Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

по дисциплине «Основы разработки САПР»

Выполнил:

студент гр. 588-2

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.Р. Дягай

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_2021г.

Проверил:

к.т.н., доцент каф. КСУП:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.А. Калентьев

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_2021г.

**Содержание**

[1 Введение 3](#_Toc91327551)

[2 Постановка и анализ задачи 3](#_Toc91327552)

[2.1 Описание предмета проектирования 4](#_Toc91327553)

[2.2 Выбор инструментов и средств реализации 5](#_Toc91327554)

[2.3 Назначение плагина 5](#_Toc91327555)

[2.4 Описание аналогов разрабатываемого продукта 5](#_Toc91327556)

[2.4.1 Rhinoceros 3D 5](#_Toc91327557)

[2.4.2 NX 7](#_Toc91327558)

[2.4.2 Creo 9](#_Toc91327559)

[3 Описание реализации 10](#_Toc91327560)

[3.1 Диаграмма классов 10](#_Toc91327561)

[4 Описание программы для пользователя 13](#_Toc91327562)

[5 Тестирование программы 14](#_Toc91327563)

[5.1 Функциональное тестирование 15](#_Toc91327564)

[5.2 Модульное тестирование 17](#_Toc91327565)

[5.3 Нагрузочное тестирование 18](#_Toc91327566)

[6 Заключение 20](#_Toc91327567)

[Список литературы 21](#_Toc91327568)

# **1 Введение**

Автоматизация моделирования имеет огромное значение для развития науки, техники и производства в современном обществе. В настоящее время автоматизация – основной способ повышения производительности и эффективности труда инженерно-технических работников, занимающихся моделированием сложных устройств. Использование автоматизации в проектировании позволяет создавать все более сложные технические объекты и гибко реагировать на появление новых решений и технологий в той или иной области техники.

Практическая реализация методов и идей автоматизированного моделирования происходит в рамках систем автоматизированного проектирования (САПР). Однако мало создать высокопроизводительные современные САПР. В рамках современного «компьютеризированного» общества инженер любой специальности, занимающийся разработкой технических устройств, должен уметь использовать средства автоматизированного проектирования. Это позволяет повысить эффективность моделирования, улучшить его качество, снизить материальные затраты и уменьшить число разработчиков.

Таким образом, целью данной работы является разработка плагина, автоматизирующего построение модели «Оправа для очков» для системы автоматизированного проектирования «Autodesk Inventor 2022» [1] с помощью интегрированной среды разработки Visual Studio 2019 Сommunity. [2]

Интегрированная среда разработки Visual Studio — это стартовая площадка для написания, отладки и сборки кода, а также последующей публикации приложений. Интегрированная среда разработки (IDE) представляет собой многофункциональную программу, которую можно использовать для различных аспектов разработки программного обеспечения.

# **2 Постановка и анализ задачи**

В рамках лабораторных работ в соответствии с технически заданием требовалось разработать плагин, который на основе входных параметров, интегрируя с системой «Autodesk Inventor 2022», строил модель «Оправа для очков». Более того, требовалось, чтобы плагин позволял изменять входные параметры в соответствии с требованиями пользователей, а именно: длина моста, радиус линзы, радиус рамы линзы, ширина оправы, длина концевого элемента, а также их форму: прямоугольная.

## 2.1 Описание предмета проектирования

Предметом проектирования является оправа очков. Оправа очков – совокупность конструктивных элементов, которые служат для фиксации линз в заданном положении.

Модель оправы для очков представлена на рисунке 2.1 и 2.2.

