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)

Разработка плагина «Волновод» для САПР «КОМПАС-3D» v.20

Пояснительная записка по дисциплине

«Основы разработки САПР» (ОрСАПР)

Выполнил:

Студент гр.588-3

\_\_\_\_\_\_\_Белоус Г.В.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

Руководитель:

к.т.н., доцент

каф. КСУП

\_\_\_\_\_\_\_Калентьев А.А.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

**РЕФЕРАТ**

Лабораторная работа 32 с., 19 рис., 10 источников.

Ключевые слова: КОМПАС-3D, VISUAL STUDIO, C#, КОМПАС API, ПЛАГИН, САПР.

Целью данной работы является разработка плагина для автоматизации проектирования модели волновода.

Результатом работы является плагин, осуществляющий построение волновода по заданным пользователям параметрам.

Пояснительная записка выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

Содержание

[1 Введение 4](#_Toc92149091)

[2 Описание API 5](#_Toc92149092)

[3 Обзор аналогов 11](#_Toc92149093)

[4 Описание предмета проектирования 13](#_Toc92149094)

[4.1 Выбор инструментов и средств реализации 15](#_Toc92149095)

[4.2 Назначение плагина 15](#_Toc92149096)

[5 Описание реализации 16](#_Toc92149097)

[5.1 Диаграмма классов 16](#_Toc92149098)

[6 Описание программы для пользователя 19](#_Toc92149099)

[7 Тестирование плагина 22](#_Toc92149100)

[7.1 Функциональное тестирование 22](#_Toc92149101)

[7.2 Модульное тестирование 24](#_Toc92149102)

[7.3 Нагрузочное тестирование 26](#_Toc92149103)

[Заключение 30](#_Toc92149104)

[Список использованных источников 31](#_Toc92149105)

# 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. Она позволяет значительно повысить точность расчетов, выбрать наилучшие варианты для реализации на основе строгого математического анализа всех или большинства вариантов проекта с оценкой технических, технологических и экономических характеристик производства и эксплуатации проектируемого объекта, значительно повысить качество конструкторской документации, существенно сократить сроки проектирования и передачи конструкторской документации в производство, эффективнее использовать технологическое оборудование с программным управлением [1].

Таким образом, целью данной работы является разработка плагина, автоматизирующего построение модели «Волновод» для системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D 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.

# Описание API

Аббревиатура ***API*** расшифровывается как «Application Programming Interface» (интерфейс программирования приложений, программный интерфейс приложения). [4]

Сегодня встречаются задачи, решение которых не реализованы в CAD-системах. Чаще всего это очень узкоспециализированные задачи, которые встречаются на каком-то конкретном предприятии или подотрасли. Для решения подобных задач и их автоматизации используется API.

***API КОМПАС-3D*** — это ориентированные на прикладного программиста инструментальные средства разработки приложений (библиотек конструктивов, прикладных САПР) на базе системы КОМПАС. API КОМПАС-3D включает в свой состав API 5 и API 7.

Главным интерфейсом API системы КОМПАС является ***KompasObject.***[5] Методы этого интерфейса, реализуют наиболее общие функции работы с документами системы, системными настройками, файлами, а также дают возможность получить указатели на другие интерфейсы (интерфейсы динамического массива, работы с математическими функциями, библиотек моделей или фрагментов и различных структур параметров определенного типа).

Ниже в таблице 1.1 представлены основные свойства и методы интерфейса KompasObject.

Таблица 1.1 – Методы и свойства интерфейса KompasObject

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Входные параметры | Тип возвращаемых данных | Описание |
| Document3D() |  | ksDocument | Метод для получения указателя на интерфейс трехмерного графического документа (детали или сборки) |

Продолжение таблицы 1.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Входные параметры | Тип возвращаемых данных | Описание |
| GetParamStruct(short structType) | structType – тип интерфейса параметров | StructType2D | Метод для получения указателя на интерфейс графического документа (чертежа или фрагмента) |
| Visible |  | bool | Свойство видимости приложения |
| Quit() |  |  | Метод для закрытия активного окна приложения |

В таблице 1.2 представлены методы интерфейса ksEntity, необходимые для разработки плагина.

