Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННИКИ (ТУСУР)

Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП)

Разработка плагина «Мастер шестерёнок» для САПР «AutoCAD»

Пояснительная записка по дисциплине «Основы разработки САПР»

Выполнил:

Студент гр. 580-2

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г.П. Лубов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

Проверил:

доцент каф. КСУП

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.А. Калентьев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

Оглавление

[Введение 3](#_Toc154603034)

[1 ПОСТАНОВКА И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ 4](#_Toc154603035)

[2 ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ 5](#_Toc154603036)

[3 ВЫБОР ИНСТРУМЕНТОВ И СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ 6](#_Toc154603037)

[4 НАЗНАЧЕНИЕ ПЛАГИНА 8](#_Toc154603038)

[5 ОБЗОР АНАЛОГОВ 9](#_Toc154603039)

[6 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ 10](#_Toc154603040)

[7 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ 13](#_Toc154603041)

[8 ТЕСТИРОВАНИЕ ПЛАГИНА 15](#_Toc154603042)

[8.1 Функциональное тестирование 15](#_Toc154603043)

[8.2 Модульное тестирование 21](#_Toc154603044)

[8.3 Нагрузочное тестирование 22](#_Toc154603045)

[Заключение 26](#_Toc154603046)

[Список использованных источников 27](#_Toc154603047)

# 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.

Проектирование шестерёнок является трудоёмкой задачей ввиду большого количества моделируемых элементов. В данной работе рассматривается разработка плагина для системы автоматизированного проектирования (САПР) Autodesk AutoCAD, позволяющего автоматизировать проектирование шестерёнок.

# 1 ПОСТАНОВКА И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка плагина «Мастер шестерёнок» для системы автоматизированного проектирования (САПР) AutoCAD. Система должна быть выполнена в качестве встроенного плагина AutoCAD, который запускается непосредственно из САПР. У плагина должны быть изменяемые параметры: внешний диаметр шестерни, внутренний диаметр отверстия, толщина, высота зуба и количество зубъев. Все размеры должны указываться в системе СИ. В плагине должны проходить проверки значений, вводимых пользователем. Реализуемый плагин должен обеспечивать обработку ошибочных ситуаций, возникающих в процессе работы. При нажатии на кнопку «Построить» должна проходить проверка правильности ввода данных. Если данные некорректные, то под кнопкой построения в строке состояния должно появиться сообщение о том, какие параметры введены неверно, а также поля ввода для параметров должны подсветиться красным цветом.

В рамках проекта были поставлены задачи:

1. Составить ТЗ (25.09.2023 – 07.10.2023);
2. Составить проект системы (09.10.2023 – 20.11.2023);
3. Реализовать систему (21.11.2023 – 18.12.2023);
4. Реализовать дополнительную функциональность, выбранную преподавателем (18.12.2023 – 28.12.2023);
5. Написать пояснительную записку (18.12.2023 – 28.12.2023).

В результате анализа были отмечены следующие пункты:

* При написании плагина возникнет трудность с использованием AutoCAD API ввиду отсутствия обучающих материалов и опыта работы с ним;
* Есть вероятность столкнуться с технической сложностью моделирования большого количества зубъев через API;
* Ресурсоёмкость приложения может оказаться слишком большой ввиду моделирования большого количество твёрдых тел и произведении операций над ними.

# 2 ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Предметом проектирования является зубчатая прямозубая шестерня.

Параметры шестерни:

* Внешний радиус по вершинам D (1 — 1000 мм, но не менее d);
* Радиус посадочного отверстия d (1 — 999 мм, но не более, чем 9D/10);
* Толщина шестерни (1 — 1000 мм);
* Высота зуба h (0,1 — 999 мм, но не более, чем радиус посадочного отверстия);
* Количество зубъев (3 — 1000 штук).

На рисунке 1 показаны чертёж моделируемой шестерни.



Рисунок 1 – Чертёж шестерни

В качестве дополнительной функциональности были выбраны следующие пункты:

* Рефакторинг пользовательского интерфейса;
* Внедрение системы журналирования для приложения.

# 3 ВЫБОР ИНСТРУМЕНТОВ И СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ

В процессе разработки плагина использовались следующие технологии:

* Windows Presentation Foundation (WPF);
* Object ARX;
* StyleCop.

Windows Presentation Foundation (WPF) — это фреймворк для создания оконных приложений для Windows. Преимуществом данной технологии является встроенная поддержка высокоуровневого паттерна проектирования MVVM [].

В качестве платформы был использована .NET Framework. Платформа .NET Framework — это технология, которая поддерживает создание и выполнение веб-служб и приложений Windows [1].

Object ARX – это официальный API для системы автоматизированного проектирования AutoCAD. Написан на C++, но совместим с C#. Предоставляет классы и методы для построения моделей в приложении [2].

StyleCop – это инструмент статического анализа кода с открытым исходным кодом от Microsoft, который проверяет код C# на соответствие рекомендуемым стилям кодирования StyleCop и подмножеству руководящих указаний Microsoft по проектированию .NET Framework. Не позволяет скомпилировать приложение до тех пор, пока не будут соблюдены правила оформления кода [4].