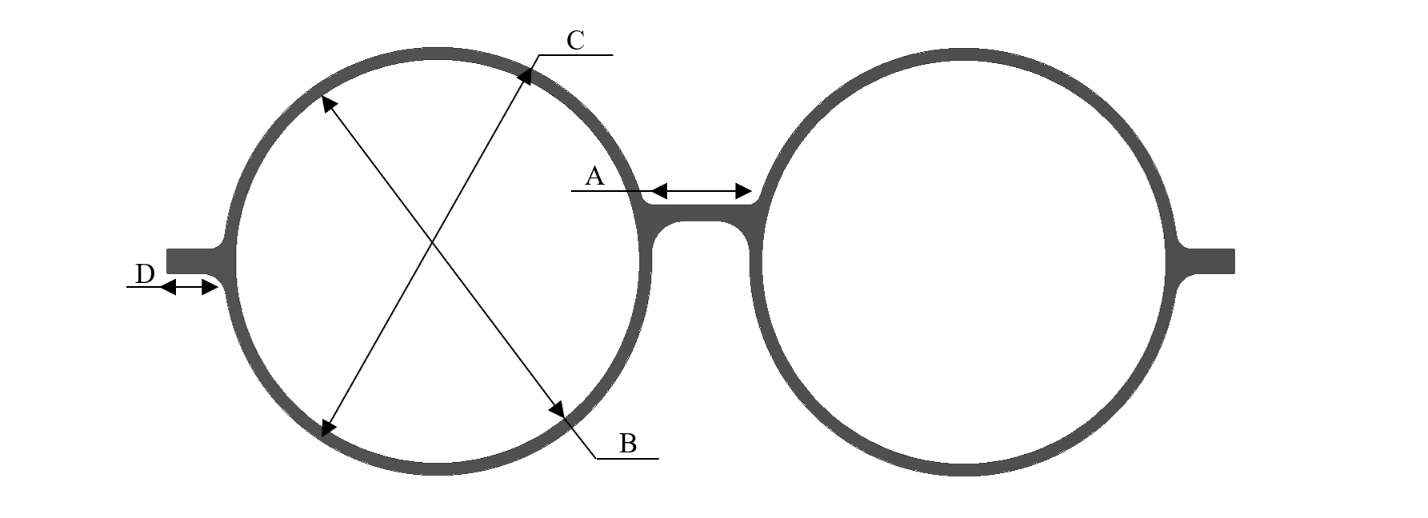


Рисунок 2.1 – Модель оправы для очков

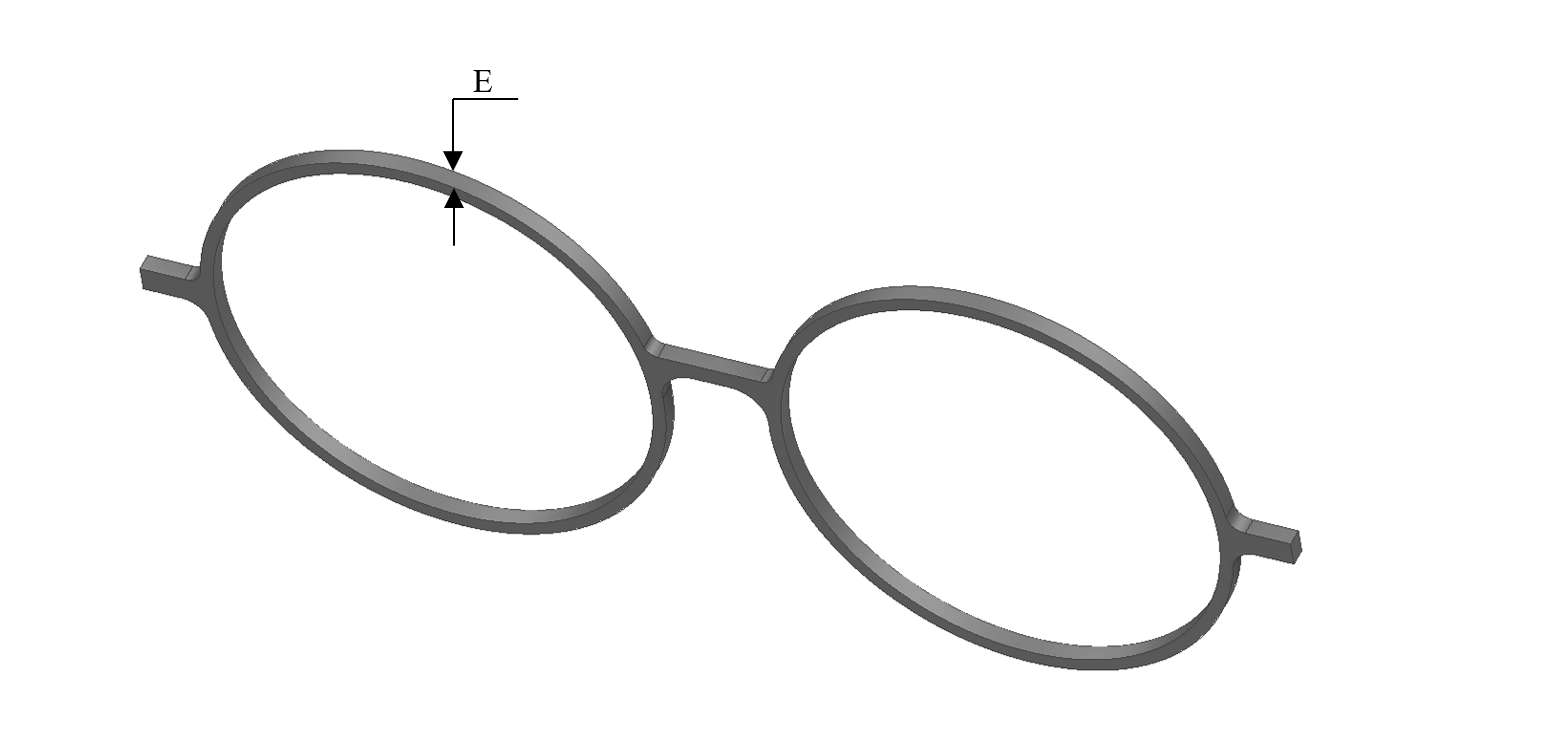


Рисунок 2.2 – Модель оправы для очков

Параметры и ограничения следующие (см. рисунки 2.1 и 2.2):

1. Длина моста (А): от 10мм до 16мм.
2. Радиус линзы (B): от 48мм до 54мм.
3. Радиус рамы линзы (C): от 52мм до 58мм.
4. Ширина оправы (E): от 2мм до 5мм.
5. Длина концевого элемента (D): от 6 мм до 12мм.
6. Радиус линзы (B) должен быть меньше радиуса рамы линзы (C).

## 2.2 Выбор инструментов и средств реализации

На основе требований к техническому заданию программа выполнена на языке программирования C# в среде Microsoft Visual Studio 2019 с использованием .NET Framework 4.7.2 для системы «Autodesk Inventor 2022». Инструментом тестирования был выбран инструмент запуска тестов расширения ReSharper с тестовым фреймворком NUnit версии 3.13.2. Для реализации пользовательского интерфейса использовалась платформа пользовательского интерфейса для создания клиентских приложений для настольных систем – Windows Presentation Foundation [3].

## 2.3 Назначение плагина

Назначение разрабатываемого плагина обусловлено быстрым моделированием оправы для очков. Благодаря данному расширению, люди, занимающиеся изготовлением оправ для очков, смогут наглядно посмотреть результат работы и при необходимости изменить некоторые параметры без расхода дорогостоящего материала.

## 2.4 Описание аналогов разрабатываемого продукта

### 2.4.1 Rhinoceros 3D

Программа Rhinoceros 3d [4] предназначена для NURBS-моделирования. Преимущественно используется в архитектуре, ювелирном, автомобильном и промышленном дизайне. Для программного обеспечения было разработано более 1000 плагинов, которые существенно расширяют возможности. Растущая популярность связана с разнообразием инструментов и функций.

Предназначение программы заключается в трехмерном моделировании при применении принципа NURBS. Этот идеальный инструмент используется для решения художественных и конструкторских задач в самых различных отраслях.

Назначение Rhinoceros 3D:

1. Построение точной геометрии при использовании различных инструментов.
2. 3D-печать с предварительной подготовкой модели.
3. Симулирование различных явлений, к примеру, ветра или гравитации.
4. Импорт и экспорт проектов.
5. Создание деталей для станков ЧПУ.
6. Разработка игр.

Программа Rhinoceros 3D используется для создания точных трехмерных изображений зданий, объектного моделирования и создания шейдеров.

Рассматриваемое программное обеспечение предназначено для профессиональной работы. Именно поэтому окно представлено большим количеством панелей с инструментами. Они расположены по боковым сторонам.

Интерфейс программы представлен на рисунке 2.3.