Таблица 1.2 – Методы интерфейса ksEntity

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Тип возвращаемых данных | Описание |
| Create() | bool | Создать объект в модели |
| GetDefinition() | IUnkown | Получить указатель на интерфейс параметров объектов и элементов |
| Update() | bool | Изменить свойства объекта (используя ранее установленные свойства) |
| NewEntity (short objType) | указатель на интерфейс ksEntity или IEntity. | Реальный объект создается в модели после вызова метода [Create](mk:@MSITStore:D:\KOMPAS\SDK\SDK.chm::/ksEntity_Create.htm). |

В таблице 1.3 представлены свойства и методы интерфейса ksDocument2D, необходимые для разработки плагина.

Таблица 1.3 – Методы интерфейса ksDocument2D

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Входные параметры | Тип возвращаемых данных | Описание |
| ksRectangle(  ksRectangleParam param, int style) | param – параметры прямоугольника.  style – стиль линии. | int | Получить указатель на прямоугольник на двумерной плоскости либо 0 в случае ошибки |
| ksCircle(  double xc, double yc, double rad, int style) | xc, yc – координаты центра окружности.  rad – радиус окружности.  style – стиль линии. | int | Получить указатель на окружность на двумерной плоскости либо 0 в случае ошибки |

В таблице 1.4 представлены свойства и методы интерфейса ksDocument3D, необходимые для разработки плагина.

Таблица 1.4 – Методы интерфейса ksDocument3D

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название | Входные параметры | Тип возвращаемых данных | Описание | |
| Create (bool invisible, bool \_typeDoc) | invisible – признак режима редактирования документа (true – невидимый режим, false –  видимый режим), typeDoc – тип документа (true – деталь, false – сборка). | bool | Создать документ-модель (деталь или сборку) | |
|  | |  |
| GetPart(int type) | type – тип компонента из перечисления Типы компонентов. | ksPart | | Получить указатель на интерфейс компонента в соответствии с заданным типом |

В таблице 1.5 представлены методы интерфейса ksPart, необходимые для разработки плагина.

Таблица 1.5 – Свойства и методы интерфейса ksPart.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Входные параметры | Тип возвращаемых данных | Описание |
| EntityCollection(short objType) | objType – тип объектов, содержащихся в массиве. | ksEnintyCollection | Формирует массив объектов и возвращает указатель на его интерфейс |
| GetDefaultEntity(short objType) | objType – тип объекта | ksEntity | Получить указатель на интерфейс объекта, создаваемого системой по умолчанию |
| GetPart(int type) | Type – тип компонента | ksPart | Получить указатель на интерфейс компонента в соответствии с заданным типом |
| NewEntity(short objType) | objType – тип объекта | ksEntity | Создать новый интерфейс объекта и получить указатель на него |

В таблице 1.6 представлены типы объектов документа-модели, необходимые для разработки плагина.

Таблица 1.6 – Некоторые типы объектов документа-модели

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Идентификатор объекта | Название объекта | Интерфейс параметров |
| o3d\_unknown | Неизвестный (включает все объекты) |  |
| o3d\_planeXOZ | Плоскость XOZ | ksPlaneParam |
| o3d\_planeYOZ | Плоскость YOZ | ksPlaneParam |
| o3d\_planeXOY | Плоскость XOY | ksPlaneParam |
| o3d\_sketch | Эскиз | ksSketchDefinition |
| o3d\_face | Грань | ksFaceDefinition |
| o3d\_bossExtrusion | Приклеивание выдавливанием | ksBossExtrusionDefinition |
| o3d\_cutExtrusion | Вырезать выдавливанием | ksCutExtrusionDefinition |
| o3d\_fillet | Операция "скругление" | ksFilletDefinition |
| o3d\_edge | Ребро | ksEdgeDefinition |
| o3d\_planeOffset | Смещённая плоскость | ksPlaneOffsetDefinition |

# Обзор аналогов

**Пакет μWave Wizard**

Пакет μWave Wizard представляет собой специализированное программное обеспечение для проектирования СВЧ устройств, использующее метод согласованных мод (Mode-Matching), который наилучшим образом подходит для моделирования и оптимизации пассивных СВЧ устройств и антенн. Метод согласованных мод и его производные (быстрые гибридные методы граничного контура (MM / boundary contour) и конечных элементов (MM / finite-element method) обеспечивают непревзойденную скорость и точность вычислений для этих задач. [3]

Секрет быстродействия пакета μWave Wizard кроется в использовании метода согласованных мод (Mode-Matching) и его производных для анализа сложных трехмерных структур, где на первый взгляд, избежать полного 3D EM анализа невозможно. Тем не менее, для структур с очень сложной геометрией в пакете μWave Wizard сейчас реализован 3D FEM вычислитель, обеспечивающий ряд функциональных возможностей недоступных в методе согласованных мод (MM).

