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)

ПЛАГИН «Кровать»

ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

КОМПАС-3D

Пояснительная записка по дисциплине

«Основы разработки САПР»

Студент гр. 589-1

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Филиппов О.И.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель

преподаватель каф., к.т.н.

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

(оценка) \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Томск 2022

**Реферат**

Учебная работа 35 страниц, 12 таблиц, 21 рисунок, 16 источников.

Ключевые слова: КОМПАС-3D, КРОВАТЬ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, БИБЛИОТЕКА.

Целью данной работы является разработка библиотеки «Кровать» для системы автоматизированного проектирования Компас-3D.

В процессе работы должны были пройдены все стадии разработки программного обеспечения: выбор темы, составление технического задания, составление проекта системы, создание первой реализации и её тестирование, создание конечной библиотеки.

Отчет по учебной работе выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

**Оглавление**

[Введение 4](#_Toc122070126)

[1 ПОСТАНОВКА И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ 5](#_Toc122070127)

[1.1 Описание предмета проектирования 5](#_Toc122070128)

[1.2 Описание инструментов и средств реализации 8](#_Toc122070129)

[1.3 Назначение библиотеки 8](#_Toc122070130)

[2 ОБЗОР АНАЛОГОВ 9](#_Toc122070131)

[2.1 SketchUp “OpenCutList ” 9](#_Toc122070132)

[3 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ 12](#_Toc122070135)

[4 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ 22](#_Toc122070136)

[5 ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ 25](#_Toc122070137)

[5.1 Функциональное тестирование 25](#_Toc122070138)

[5.2 Модульное тестирование 30](#_Toc122070139)

[5.3 Нагрузочное тестирование 31](#_Toc122070140)

[Заключение 34](#_Toc122070141)

[Список использованных источников 35](#_Toc122070142)

# Введение

Автоматизация проектирования 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 проектированием 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 проектирования происходит в рамках систем автоматизированного проектирования (САПР). В рамках современного «компьютеризированного» общества инженер любой специальности, занимающийся разработкой технических устройств, должен уметь использовать средства автоматизированного проектирования. Это позволяет повысить эффективность проектирования, улучшить его качество, снизить материальные затраты и уменьшить число разработчиков.

Таким образом, целью учебной работы является разработка библиотеки «Кровать» для системы автоматизированного проектирования Компас-3D. «Компас» – это семейство систем автоматизированного проектирования, универсальная система автоматизированного проектирования, позволяющая в оперативном режиме выпускать чертежи изделий, схемы, спецификации, таблицы, инструкции, расчётно-пояснительные записки, технические условия, текстовые и прочие документы [1].

# 1 ПОСТАНОВКА И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ

В рамках учебной дисциплины «Основы разработки САПР» требовалось разработать библиотеку в соответствии с техническим заданием. На основе заданных параметров библиотека, взаимодействуя с САПР «Компас-3D», должна строить трёхмерную модель Кровати [2]. Также библиотека должна позволять изменять входные параметры кровати.

Изменяемые параметры:

* Длина кровати;
* Ширина кровати;
* Высота кровати;
* Толщина материала;
* Расстояние от каркаса до верхней части кровати;

# 1.1 Описание предмета проектирования

Предметом проектирования является кровать. На рисунке 1.1 представлен чертеж кровати.



