheet.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

46 Structure — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/curves/structure.html#splines> (Дата обращения: 12.03.2023).

47 Structure — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/structure.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

48 Timeline — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/timeline.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

49 UVs & Texture Space — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/uv/uv_texture_spaces.html (Дата обращения: 12.03.2023).

50 Vscod: Технология разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]: vscode.ru URL: <https://vscode.ru/articles/tehnologiya-razrabotki-ro.html> (Дата обращения: 12.03.2023).

51 Windows — Blender Manual [Электронный ресурс]: docs.blender.org URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/advanced/command_line/launch/windows.html (Дата обращения: 12.03.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Техническое задание

1. Введение

1.1. Целью данного проекта является разработка симулятора системы газоснабжения с использованием 3Д моделирования.

2. Основания для разработки.

2.1. Основанием для разработки служит задание к выпускной квалификационной работе.

2.2. Наименование: Симулятор системы газоснабжения космодрома;

2.3. Исполнитель: студент группы 157-ом, Огородников Александр.

3. Назначение разработки: Симуляция работы системы для отображения ее устройства и процесса эксплуатации.

4. Требование к программе или программному изделию

4.1. Требования к функциональным характеристикам

Разрабатываемый программный продукт должен включать:

- 1) Модель компрессорной станции;
- 2) Модель ресиверной;
- 3) Модели пневмоцистов;
- 4) Модель производственного помещения;
- 5) Выполненные анимации;
- 6) Звуковое сопровождение.

Все виртуальное оборудование симулятора должно быть выполнено в виде 3Д объектов, готовых к рендеру.

4.1.1. Организация входных и выходных данных

В качестве входных данных для симулятора используются общие характеристики системы газоснабжения. Выходными данными являются рендеры отображающие и симулирующие процесс работы системы.

4.2. Требование к надежности.

Продолжение Приложения А

Уровень надежности должен достигаться согласованным применением организационных, организационно-технических мероприятий и программно-аппаратных средств. Надежность должна обеспечиваться за счет:

- применения технических средств, системного и базового программного обеспечения, соответствующих классу решаемых задач;
- соблюдения правил эксплуатации и технического обслуживания программно-аппаратных средств;
- исключить возможность доступа к файлам конфигурации сторонним пользователям.

4.3. Условия эксплуатации.

Объектом разработки является программный продукт, поэтому все требования к эксплуатации обуславливаются требованиями к функционированию и использованию аппаратных средств, на которых предполагается работа симулятора. Для работы компьютерного оборудования необходимо соблюдение следующих условий эксплуатации:

- должна быть обеспечена защита от электромагнитных и ионизирующих излучений;
- эксплуатационные режимы работы не должны превышать значений, указанных в технической характеристике оборудования;
- прочие условия должны соответствовать санитарным нормам и правилам эксплуатации компьютеров.

4.4. Требования к составу и параметрам технических средств: Рекомендуемые характеристики используемого персонального компьютера указаны в таблице 1:

Таблица 1 – Характеристики персонального компьютера

Операционная система:	Windows 10
Видеокарта:	GeForce 1660 OC 6Gb или производительнее

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы 1

Процессор:	AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor 3.20 GHz или производительнее
Объем оперативной памяти:	16 Гб или больше
Свободная память на SSD или жестком диске:	не менее 500 Мб

4.5. Требования к маркировке и упаковке

Требования к маркировке и упаковке не предъявляются.

4.6. Требования к транспортированию и хранению.

Программное обеспечение должно храниться на USB-флеш-накопителе.

4.7. Специальные требования

Специальные требования не предъявляются.

5. Требования к программной документации

Техническое задание оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 19.201. Документами, регламентирующими разработку, являются документы Единой Системы Программной Документации (ЕСПД).

6. Техничко-экономические показатели

Экономическая эффективность программного продукта не определяется, так как разработка ведется в рамках учебной деятельности.

7. Порядок контроля и приемки.

Разработанный программный продукт вместе с пояснительной запиской подлежит проверке руководителем курсовой работы, по итогу которой работа принимается, либо отправляется на доработку.

8. Стадии и этапы разработки.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица 2 – Стадии и этапы разработки

Наименование этапа	Сроки этапа	Результат выполнения этапа
1 Изучение предметной области, обучение по использованию среды разработки	30.01.23- 31.01.23	Проанализирована предметная область, изучен функционал Blender 3D.
2 Разработка симулятора	01.02.23- 10.05.23	Готовы 3D модель системы газоснабжения космодрома и производственного помещения, анимации, звуковое сопровождение.
3 Тестирование	14.05.23	Рендер готовой модели.
4 Внедрение	15.05.23	Размещение симулятора на USB-флеш-носителе для последующей сдачи работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Руководство пользователя

1 Введение

1.1 Область применения

Требования настоящего документа применяются при:

Тестировании программного продукта;

Приемочных испытаниях;

При эксплуатации.

1.2 Краткое описание возможностей

Программный продукт `gassystem.blend` предназначен для использования в различных средах разработки с целью симуляции процесса работы газового оборудования при помощи 3Д моделей.

При использовании в средствах разработки программный продукт обладает:

Заданными параметрами материалов 3Д объектов;

Соответствующим действительности масштабом объектов;

Основными элементами системы газоснабжения космодрома;

Звуковым сопровождением;

Готовыми анимациями объектов.