Мощный набор численных методов, реализованных в пакете μWave Wizard, дополняется простым и эргономичным пользовательским интерфейсом, обеспечивающим требуемую гибкость и открытость. Дальнейшее развитие пакета предполагает последовательную реализацию последних теоретических и математических подходов анализа СВЧ устройств.

Типичными приложениями для программы μWave Wizard являются пассивные волноводные структуры и компоненты, такие как волноводные и комбинированные фильтры, мультиплексоры, ответвители, переходы, рупорные антенны, кластерные фидерные системы, поляризаторы, мосты и многое другое. Библиотеки программы объединяют свыше 230 различных волноводных, комбинированных и коаксиальных элементов.

Интерфейс пакета показан на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 — Интерфейс пакета **μWave Wizard**

# Описание предмета проектирования

Предметом проектирования является волновод.

Волновод являются полезным и функциональным каналом для распространения волны, широко применяющиеся в разных областях техники.[4]

Волноводы служат для передачи энергии в СВЧ трактах (например, от передатчика к антенне). Такой тракт обычно состоит из различных (по форме и размерам) радиволноводов, угловых изгибов и пр. Для сочленения радиоволноводов разных поперечных сечений применяются плавные волноводные переходы с переменным сечением (например, рупорный переход).

Под желание заказчика в волноводе могут изменять параметры, приведенные ниже:

1. A — диаметр отверстий в креплениях 3.5 до 4.8 мм;
2. B — радиус фаски креплений от 1 до 7 мм;
3. C — высота креплений от 65 до 100 мм;
4. D — ширина креплений от 80 до 150 мм;
5. E — толщина креплений от 10 до 20 мм;
6. F — длина волновода от 300 до 1000 мм;
7. G — ширина сечения от 30 до 100 мм;
8. O — толщина стенки сечения от 5 до 10 мм;
9. K — высота сечения от 15 до 25 мм;
10. H — расстояние от угла сечения до отверстия в креплении от 20 до 50 мм.

Плагин имеет следующие зависимости:

1. Ширина креплений D должна быть строго на 50 мм больше ширины сечения G;

2. Высота креплений C должна быть строго на 50 мм больше высоты сечения K;

3. Ширина сечения G должна быть в два раза больше высоты сечения K.

На рисунке 4.1 показан общий вид волновода:

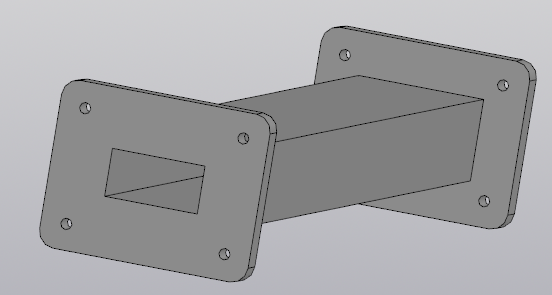


Рисунок 4.1 – Общий вид волновода

На рисунках 4.2 и 4.3 представлены передний и верхний вид волновода с указанными параметрами:



Рисунок 4.2 – Вид спереди



Рисунок 4.3 – Вид сверху в разрезе

## 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 [2], библиотека «Kompas6API5» [5] для основных операций в САПР КОМПАС-3D.

Инструментом тестирования и создания модульных тестов был выбран тестовый фреймворк NUnit [6] версии 3.13.2.

Технология разработки графического интерфейса: Windows Forms [7].

## Назначение плагина

Назначение разрабатываемого плагина обусловлено быстрым моделированием волновода, с разной длиной и размером сечения. Благодаря данному расширению, проектировщики могут наглядно рассмотреть спроектированную модель, при необходимости перестроить под необходимые им параметры.