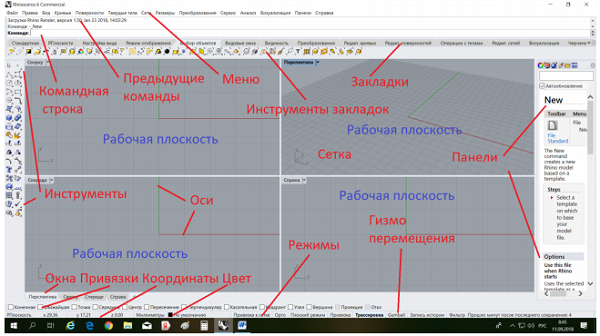


Рисунок 2.3 – Интерфейс программы

Возможности рассматриваемого программного обеспечения достаточно обширны. Они позволяют получать сложные сцены и объекты со сложной формы. Функции Rhinoceros 3D:

1. Формирование трехмерной модели. Процесс моделирования предусматривает использование самых различных методик. Для этого есть сплайны, примитивы, дополнительные плагины.
2. Визуализация. Для этого могут использоваться встроенные инструменты и сторонние плагины, от выбора зависит результат.
3. 3D-печать. Rhinoceros 3d может синхронизироваться с различными принтерами, что упрощает поставленную задачу.
4. Отображение большого количества различной информации о трехмерной сцене, к примеру, количество точек, объем и линейные размеры.

При создании очков рекомендуется использовать плагин T-Splines. T-Splines – подключаемый модуль для системы трехмерного моделирования Rhinoceros 3D, позволяющий создавать и редактировать сложные органические поверхности на основе технологии T-сплайнов.

### 2.4.2 NX

Программный пакет NX [5] – система, предназначенная для цифровой разработки изделий. NX обеспечивает процессы разработки, инженерного анализа и подготовки производства.

Являясь законченным решением для цифрового создания изделия, NX предлагает интегрированную систему для выполнения задач проектирования, инженерного анализа, создания документации, оснастки и подготовки производства любой сложности для всех областей промышленности.

Инструменты системы NX обеспечивают выполнение большинства требований и запросов конструкторов и производственников, а для тех запросов, которые оказались не охваченными, система предоставляет универсальный механизм, позволяющий пользователю создавать собственные инструменты и приложения для решения своих запросов.

Средства промышленного дизайна в NX предназначены для разработки внешнего облика проектируемого изделия и анализа его эстетических и визуальных характеристик. Данная функциональность позволяет автоматизировать процессы разработки дизайна от оцифровки или создания двумерных скетчей до анализа технологических процессов изготовления элементов внешнего облика и проектирования соответствующей оснастки.

Средства автоматизации разработки дизайна представлены следующими группами инструментов:

1. Моделирование поверхностей (Freeform Shape) – инструментарий для создания параметрических поверхностей любой степени сложности, а также набор средств анализа качества геометрии.
2. Свободное моделирование (Realize Shape) – инструментарий, позволяющий создавать точную геометрию, используя алгоритм поверхностей подразделения (subdivision), при котором пользователь модифицирует геометрию путём перетаскивания управляющих точек-маркеров. Данный способ позволяет создавать любые формы без использования комплексных параметрических зависимостей и, в то же время, получать геометрию, с которой далее можно работать на всех последующих этапах без конвертации.
3. Динамический рендеринг (Dynamic & Photorealistic Rendering) – набор механизмов, позволяющих получать реалистичное изображение изделия как в режиме реального времени, так и в последовательном режиме. В режиме реального времени система автоматически обновляет получаемое изображение при любом изменении геометрии. При генерации изображения учитываются источники света, материалы, текстуры, параметры окружающей среды, наложение теней и другие параметры, влияющие на качественные характеристики получаемого изображения.

Интерфейс приложения представлен на рисунке 2.4.

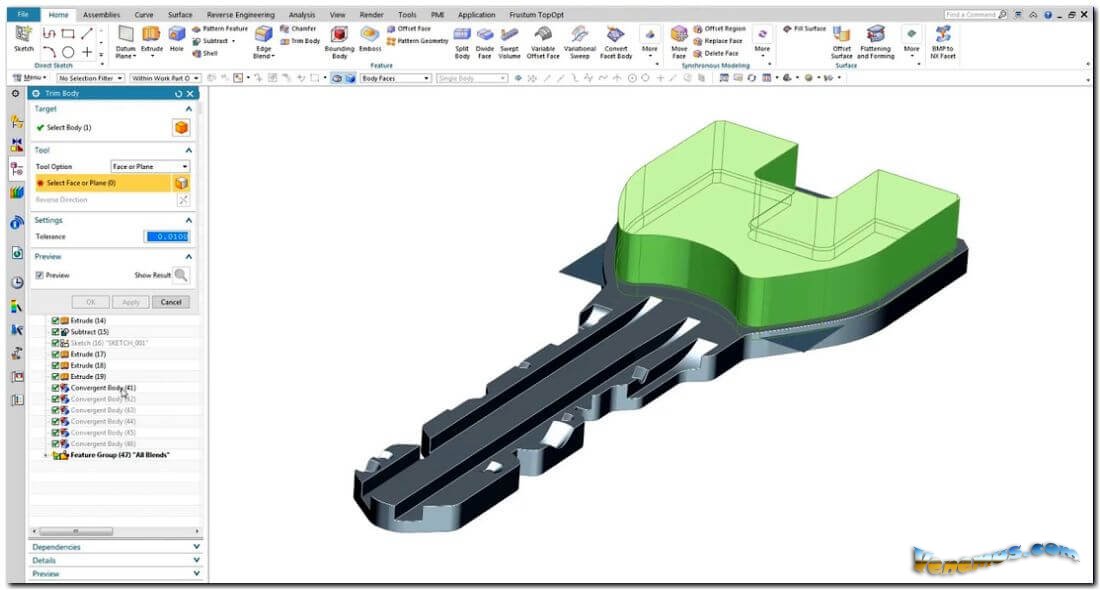


Рисунок 2.4 – Интерфейс приложения

### 2.4.2 Creo

PTC Creo [6] – это пакет программного обеспечения для конструирования изделий.