# 4 НАЗНАЧЕНИЕ ПЛАГИНА

Данный плагин позволяет сократить трудоёмкость моделирования шестерёнок за счёт автоматизированного проектирования шестерёнок по определённым пользователем параметрам.

# 5 ОБЗОР АНАЛОГОВ

Среди прямых аналогов на сегодняшний день присутствую следующие решения:

* Цилиндрическое зубчатое зацепление – инструмент в программе Autodesk Inventor, позволяющий создавать зубчатые передачи ременного, цепного, червячного, цилиндрического и конического зацепления косозубого и прямозубого типов по заданным параметрам [3]. С помощью данного инструмента можно в автоматизированном режиме получить готовый узел зубчатой передачи по заданным параметрам. В данный момент данный программный продукт на территории РФ не распространяется. Пользовательский интерфейс инструмента представлен на рисунке 2.
* Autodesk Fusion 360 – система автоматизированного проектирования, включающая в себя модули автоматизированного геометрического моделирования, инженерных расчётов, производства, проектирования печатных плат и автоматизации формирования конструкторской документации. Преимуществом данного программного продукта является простой пользовательский интерфейс и возможность работы в облаке с конструкторской документацией [4]. С помощью данного программного продукта можно вручную создать модель шестерни. В данный момент этот программный продукт на территории РФ не распространяется. Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 3.;

Kompas-3D – система автоматизированного проектирования отечественной разработки, включающая в себя модули автоматизированного геометрического моделирования, инженерных расчётов, производства, проектирования печатных плат, автоматизации и формирования конструкторской документации [5]. Изначально система была ориентирована на создание конструкторской документации в соответствии с ЕСКД, ЕСТД, СПДС и международными стандартами. Преимуществом данного программного обеспечения является его доступность в РФ, в отличие от импортных САПР. С помощью данного программного продукта можно вручную создать модель шестерни. Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 4.