# Описание реализации

Для графического описания абстрактной модели проекта, а также пользовательского взаимодействия (сценарии действия) использован стандарт UML.

UML язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения. UML является языком широкого профиля, это – открытый стандарт, использующий графические обозначения для создания абстрактной модели системы, называемой UML – моделью. UML был создан для определения, визуализации, проектирования и документирования, в основном, программных систем. UML не является языком программирования, но на основании UML возможна генерация кода и наоборот. [8]

При использовании UML были простроена диаграмма классов.

## Диаграмма классов

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

На рисунке 5.1 представлена изначальная диаграмма классов.

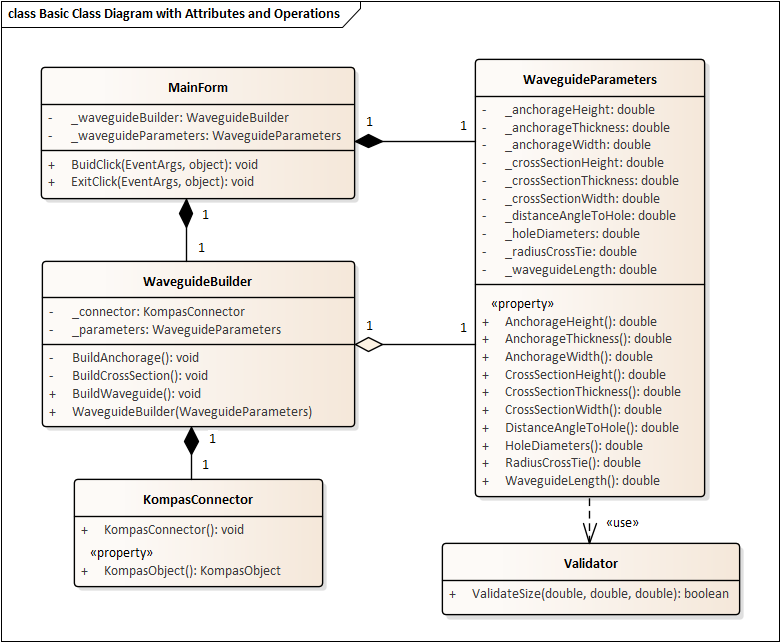


Рисунок 5.1 – Изначальная диаграмма классов

* MainForm является главным элементом управления для обработки действий в графическом интерфейсе;
* WaveguideBuilder – выполняет построение детали;
* WaveguideParameters – содержит в себе параметры волновода, которые проверяются на правильность с помощью класса Validator;
* Validator – имеет метод для сравнивания параметра с максимальным и минимальным доступным значением;
* KompasConnector – класс связи с КОМПАС – 3D.

В итоговом проекте созданы следующие классы и методы, которые отображены на итоговой диаграмме классов (рисунок 5.2).