Основными функциональными возможностями являются:

1. Поддержка 3D CAD/CAM/CAE моделирования.
2. Инструменты для рендеринга внутри среды разработки.
3. Возможность создавать 2D-чертежи.
4. Возможность импортировать/экспортировать файлы.
5. Возможность создавать свои команды или меню.

PTC Creo можно использовать для проектирования таких объектов, как ювелирные изделия, мебель, бытовая техника и т.д. Многие компоненты PTC Creo предлагают расширенные возможности визуализации или анимации, чтобы инженеры могли лучше визуализировать свои продукты.

Программа поддерживает реалистичное отображение материалов, например, металл и стекло, а графическое ядро позволяет посмотреть, как изделие, включая большие сборки, будет выглядеть в заданном окружении.  Параметры меняются легко и быстро. Яркие изображения позволят оживить процесс оценки изделий и помогут лучше понять изделие.

С помощью PTC Creo можно создавать поверхности со сложной геометрией, используя сопряжения, сдвиг и прочие возможности, а также выполнять такие операции с поверхностью, как копирование, слияние, удлинение и преобразование. Также имеются возможности по валидации и верификации созданного.

Проверенные эффективные функции можно сочетать с новыми технологиями, такими как генеративный дизайн, дополненная реальность, моделирование в реальном времени, для ускорения итераций, сокращения расходов и повышения качества изделий.

Для проектирования очков рекомендуется использовать модуль FreeStyle, который позволяет создавать элементы свободной формы на основе параметров и управлять или параметрически.

Интерфейс приложения представлен на рисунке 2.5.

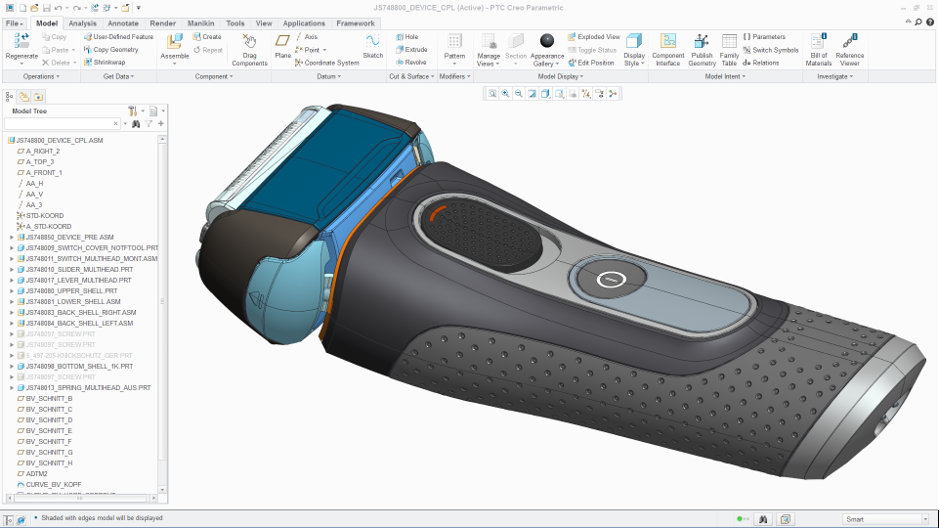


Рисунок 2.5 – Интерфейс приложения

# **3 Описание реализации**

## 3.1 Диаграмма классов

Диаграмма классов [7] – структурная диаграмма языка моделирования UML, демонстрирующая общую структуру иерархии классов системы, их коопераций, атрибутов (полей), методов, интерфейсов и взаимосвязей между ними.

На рисунке 3.1 представлена первоначальная UML-диаграмма, которая была построена до написания кода программы. На рисунке 3.2 представлена финальная UML-диаграмма для построения модели «Оправа для очков» в программе «Autodesk Inventor 2022».