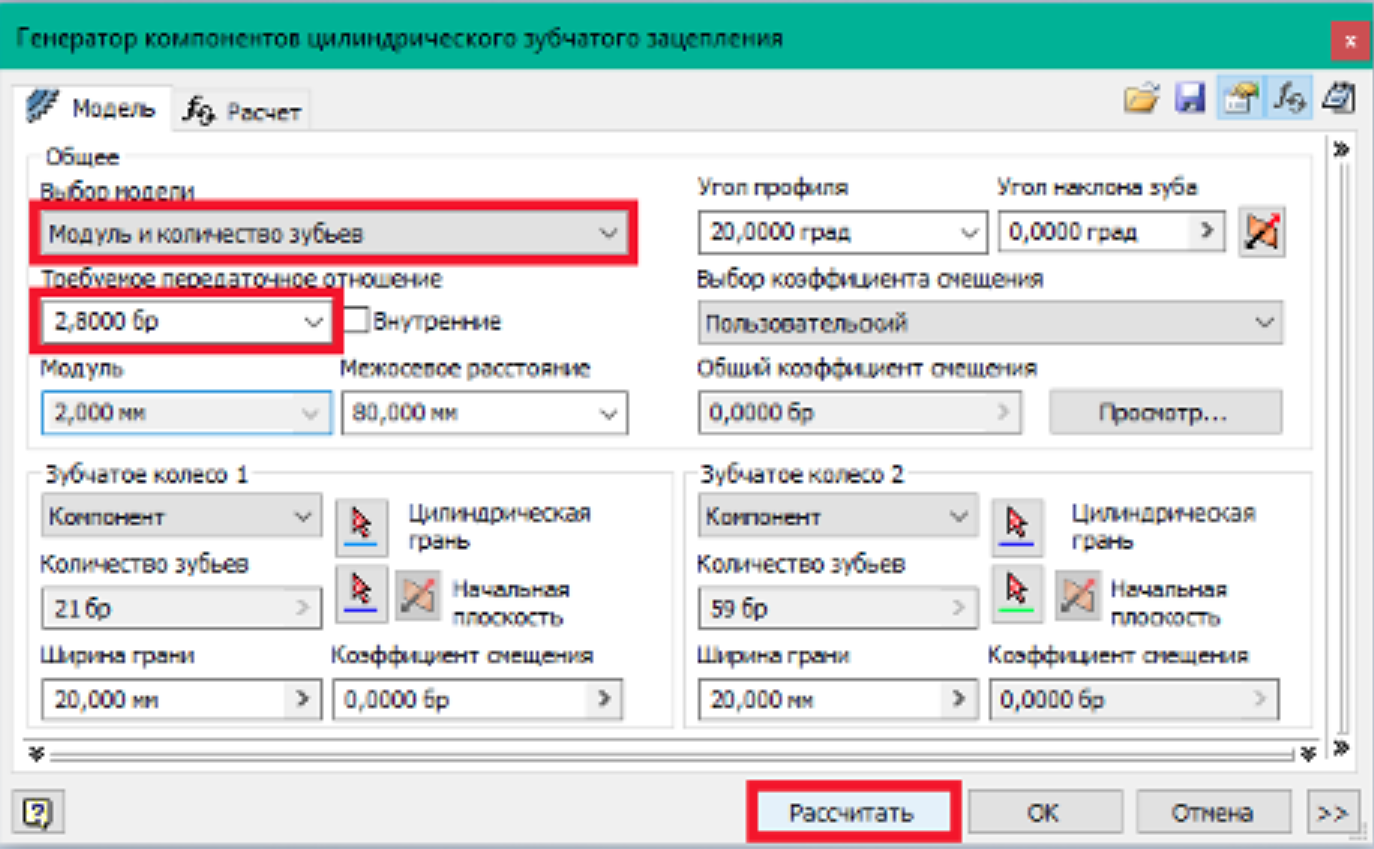


Рисунок 2 – Пользовательский интерфейс инструмента “Цилиндрическое зубчатое зацепление” в программе Autodesk Inventor