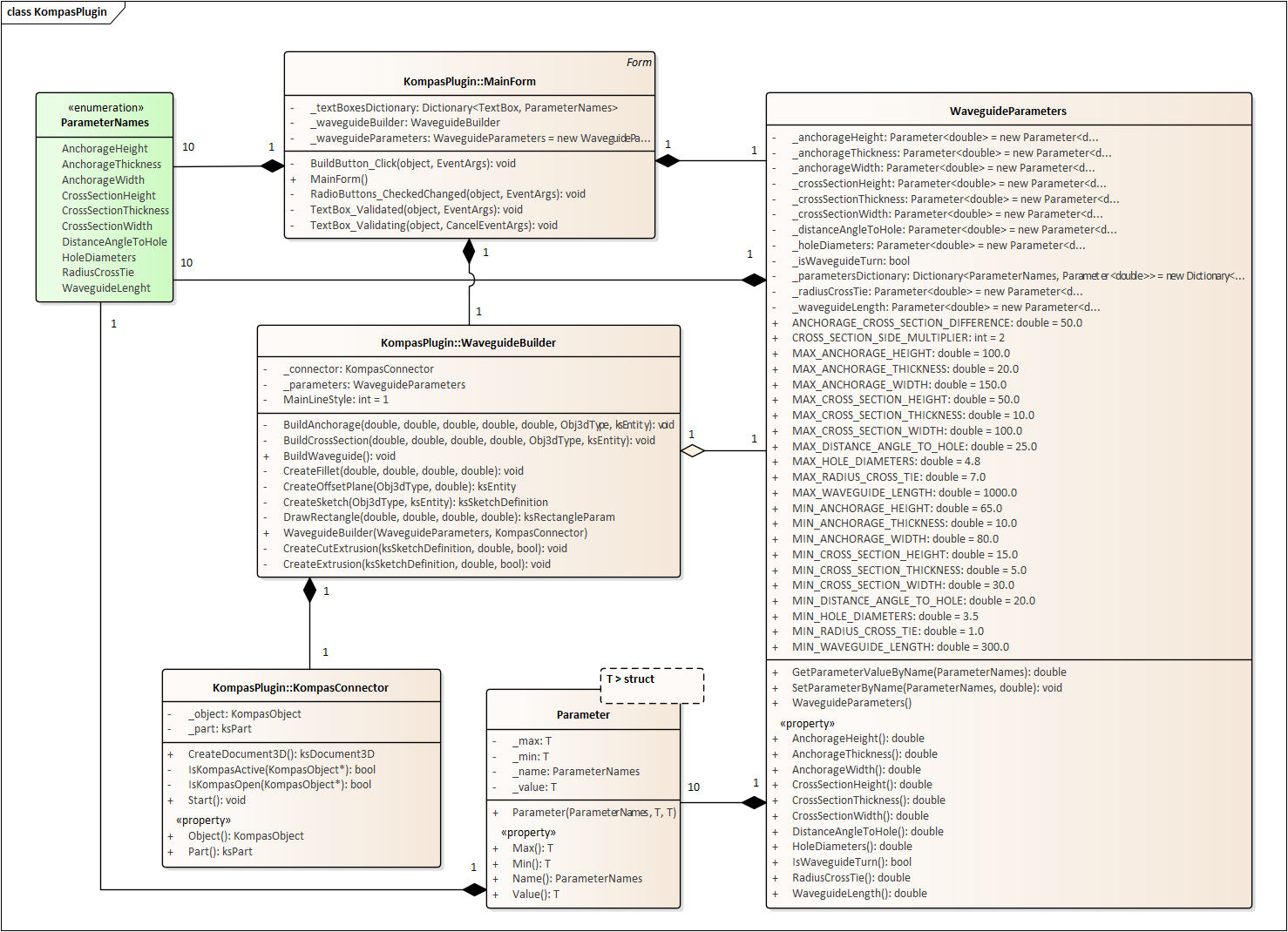


Рисунок 5.2 – Итоговая диаграмма классов

В процессе разработки была переосмыслена изначальная диаграмма классов, в результате чего:

* Решено было не реализовывать класс Validator, так как проверка параметров в заданном диапазоне осуществляется в шаблонном классе Parameter, а проверка зависимых параметров дополнительно проводится в свойстве каждого из них;
* Был разработан шаблонный класс для удобства проверки и задания граничных значений каждого параметра, валидации значения заносимого в параметр, а также формирование сообщения об ошибках ввода;
* Так же было решено отказаться от задания имени в строковом формате, вместо этого было создано перечисление ParameterNames, что предотвратит ошибок при поиске и занесения значений в параметры;
* Константы минимальных и максимальных значений параметров были занесены в поля класса WaveguideParameters для удобства и доступности их значений в пользовательском коде, так же в нескольких классах был использован Ассоциативный массив для уменьшения дублирования кода и упрощения передачи значений параметров.

# Описание программы для пользователя

Пользовательский интерфейс состоит из окна, в котором вводятся данные для построения волновода. Если все данные были введены корректно, то при нажатии кнопки «Построить» происходит построение модели. При наличии ошибок в вводе параметров построение не произойдет и пользователю выведется сообщение об ошибке.

Так же под списком параметров расположен переключатель выбора необходимой формы волновода.

На рисунке 6.1 представлен макет интерфейса программы.