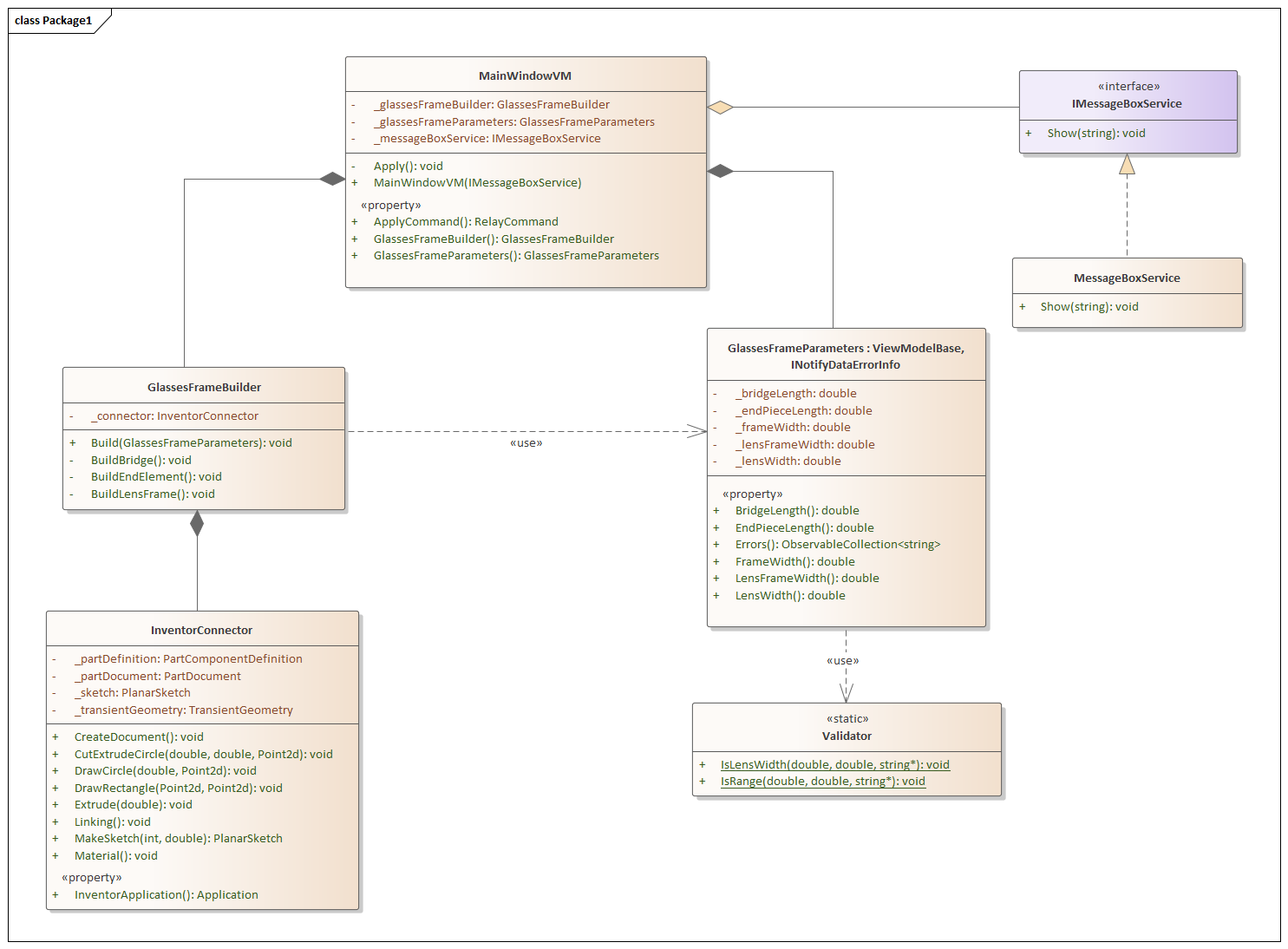


Рисунок 3.1 – Первоначальная UML-диаграмма

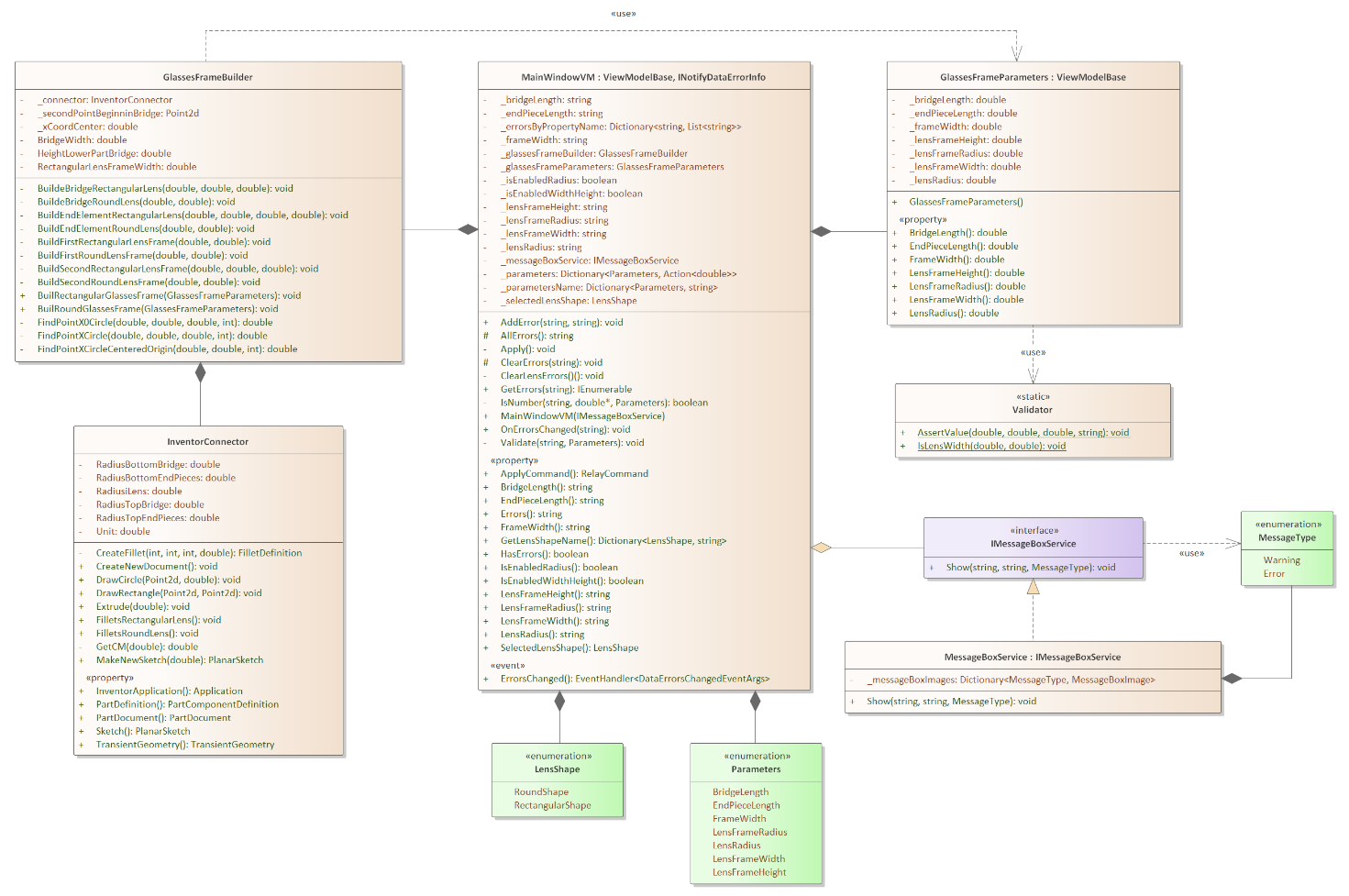


Рисунок 3.2 – Финальная UML-диаграмма

Для реализации плагина были спроектированы следующие классы:

1. InventorConnector – класс, обеспечивающий взаимодействие с необходимыми методами Inventor API.
2. GlassesFrameBuilder – класс, хранящий в себе методы построения модели.
3. GlassesFrameParameters – класс, хранящий в себе параметры модели.
4. MainWindowVM – класс, который связывает модель и представление через механизм привязки данных.
5. Validator – класс, которые хранит методы валидации.
6. IMessageBoxService – сервис для вызова диалогового окна, уведомляющего об ошибке. Реализация интерфейса находится в классе MessageBoxService.
7. MessageType – перечисление, хранящее в себе тип сообщений.
8. LensShape – перечисление, хранящее в себе форму линзы.
9. Parameters – перечисление, хранящее в себе параметры оправы для очков.