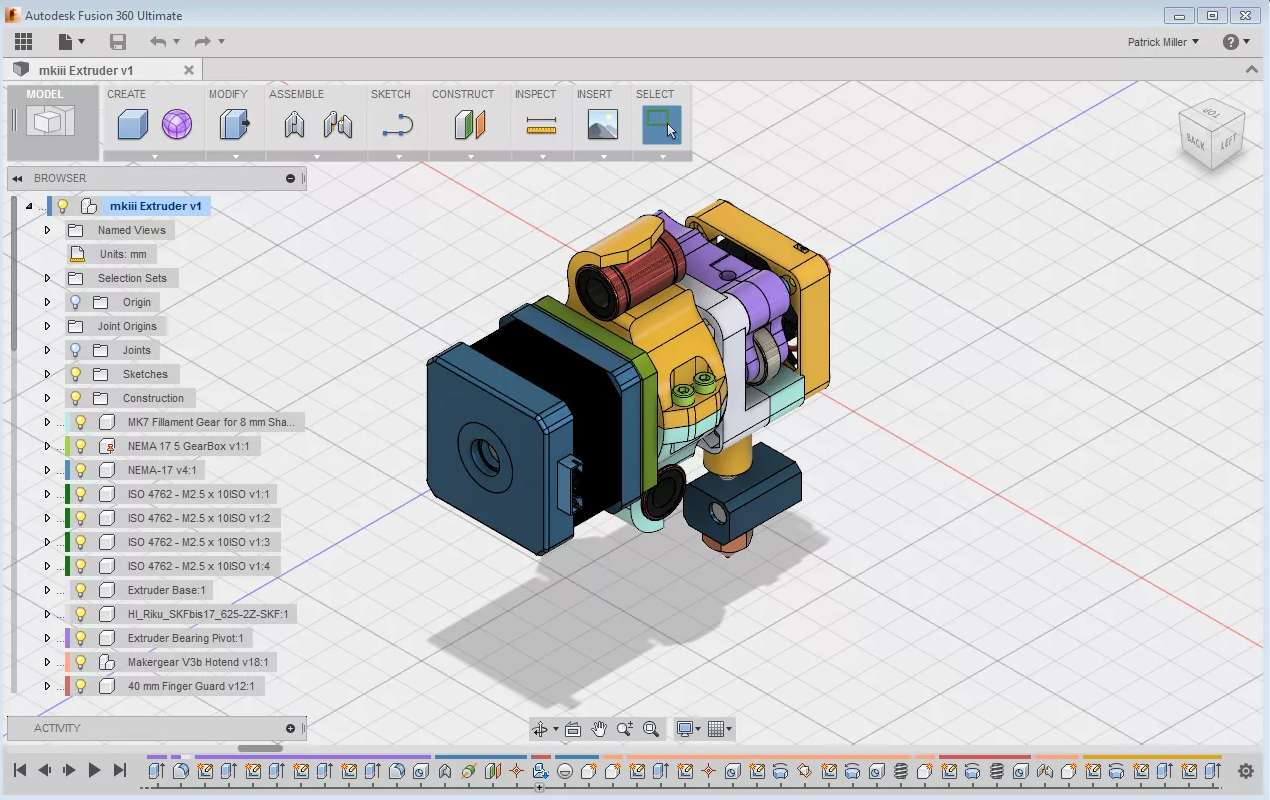


Рисунок 3 – Пользовательский интерфейс Autodesk Fusion 360

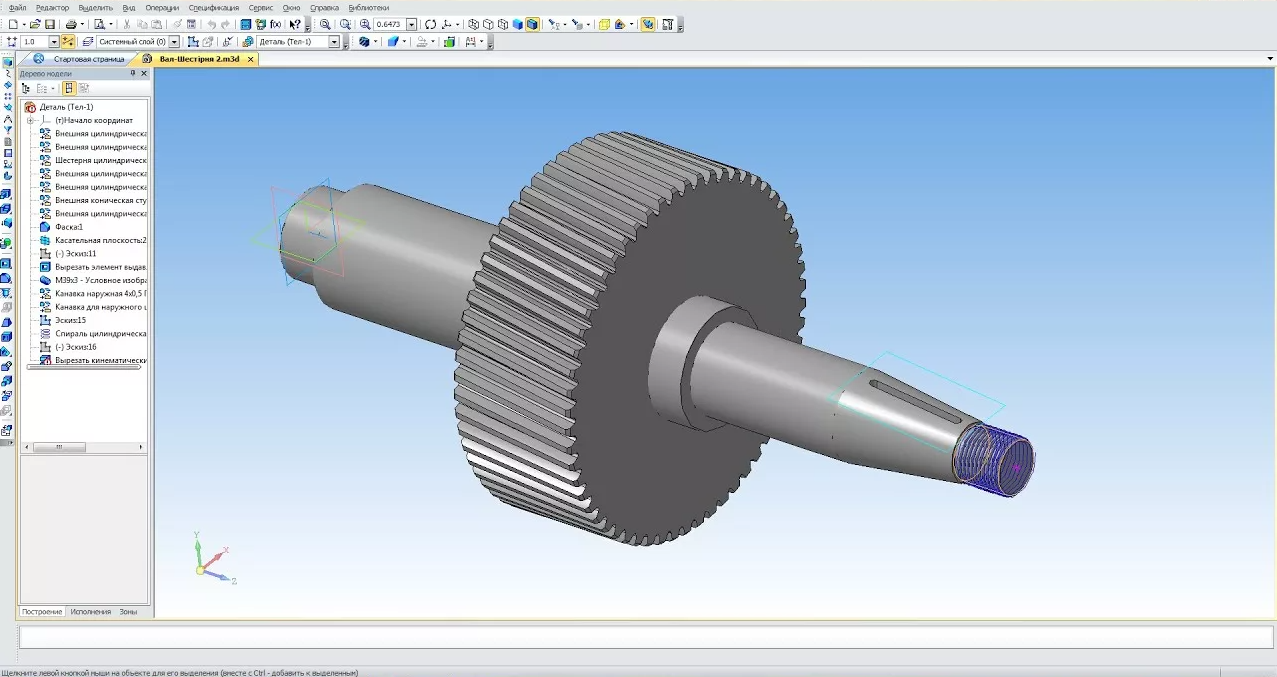


Рисунок 4 – пользовательский интерфейс Kompas-3D

# 6 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ

На рисунке 3 показана UML диаграмма классов после проектирования.