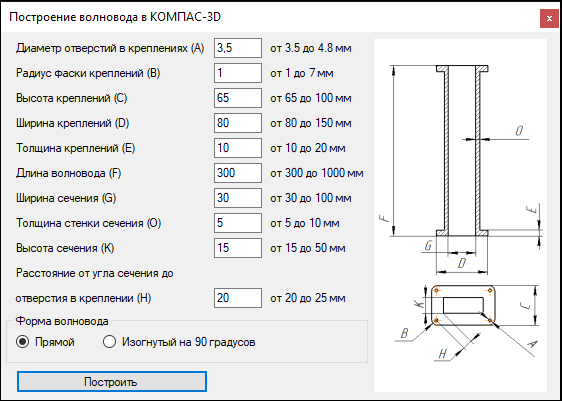


Рисунок 6.1 – Пользовательский интерфейс

Если ввести неверные параметры, то кнопка «Построить» будет заблокирована для нажатия, а поля с неправильными данными будут выделены красным цветом и при наведении на них курсором мыши будет появляться сообщение с описанием ошибки. На рисунке 6.2 представлен макет интерфейса с некорректно введенными данными.

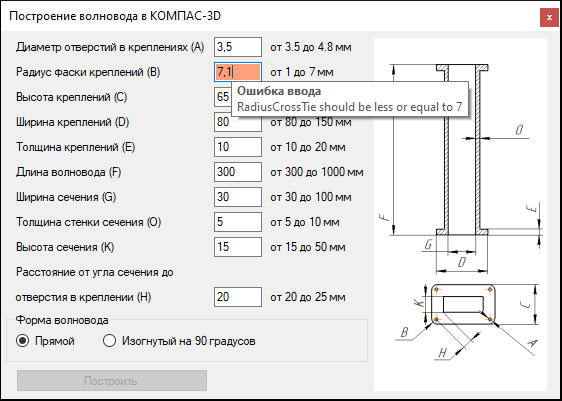


Рисунок 6.2 – Макет интерфейса с неверно введенными данными

После ввода корректных параметров кнопка «Построить» будет снова доступна и при ее нажатии будет построена модель волновода.

Волновод, построенный по заданным параметрам по умолчанию представлен на рисунке 6.3



Рисунок 6.3 – Модель волновода, построенная

по параметрам по умолчанию

Модель изогнутого волновода представлена на рисунке 6.4.

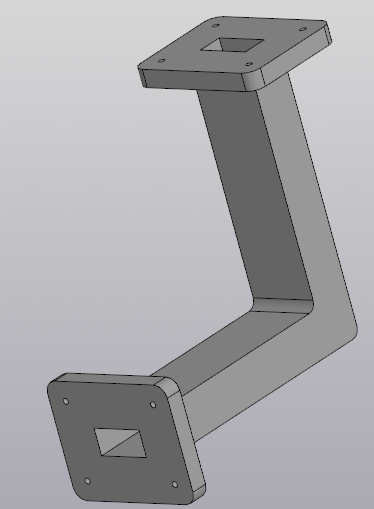


Рисунок 6.4 – Модель изогнутого волновода

# Тестирование плагина

Тестирование позволяет убедиться в работоспособности программы, выявлять ошибки при изменении какого-либо функционала.

## Функциональное тестирование

При функциональном тестировании проверялось корректность работы плагина, а именно, соответствие полученного результата в виде трехмерной модели, с входными параметрами. [9]

Проведено тестирование максимальных и минимальных параметров модели.

Минимальные значения:

1. Диаметр отверстий в креплениях = 3.5 мм;
2. Радиус фаски креплений = 1 мм;
3. Высота креплений = 65 мм;
4. Ширина креплений = 80 мм;
5. Толщина креплений = 10 мм;
6. Длина волновода = 300 мм;
7. Ширина сечения = 30 мм;
8. Толщина стенки сечения = 5 мм;
9. Высота сечения = 15 мм;
10. Расстояние от угла сечения до отверстия в креплении = 20 мм.

Максимальные значения:

1. Диаметр отверстий в креплениях = 4.8 мм;
2. Радиус фаски креплений = 7 мм;
3. Высота креплений = 100 мм;
4. Ширина креплений = 150 мм;
5. Толщина креплений = 20 мм;
6. Длина волновода = 1000 мм;
7. Ширина сечения = 100 мм;
8. Толщина стенки сечения = 10 мм;
9. Высота сечения = 25 мм;
10. Расстояние от угла сечения до отверстия в креплении = 50 мм.