Основные отличия финальной версии UML-диаграммы от первоначальной заключаются в следующем:

1. Добавлена реализация смены формы линзы.
2. Добавлены иконки в окна сообщений.
3. Для удобства проведения валидации и изменения параметров было добавлено перечисление Parameters, хранящее в себе параметры оправы для очков.

# **4 Описание программы для пользователя**

Макет пользовательского интерфейса [8] – это визуальное статическое представление концепции интерфейса пользователя.

Макет пользовательского интерфейса для построения модели «Оправа для очков» в программе «Autodesk Inventor 2022» представлен на рисунке 4.1.

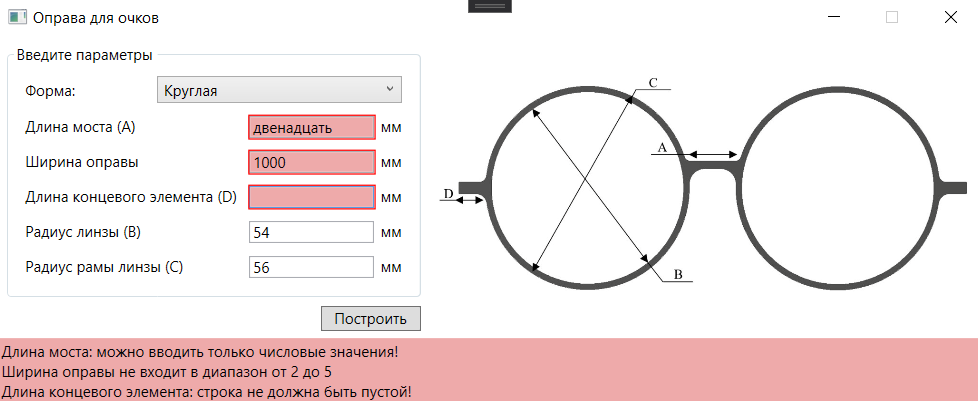


Рисунок 4.1 – Макет пользовательского интерфейса

Пользователь может сразу построить модель, используя изначально заданные параметры, или задать свои.

Поле, в которое пользователь вписывает значения подсветится красным цветом в следующих случаях:

1. Значение не входит в заданный диапазон.
2. Пользователь вводит не числовое значение.
3. Поле пустое.

Ошибки отображаются в строке состояния, которая находится ниже кнопки «Построить».

Если при возникших предупреждениях пользователь нажмет на кнопку «Построить», то появится окно с предупреждением об ошибке. На рисунке 4.2 представлено диалоговое окно с предупреждением об ошибке.

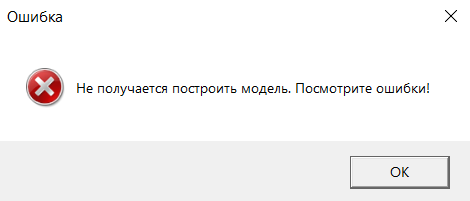


Рисунок 4.2 – Диалоговое окно с предупреждением об ошибке

В программе также присутствуют зависимые параметры: радиус линзы не может быть больше радиуса рамы линзы, если это условие будет нарушено, то пользователь увидит соответствующее сообщение в строке состояния, представленное на рисунке 4.3.

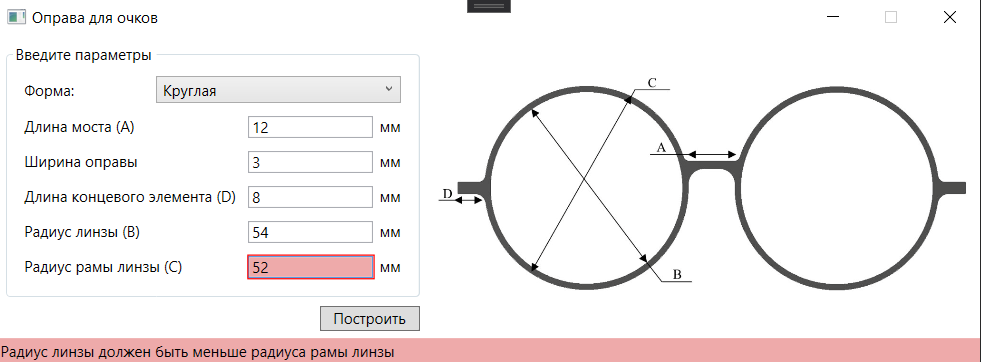


Рисунок 4.3 – Макет пользовательского интерфейса

# **5 Тестирование программы**

Тестирование позволяет выявлять ошибки в программе в процессе разработки и при выпуске промежуточных и финальных версий приложения.

## 5.1 Функциональное тестирование

При функциональном тестировании [9] проверялась корректность работы плагина «Оправа для очков», а именно соответствие полученного результата в виде трехмерной модели, с входными параметрами.

Проведем тестирование максимальных и минимальных параметров модули.

Минимальные параметры:

1. Длина моста = 10.
2. Ширина оправы = 2.
3. Длина концевого элемента = 6.
4. Радиус линзы = 48.
5. Радиус рамы линзы = 52.
6. Ширина рамы линзы = 48.
7. Высота рамы линзы = 30.

Максимальные параметры:

1. Длина моста =16.
2. Ширина оправы = 5.
3. Длина концевого элемента = 12.
4. Радиус линзы = 54.
5. Радиус рамы линзы = 58.
6. Ширина рамы линзы = 56.
7. Высота рамы линзы = 45.

Модель с минимальными параметрами представлена на рисунке 5.1.