1.3 Уровень подготовки пользователя

Пользователь `gassystem.blend` должен иметь опыт работы с «UV editing», 3Д моделированием, текстурированием 3Д объектов и их анимацией, рендерингом, а также обладать следующими знаниями:

Знать соответствующую предметную область;

Знать основы работы с графическими редакторами;

Понимать работу аппаратного обеспечения с полигонами.

Квалификация пользователя должна позволять:

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Использовать программный продукт по назначению;

Осуществлять при необходимости доработку программного продукта.

2. Назначение и условия применения gassystem.blend

Программный продукт gassystem.blend во время использования в средствах разработки позволяет пользователю симулировать процесс работы систем газоснабжения.

Разработанная 3Д модель обладает большим количеством полигонов, в связи с чем определяется следующее требование к аппаратному обеспечению пользователя:

Видеокарта GeForce 1660 OC 6Gb или производительнее;

Процессор AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor 3.20 GHz или производительнее;

Оперативная память 16 Gb или более.

3. Подготовка к работе

3.1 Для работы с gassystem.blend необходимо одно из следующих программных обеспечений:

Unity 3D;

Unreal Engine;

Blender 3D.

3.2 Перед началом работы с gassystem.blend на рабочем месте пользователя необходимо выполнить следующие действия:

Перенести программный продукт из устройства хранения (USB-флеш-носителя) на рабочий компьютер;

Установить одно из вышеперечисленных программных обеспечений;

Импортировать файл gassystem.blend и сопутствующие файлы в среду разработки.

3.3 Порядок проверки работоспособности

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Для проверки работоспособности необходимо выполнить следующие действия:

В средстве разработки выбрать режим отображение текстур и света;

Запустить процесс анимации;

Выполнить рендер анимации любой длительности с экспортом в видеофайл.

В случае если текстуры отображаются неправильно, анимация объектов не соответствует штатной работе, при рендере анимации возникают артефакты необходимо повторить импорт файла `gassystem.blend` в среду разработки, указать путь к текстурам, находящимся в сопутствующих к программному продукту файлах.

4. Описание операций

4.1 Выполняемые функции и задачи

`gassystem.blend` при использовании выполняет функции и задачи, приведенные в таблице ниже:

Таблица 1 – Выполняемая функция и задача

Функция	Задача	Описание
Симуляция процесса работы системы газоснабжения космодрома	Визуализация работы системы со звуковым сопровождением	В ходе выполнение данной задачи пользователю программного продукта предоставляется возможность запустить анимацию некоторых 3Д объектов в соответствии с реальным оборудованием

4.2 Описание операций по симуляции процесса работы:

Ниже приведено описание пользовательских операций для выполнения каждой из задач.

Задача: «Визуализация работы системы со звуковым сопровождением»

Операция 1: Настройка отображение 3Д объектов.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Условия, при соблюдении которых возможно выполнение операции:

Файл `gassystem.blend` импортирован в средство разработки.

Подготовительные действия:

Добавить камеру в сцену средства разработки.

Основные действия в требуемой последовательности:

Нажать на кнопку полного отображения 3Д объектов.

Заключительные действия:

Не требуются.

Ресурсы, расходуемые на операцию:

2-10 минут.

Операция 2: Рендер

Условия, при соблюдении которых возможно выполнение операции:

Успешно выполнена настройка отображения 3Д объектов.

Подготовительные действия:

Задать необходимые параметры вывода.

Основные действия в требуемой последовательности:

В соответствующей вкладке выбрать необходимый репозиторий для полученного файла;

Запустить рендер.

Заключительные действия:

По окончании работы, закрыть окно рендера, проверить качество изображения полученного файла.

Ресурсы, расходуемые на операцию:

операции зависит от производительности аппаратного обеспечения.

5. Аварийные ситуации

В случае возникновения ошибок в работе с `gassystem.blend`, не описанных ниже в данном разделе, необходимо обращаться к разработчику.

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Таблица 2 – Возможные ошибки

Класс ошибки	Ошибка	Описание ошибки	Требуемые действия пользователя при возникновении ошибки
3Д модель	Отсутствуют некоторые 3Д объекты	Не отображается часть элементов компрессорной станции	Проверить включение отображения всех 3Д объектов в коллекциях файла gassystem.blend
	Отсутствуют материалы 3Д объектов	Материалы, текстура и цвета 3Д объектов не соответствуют заданным	Проверить правильность импорта gassystem.blend в средство разработки. При необходимости повторить импорт программного продукта и указания пути к сопутствующим файлам.
Рендер	Отсутствует 3Д модель	При рендере отсутствуют 3Д модель системы	Проверить расположение камеры наблюдателя.
	Отсутствует звук	При рендере процесса работы отсутствует звук	Проверить включение источника звука и его расположение в сцене. При необходимости в настройках звука прибавить громкость источника.

6. Рекомендации по освоению

В ходе освоения программного продукта, необходимо иметь копию исходной версии во избежание неисправимых действий с 3Д моделью. Например: при работе с gassystem.blend в Blender 3D в памяти компьютера сохраняется ограни-

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б

ченное количество действий пользователя, что означает негарантированный возврат в исходное состояния 3D модели.

При необходимости изменения параметров работы системы, посредством изменения вращения стрелок манометров, можно выставить нужные пользователю показания давления. Например: при работе в Blender 3D можно выбрать стрелку манометра и во вкладке «Animation» изменить ее расположение на циферблате, после чего сохранить ключевые кадры.

Для разработки симулятора системы газоснабжения различной конфигурации допускается добавление или исключение некоторых 3D объектов.