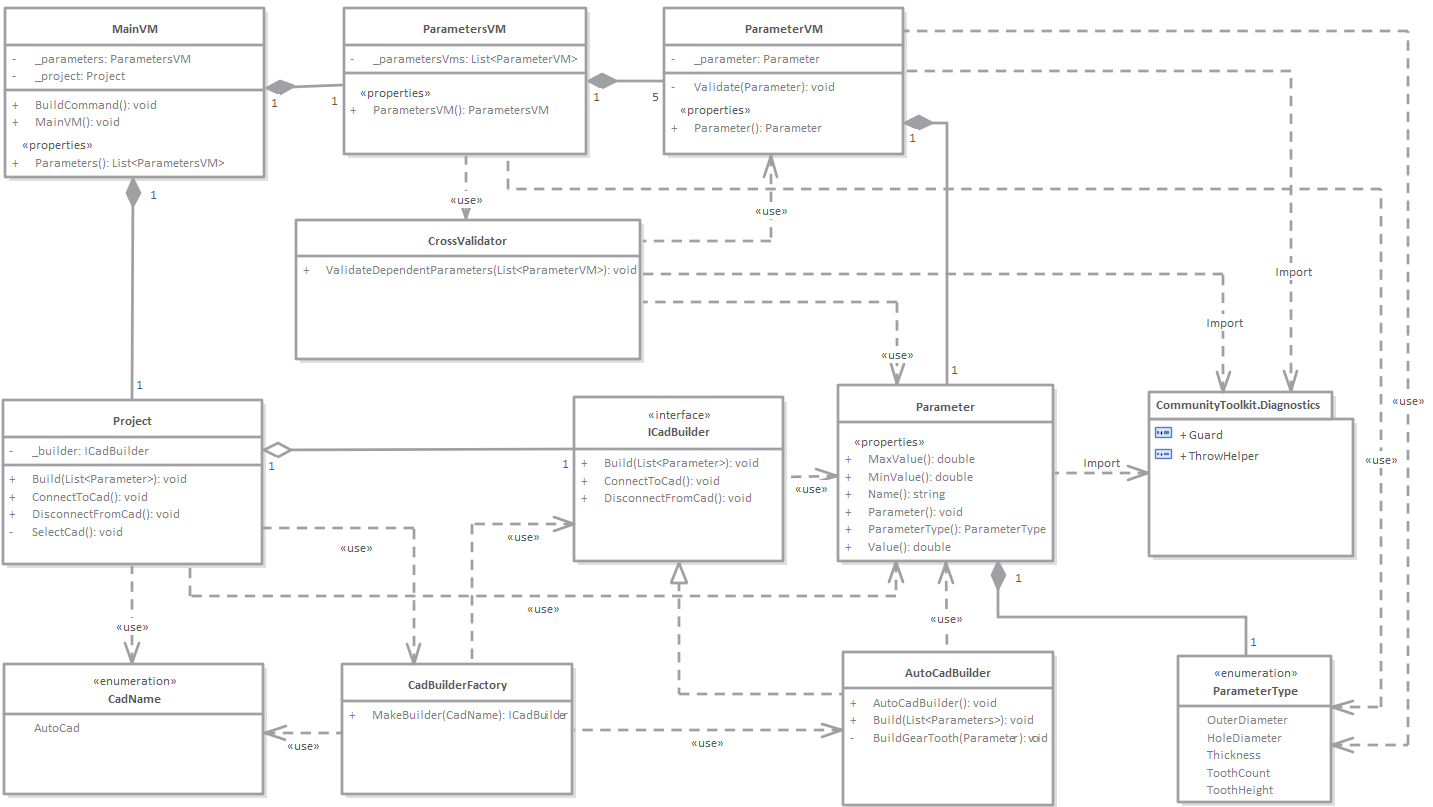


Рисунок 5 – UML диаграмма классов до реализации программы

На диаграмме представлены следующие классы:

* MainForm является главным элементом для обработки действий в графическом интерфейсе;
* Builder – выполняет построение детали;
* Wrapper – является классом-связующим звеном между плагином и самой САПР;
* Parameter – является классом для хранения числового значения и границ параметра;
* ParameterType – является перечислением названий параметров;
* Parameters – является словарём, хранящим все параметры.

В итоговом проекте созданы следующие и методы, которые отображены на итоговой диаграмме классов (рисунок 4).

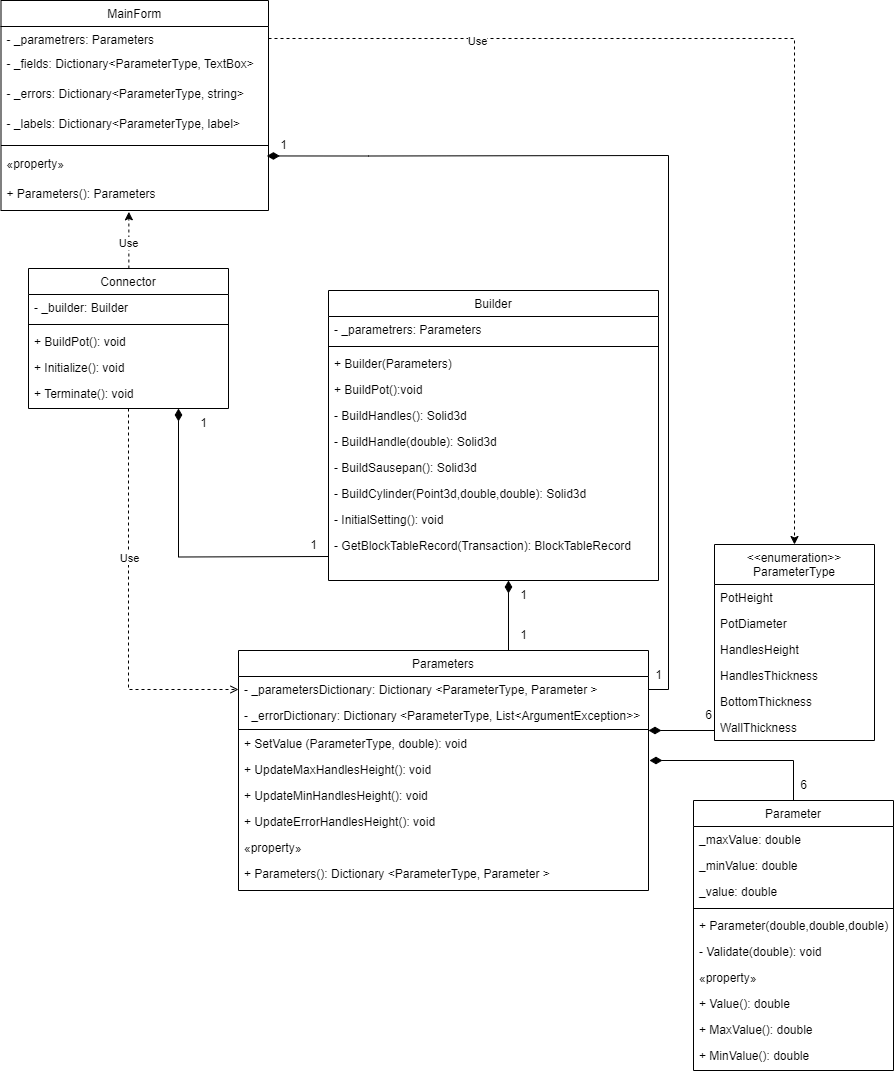


Рисунок 6 – UML диаграмма классов после реализации программы

При реализации системы были сделаны следующие архитектурные изменения:

1. Класс Wrapper переименован в Connector, так как Wrapper неправильно описывает функциональность данного класса. Класс просто открывает форму и не оборачивает никаких методов;
2. Было переименовано поле \_parameters в \_parametersDictionary, т.к. новое название точнее описывает объект;
3. Был добавлен словарь списков исключений для каждого параметра. Это необходимо для совместной обработки исключений, выбрасываемых при валидации вхождения параметра в допустимый диапазон, и исключений, выбрасываемых при валидации зависимых параметров;
4. Было добавлено событие HandleType, т.к с реализацией дополнительной функциональностью нужно следить за выбранным типом ручки;
5. Добавлен метод SetValue, присваивающий новое значение параметру и валидирующий это значение. Не реализован как свойство, т.к. в таком случае не была бы возможна валидация зависимых параметров.