На рисунке 7.1 представлена модель с минимально введенными параметрами.



Рисунок 7.1 – Модель волновода с минимальными введенными параметрами

На рисунке 7.2 представлена модель волновода с максимальными введенными параметрами.

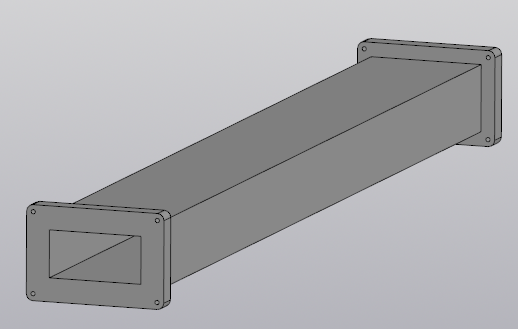


Рисунок 7.2 – Модель волновода с максимальными параметрами

На рисунке 7.3 представлена модель изогнутого волновода с максимальными параметрами.

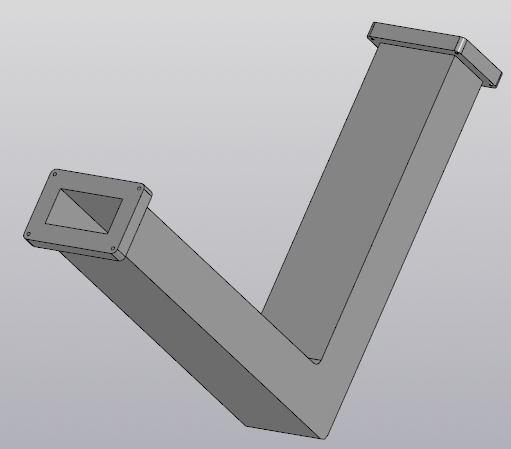


Рисунок 7.3 – Модель изогнутого волновода

## Модульное тестирование

В целях проверки корректности работы методов и свойств классов при помощи тестового фреймворка NUnit версии 3.13 проведено модульное тестирование, проверялись открытые поля, свойства и методы. Были протестированы классы модели: Parameter, WaveguideParameters. На рисунке 7.4 представлена информация о модульном тестировании программы. Покрытие модели тестами составило сто процентов, что показано на рисунке 7.5.

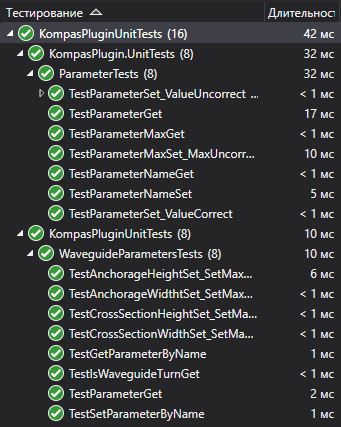


Рисунок 7.4 – Модульное тестирование плагина

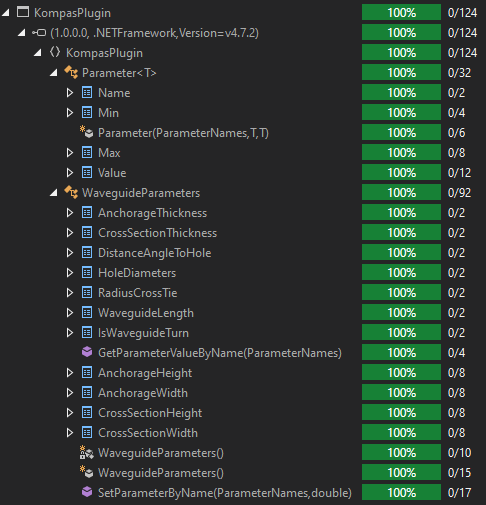


Рисунок 7.5 – Покрытие кода тестами

## Нагрузочное тестирование

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

– ЦП ntel(R) Core(TM) i5-4200M CPU 2.50GHz;

– 4 ГБ ОЗУ;

– графический процессор объемом памяти 2 ГБ.

Для нагрузочного тестирования был задан бесконечный цикл построения детали. Для измерения времени был использован класс Stopwatch. Тестирование заключалось в построении волновода с минимальными параметрами. На рисунке 7.6 представлен график зависимости времени от количества построенных деталей.