Рисунок 1.1 – чертеж кровати

На рисунке 1.2 представлена 3D-модель кровати

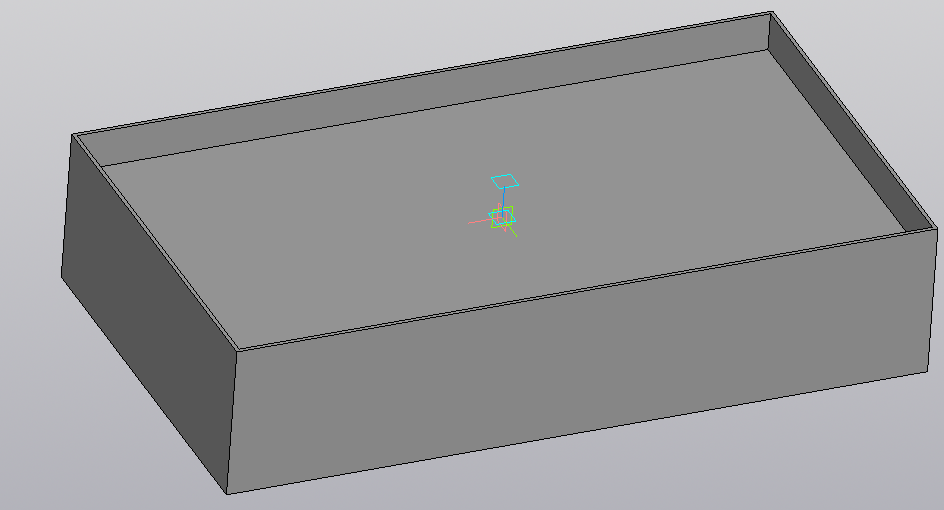


Рисунок 1.2 – 3D-модель кровати

Параметры кровати:

* A – Длина кровати (мин. 1800 мм, макс. 2100 мм);
* B – Ширина кровати (мин. 1000 мм, макс. 2000 мм) ;
* C – Высота кровати (мин. 400 мм, макс. 800 мм). Диаметр дна сверху (D) больше диаметра дна снизу на 30 мм;
* D – Толщина материала (мин. 8 мм, макс. 14 мм). В случаях когда ширина кровати (B) больше чем 1500, толщина кровати увеличивается в два раза.
* E – Расстояние от каркаса до верхней части кровати (мин. 100 мм, макс. 250 мм);

# 

# 1.2 Описание инструментов и средств реализации

Для создания библиотеки используется среда разработки Visual Studio 2019 [3]. Библиотека написана с пользовательским интерфейсом на WindowsForms с использованием .NET Framework 4.7.2 [4]. Инструментом для тестирования является библиотеки NUnit 3.13.3 [5] и NUnit3TestAdapter 4.2.1 [5]. В качестве системы автоматизированного проектирования выбран «Компас-3D» v.20 [1].

# 1.3 Назначение библиотеки

Программа предназначена для автоматизации моделирования детали «Кровать».

Плагин позволяет пользователю ввести вышеперечисленные значения через графический интерфейс. В программе предусмотрена проверка корректности введенных данных и сообщение пользователю о неправильно заполненных полях с помощью цветового выделения и всплывающих подсказок.

При запуске моделирования с некорректными значениями программа выводит сообщение об ошибке и отменяет построение модели.

При правильно введенных значениях результатом работы программы будет созданная по ним модель кровати. Размеры всех параметров, необходимых при построении, рассчитываются автоматически.

# 2 ОБЗОР АНАЛОГОВ

2.1 SketchUp “OpenCutList ”

Плагин автоматического построения 3D моделей SketchUp “OpenCutList”. SketchUp является одним из самых популярных в мире решений для создания схем и трехмерной визуализации. Приложение использует высокоскоростное параметрическое проектирование, благодаря чему возможна быстрая отрисовка сложных планов с высочайшей детализацией.[5]

На рисунке 2.1 представлен пользовательский интерфейс программы «OpenCutList» для построения шкафа.



Рисунок 2.1 – Пользовательский интерфейс программы «OpenCutList» для построения шкафа

# 3 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ

**UML (Unified Modeling Language)** – это система обозначений, которую можно применять для объектно-ориентированного анализа и проектирования. Его можно использовать для визуализации, спецификации, конструирования и документирования программных систем. Словарь UML включает три вида строительных блоков: диаграммы, сущности, связи [9].