# 7 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Для начала работы с плагином пользователь должен загрузить файл библиотеки коннектора c расширением “.dll”. После загрузки файла пользователю станет доступна команда “GearMaster”, которая запускает плагин.

После выполнения команды, открывается окно плагина с установленными по умолчанию значениями параметров и пользователю становится доступны поля для ввода данных. Пользовательский интерфейс плагина представлен на рисунке 7.

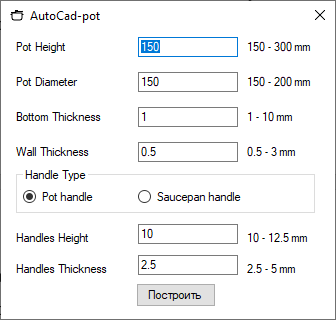


Рисунок 7 – Пользовательский интерфейс плагина

Пользовательский интерфейс плагина состоит из пяти параметров, доступных для ввода пользовательских данных, кнопки построения и строки состояния, которая сообщает о наличии ошибок пользовательского ввода.

В плагине реализована проверка пользовательского ввода на минимально и максимально допустимые значения параметров, а также перекрёстная проверка между параметрами.

При вводе некорректных пользовательских данных, соответствующие поля подсвечиваются красным цветом, а в строке состояния под кнопкой построения появляются сообщения об ошибках.

Если все данные были введены корректно, то при нажатии кнопки построения происходит построение модели в файле, из которого была загружена библиотека с плагином. Пользовательский интерфейс с неверно введёнными параметрами представлен на рисунке 8.

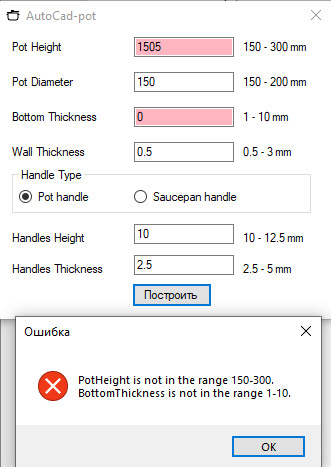


Рисунок 8 – Интерфейс с неверно введёнными параметрами

# 8 ТЕСТИРОВАНИЕ ПЛАГИНА

Тестирование позволяет убедиться в работоспособности программы, выявлять ошибки при изменении функциональности.

## 8.1 Функциональное тестирование

Вывод различных сообщений об ошибке показан на рисунках 7 – 9.

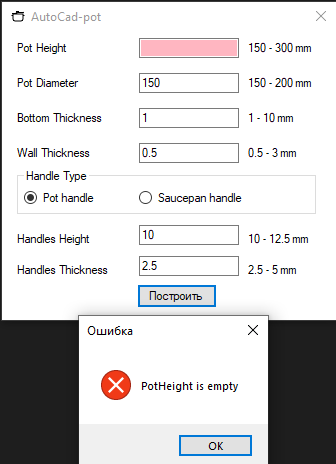


Рисунок 9 – Вывод сообщения при пустом текстовом поле

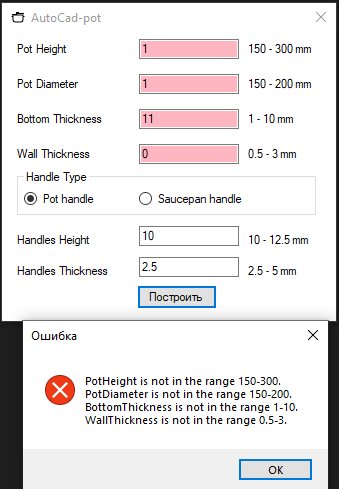


Рисунок 10 – Вывод сообщения при значениях, не входящих в допустимый диапазон

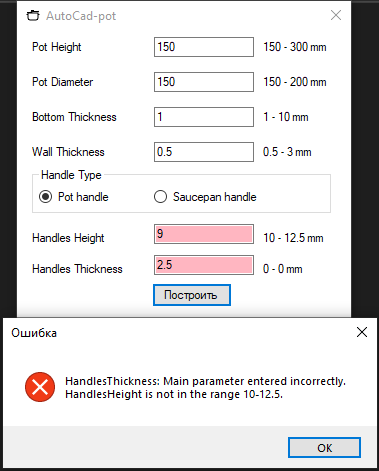


Рисунок 11 – Вывод сообщения при значениях, не подходящих условиям в созависимых полях

Минимальные значения

1. Высота кастрюли = 150 мм;
2. Диаметр Кастрюли = 150 мм;
3. Толщина дна = 1 мм;
4. Толщина стенок = 0.5 мм;
5. Толщина Ручек = 2.5 мм;
6. Высота ручек = 10 мм.