Рисунок 7.6 – График зависимости времени построения

от количества построенных волноводов

На рисунке 7.7 представлен график зависимости загруженности памяти от количества построенных деталей

Рисунок 7.7 – График зависимости загруженности памяти

от количества построенных волноводов

Тестирование длилось одиннадцать минут, было построено шестьдесят шесть моделей волновода со стандартными параметрами, работа плагина завершилась сообщением об ошибки памяти в Visual Studio. Исходя из графика, представленного на рисунке 7.6 можно увидеть, что построения детали в основном занимает менее десяти секунд, но после построения пятьдесят седьмой детали, время построения некоторых деталей стало возрастать, данную тенденцию можно соотнести с самым большим изменением занимаемой памяти показанное на рисунке 7.7. Резкие уменьшения потребления памяти скорее всего обусловлены тем, что КОМПАС-3D подключает алгоритмы оптимизации при достижении максимальной занимаемой оперативной памяти компьютера.

Так же немаловажным фактором является использование файла подкачки, а точнее переход в виртуальную память. Виртуальная память — метод [управления памятью](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C%D1%8E) [компьютера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80), позволяющий выполнять программы, требующие больше [оперативной памяти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C), чем имеется в компьютере, путём автоматического перемещения частей программы между основной памятью и вторичным хранилищем (например, [твердотельным](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D1%91%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA) накопителем)[10].

Также было решено провести второе нагрузочное тестирование в процессе которого будут создаваться изогнутые волноводы, в процессе построения, которых используется больше операций.

На рисунках 7.8 и 7.9 показан результат данного тестирования:

Рисунок 7.8 – График зависимости времени от

количества построенных изогнутых волноводов



Рисунок 7.9 – График зависимости загруженности памяти

от количества построенных изогнутый волноводов

Нагрузочное тестирование с построением изогнутых волноводов завершилось через десять минут предварительной остановкой работы ПК с сообщением о критическом сбое работы ОС Windows.

Исходя из графиков тестирования 7.8 и 7.9, можно выделить линейное увеличение затрачиваемой памяти на построение деталей до достижения максимального занимаемого объема, после которого скорее всего началась использование файлов подкачки и работа алгоритмов оптимизации. При этом время построения каждой детали оставалось в диапазоне от двух до семи секунд, за исключением деталей с пятьдесят седьмой по шестьдесят первую.

# Заключение

При выполнения лабораторных работ были изучены основные этапы проектирования программного продукта и его реализации, предметная область объекта проектирования, SDK «КОМПАС-3D». Было составлено техническое задание, разработан проект системы, составлены UML диаграммы классов, разработан макет пользовательского интерфейса.

В результате работы был разработан и реализован плагин для САПР «КОМПАС-3D», выполняющий построение 3D-модели волновода по заданным параметрам.

Над реализованным плагином были проведены функциональное, модульное и нагрузочное тестирование на платформе Windows 10.

# Список использованных источников

1. Автоматизация вычислительных процедур в прикладных задачах инженерного проектирования [Электронный ресурс]. – URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014000201 (дата обращения: 10.12.2021).
2. Visual Studio [Электронный ресурс]. – URL: https://visualstudio.microsoft.com/ru/ (дата обращения: 10.12.2021).
3. µWave Wizard. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.mician.com/products/μwave-wizard/ (дата обращения 29.10.2021).
4. Волновод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Волновод/, свободный (дата обращения: 23.10.2021).
5. КОМПАС-3D для разработчиков. [Электронный ресурс]. – URL: https://kompas.ru/solutions/developers/ (дата обращения: 10.12.2021).
6. NUnit [Электронный ресурс]. – URL: https://nunit.org/ (дата обращения: 10.12.2021).
7. Введение в Windows Forms [Электронный ресурс]. – URL: https://metanit.com/sharp/windowsforms/1.1.php (дата обращения: 10.12.2021).
8. UML. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.uml.org/ (дата обращения 10.12.2021).
9. Функциональное тестирование [Электронный ресурс]. – URL: https://daglab.ru/funkcionalnoe-testirovanie-programmnogo-obespechenija/ (дата обращения: 10.12.2021).
10. Виртуальная память — Википедия. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Виртуальная память (дата обращения 17.04.2021)