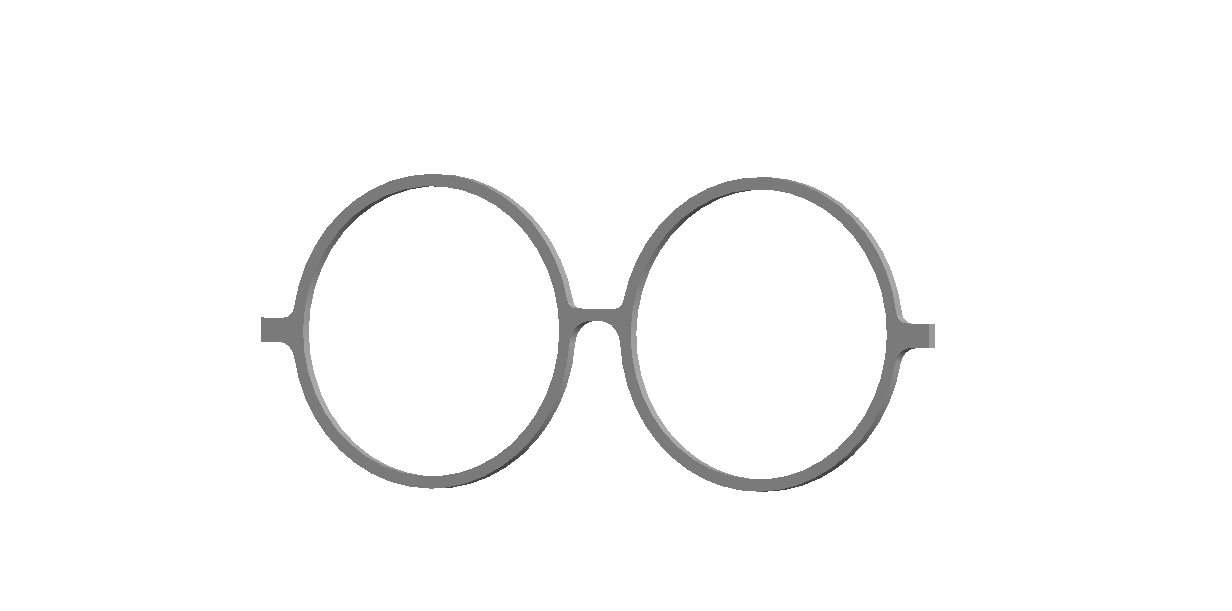


Рисунок 5.1 – Модель с минимальными параметрами

Модель с максимальными параметрами представлена на рисунке 5.2.

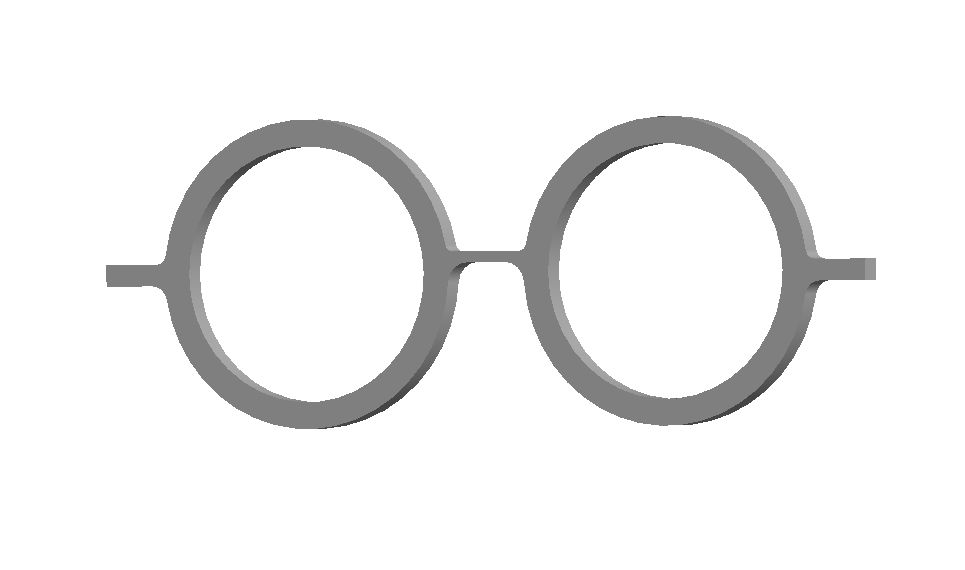


Рисунок 5.2 – Модель с максимальными параметрами

Проведем тестирование построения модели с прямоугольными линзами.

Модель с прямоугольными линзами с минимальными параметрами представлена на рисунке 5.3.

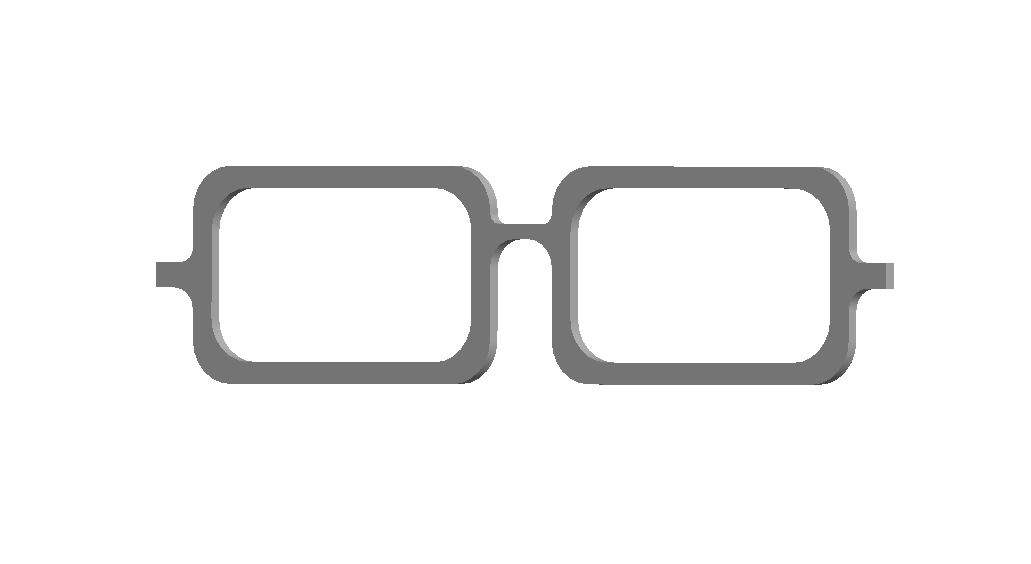


Рисунок 5.3 – Модель с прямоугольными линзами с минимальными параметрами

Модель с прямоугольными линзами с максимальными параметрами представлена на рисунке 5.4.