Максимальные значения:

1. Высота кастрюли = 300 мм;
2. Диаметр Кастрюли = 200 мм;
3. Толщина дна = 10 мм;
4. Толщина стенок = 3 мм;
5. Толщина Ручек = 10 мм;
6. Высота ручек = 20 мм.

При запуске программы значения параметров устанавливаются минимально допустимыми. На рисунках 10-11 представлены модели с минимально введёнными параметрами.

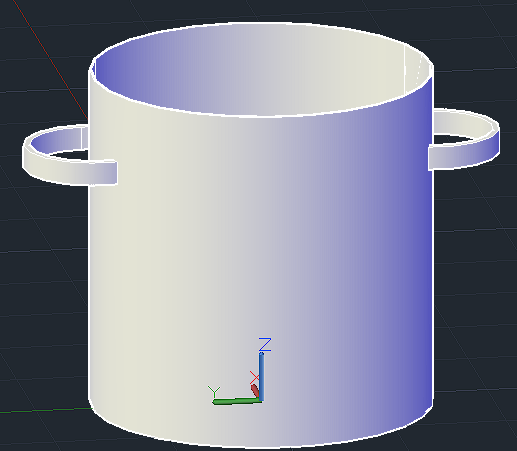


Рисунок 10 – Модель кастрюли с параметрами по умолчанию

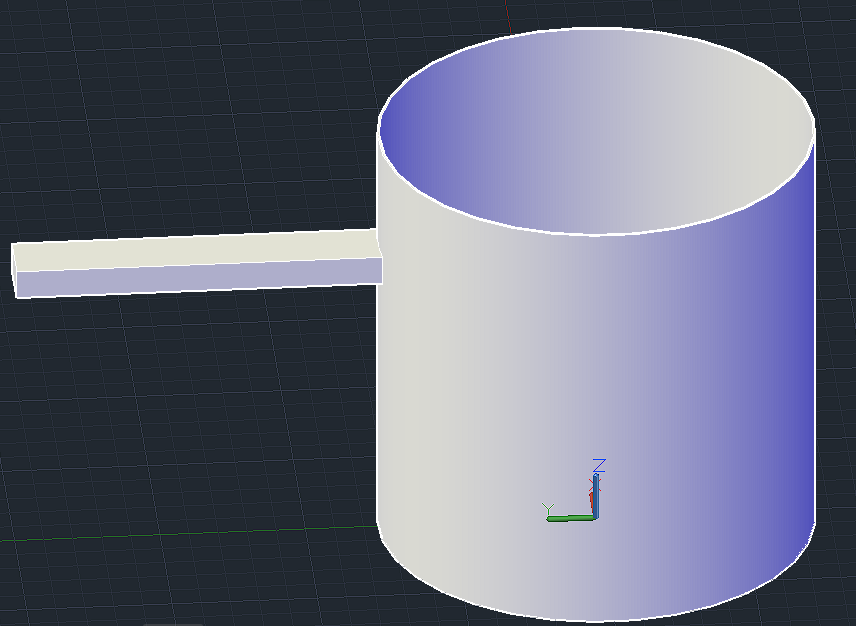


Рисунок 11 – Модель кастрюли с ручкой формы сотейника с параметрами по умолчанию

На рисунках 12-13 представлены модели с максимально введёнными параметрами.

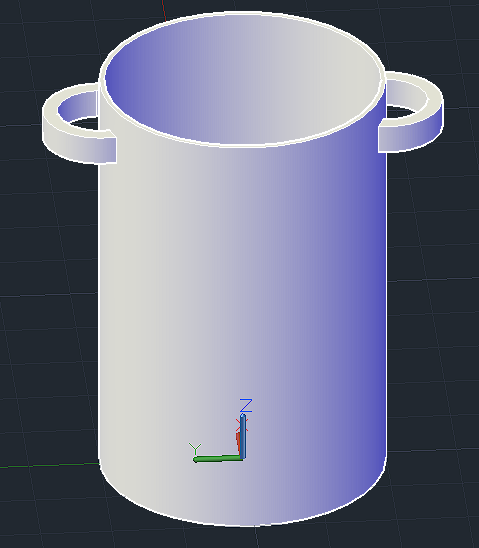


Рисунок 12 – Модель кастрюли с максимально введёнными параметрами

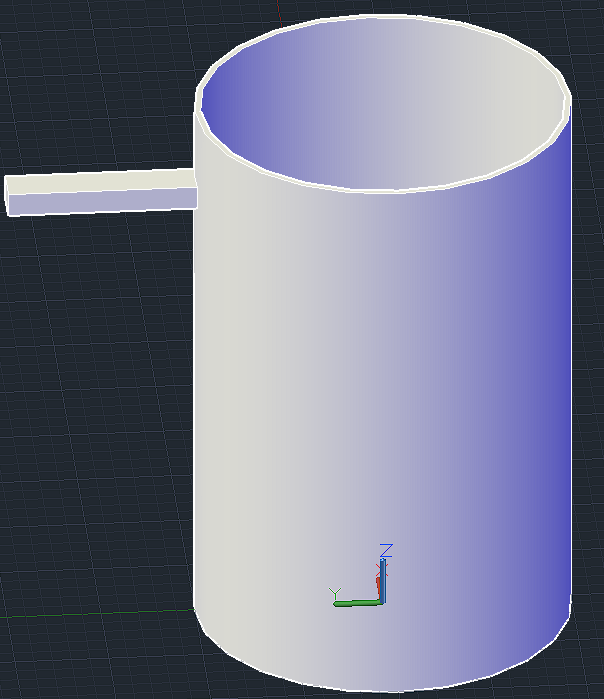


Рисунок 13 – Модель кастрюли с ручкой формы сотейника с максимально введёнными параметрами

## 8.2 Модульное тестирование

В целях проверки корректности работы методов и свойств классов при помощи фреймворка для модульного тестирования NUnit версии 3.13 было проведено модульное тестирование открытых свойств и методов. Были протестированы классы модели: Parameter, Parameters. Покрытие модели тестами составило 100%, что показано на рисунке 14.

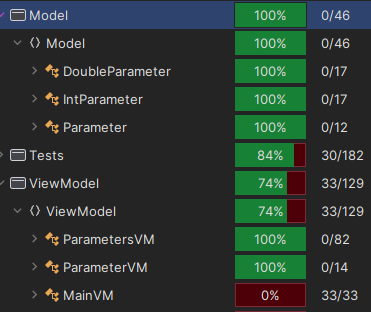


Рисунок 14 – Покрытие кода тестами

## 8.3 Нагрузочное тестирование

В целях проверки производительности работы плагина, было проведено нагрузочное тестирование. Тестирование производилось на ПК со следующей конфигурацией:

* Процессор AMD Ryzen 7 5800H 3.8 GHz;
* 16 ГБ ОЗУ;
* Операционная система Windows 11 домашняя x64;
* Видеокарта AMD Radeon Vega 8 graphics с объёмом памяти 2 ГБ.

Для нагрузочного тестирования был задан цикл построения детали. Для измерения времени был использован класс Stopwatch. Тестирование заключалось в построении шестерни со средними параметрами. На рисунке 15 и 16 показан результат данного тестирования.

Рисунок 15 – График зависимости времени построения от количества построенных моделей

Рисунок 16 – График зависимости загруженности памяти от количества построенных моделей

Тестирование длилось 37 минут, была построена 1000 моделей шестерней со средними параметрами. Исходя из графика, представленного на рисунке 12, можно увидеть линейное влияние каждой построенной модели на последующее моделирование. Также было решено провести второе нагрузочное тестирование, в процессе которого будут создаваться кастрюли с ручкой сотейника, в процессе построения которых используется меньше операций.

Тестирование длилось 4 минут, было построено две тысячи моделей кастрюли со стандартными параметрами и ручкой сотейника. Исходя из графиков тестирования 14 и 15, можно выделить увеличение затрачиваемой памяти на построение деталей до достижения максимального занимаемого объема, после которого скорее всего началась использование файлов подкачки и работа алгоритмов оптимизации. Также можно заметить меньший максимум затрачиваемой памяти и времени по сравнению с построением кастрюль со стандартными ручками.

# Заключение

В процессе разработки приложения был создан плагин, позволяющий создавать 3D-модели шестерней в САПР Autodesk AutoCAD.

Для разработки были изучены новые библиотеки: StyleCop.

При написании плагина мной был получен опыт использования новых библиотек, проведения нагрузочного тестирования и разработки дополнительной функциональности по требованию заказчика.

# Список использованных источников

1. Microsoft Learn [электронный ресурс]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-8.0>
2. Приложения ObjectARX. [Электронный ресурс]: официальный сайт Autodesk AutoCAD 2024. URL: <https://help.autodesk.com/view/OARX/2024/RUS/?guid=GUID-3FF72BD0-9863-4739-8A45-B14AF1B67B06>.
3. ReSharper: расширение Visual Studio для .NET-разработчиков от JetBrains. [Электронный ресурс]: официальный сайт JetBrains. URL: [https://www.jetbrains.com/ru-ru/resharper/](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.jetbrains.com%2Fru-ru%2Fresharper%2F&cc_key=).
4. StyleCop. [Электронный ресурс]: официальный маркетплейс Visual Studio. URL: [https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ChrisDahlberg.StyleCop](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fmarketplace.visualstudio.com%2Fitems%3FitemName%3DChrisDahlberg.StyleCop&cc_key=).
5. Autodesk Appstore [электронный ресурс]. – URL: <https://apps.autodesk.com/ACD/ru/Detail/Index?id=5237307566585001661&appLang=en&os=Win32_64>