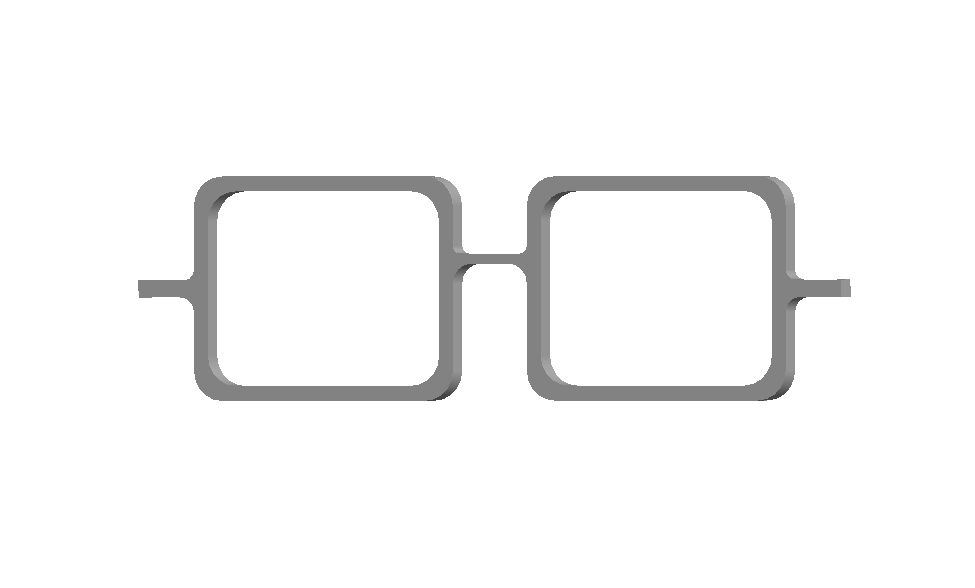


Рисунок 5.4 – Модель с прямоугольными линзами с максимальными параметрами

## 5.2 Модульное тестирование

В целях проверки корректности работы методов и свойств классов при помощи инструмента запуска тестов расширения ReSharper [10] было проведено модульное тестирование [11], проверялись открытые свойства и методы, для этого были создан тестовый класс UnitTesting:

* GlassesFrameParametersTest – класс, тестирующий свойства и методы класса GlassesFrameParameters.
* ValidatorTest – класс, тестирующий методы класса Validator.

Окно состояний запущенных тестов для класса GlassesFrameParametersTest изображен на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 – Окно состояний запущенных тестов для класса GlassesFrameParametersTest

Окно состояний запущенных тестов для класса Validator изображен на рисунке 5.6.

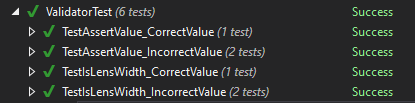


Рисунок 5.6 – Окно состояний запущенных тестов для класса Validator

## 5.3 Нагрузочное тестирование

В целях проверки производительности работы плагина, было проведено нагрузочное тестирование [12]. Для проведения нагрузочного тестирования был добавлен секундомер, который засекал время от начала построения, с каждым успешным построением модели производилась запись результатов в текстовый файл «log.txt».

Конфигурация ПК, на котором проводилось тестирование:

1. Центральный процессор AMD Ryzen 7 4800H.
2. ОЗУ: 16 ГБ.
3. Графический процессор объемом памяти 6 ГБ.

Тестирование проводилось в течение 1 часа и 55 минут, в течение которого происходило зацикленное построение 603 моделей со стандартными значениями параметров.

На рисунке 5.7 представлен график, где ось «X» – время, ось «Y» – количество построенных моделей.

Рисунок 5.7 – График зависимости времени от количество построенных моделей

Переход от экспоненциального к линейному росту обусловлен тем, что в начале проведения тестирования работы плагина компьютер не использовался и находился в энергосберегающем режиме. Затем пользователь начал взаимодействовать с компьютером и тот перешел в производительный режим. Сделан вывод о том, что построение моделей, когда компьютер находится в энергосберегающем режиме займет намного больше времени по сравнению с построением моделей в производительном режиме.

На рисунке 5.8 представлен график, где ось «X» – количество построенных моделей, ось «Y» – количество потребляемой оперативной памяти.

Рисунок 5.8 – График зависимости, потребляемой ОЗУ от количества построенных деталей

Исходя из графика, можно сделать вывод, что использование оперативной памяти, затрачиваемое программой, линейно увеличивается до окончания свободного места.

# **6 Заключение**

В ходе выполнения лабораторных работ были изучены предметная область проектирования, предмет проектирования, аналоги предмета проектирования, API и на основании полученных данных были спроектированы архитектура и макет системы, создан плагин «Оправа для очков», проведены модульные, функциональные и нагрузочные тесты.

# **Список литературы**

1. Autodesk Inventor [Электронный ресурс] https://www.autodesk.ru/products/inventor/new-features (дата обращения 24.10.2021).
2. Visual Studio 2019 Сommunity [Электронный ресурс] https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/community/ (дата обращения 24.10.2021).
3. Windows Presentation Foundation [Электронный ресурс] https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/designers/getting-started-with-wpf?view=vs-2022 (дата обращения 24.10.2021).
4. Rhinoceros 3d [Электронный ресурс] https://junior3d.ru/article/rhino-3d.html (дата обращения 24.10.2021).
5. NX [Электронный ресурс] https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/ (дата обращения 24.10.2021).
6. Программное обеспечение 3D CAD CREO Parametric (PTC CREO) [Электронный ресурс] https://junior3d.ru/article/creo.html (дата обращения 24.10.2021).
7. Разновидности UML диаграмм. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://forum.itvdn.com/t/urok-2-raznovidnosti-uml-diagramm/3315 (дата обращения 23.12.2021).
8. Как выглядит макет интерфейса? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://forum.itvdn.com/t/urok-2-raznovidnosti-uml-diagramm/3315 (дата обращения 23.12.2021).
9. Функциональное тестирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://qalight.ua/ru/baza-znaniy/funktsionalnoe-testirovanie/ (дата обращения 23.12.2021).
10. ReSharper [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetbrains.com/ru-ru/resharper/ (дата обращения 23.12.2021).
11. Модульное тестирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://logrocon.ru/news/unit\_testing (дата обращения 23.12.2021).
12. Нагрузочное тестирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.performance-lab.ru/blog/load-testing/testirovanie-proizvoditelnosti (дата обращения 23.12.2021).