**Sparx Systems Enterprise Architect** – это инструмент визуального моделирования и проектирования, основанный на OMG UML. Платформа поддерживает: проектирование и построение программных комплексов; моделирование бизнес-процессов; и моделирование отраслевых доменов. Он используется предприятиями и организациями не только для моделирования архитектуры своих систем, но и для обработки реализации этих моделей на протяжении всего жизненного цикла разработки приложений [10].

Класс Parameter предназначен для описания параметров кровати и их валидации, класс BedBuilder предназначен для построения кровати, класс BedForm предназначен для описания пользовательского интерфейса, перечисление ParameterType необходимо для валидации параметров и корректной связи их с BedForm, класс KompasWrapper предназначен для взаимодействия с САПР «Компас-3D», в нём содержатся методы для связи с САПР и рисования в ней.

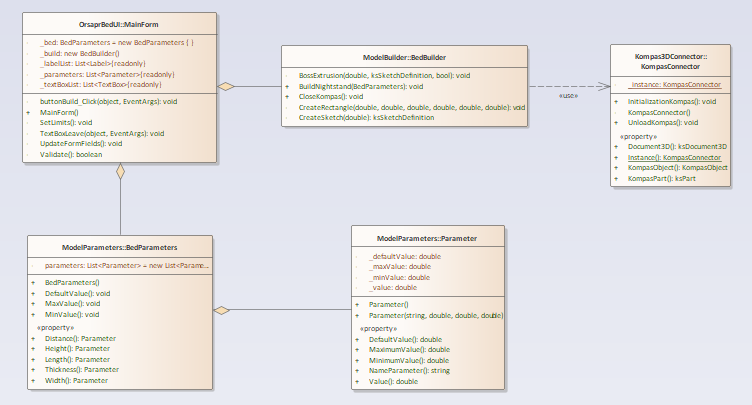


Рисунок 3.1 - UML-диаграмма классов.

Таблица 3.1 – Класс Parameter

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_value | int | Значение параметра. |
| \_minValue | int | Минимальное допустимое значение параметра. |
| \_maxValue | int | Максимальное допустимое значение параметра. |
| \_minErrorMessage | string | Сообщение о несоблюдении границы минимума. |
| \_maxErrorMessage | string | Сообщение о несоблюдении границы максимума. |
| \_parameterType | ParameterType | Тип параметра. |
| \_errors | Dictionary<  ParameterType, string> | Список ошибок введенного параметра. |

Окончание таблицы 3.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Свойства** | Value | double | Устанавливает и возвращает значение параметра. |
| MinValue | int | Устанавливает и возвращает минимальное допустимое значение параметра. |
| MaxValue | int | Устанавливает и возвращает максимальное допустимое значение параметра. |
| MinErrorMessage | string | Устанавливает и возвращает сообщение о несоблюдении границы минимума. |
| MaxErrorMessage | string | Устанавливает и возвращает сообщение о несоблюдении границы максимума. |
| ParameterType | ParameterType | Устанавливает и возвращает тип параметра. |
| Errors | Dictionary<  ParameterType, string> | Устанавливает и возвращает список ошибок параметра. |
| **Методы** | Parameter | Конструктор | Создает объект класса параметра. |
| CheckRange | bool | Проверка принадлежности диапазону введённого параметра (целое значение). |

Таблица 3.2 – Класс Bed

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_parameters | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Словарь, где ключ: тип параметра кровати из перечисления, значение: соответствующий параметр. |

Окончание таблицы 3.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_errorList | Dictionary <  ParameterType, string> | Список ошибок введенного параметра. |
| **Свойства** | Parameters | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Устанавливает и возвращает словарь типов параметров - параметров. |
| Errors | Dictionary< ParameterType, string> | Устанавливает и возвращает список ошибок параметра. |
| **Методы** | BedParameters | Конструктор | Создаёт объект класса кровати для построения. |

Таблица 3.4 – Класс KompasConnector

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_kompasObject | KompasObject | Объект Компас API. |
| **Методы** | CreateCircles | void | Создание эскиза. |
| Extrusion | void | Метод выдавливания. |
| ExtrusionRotation | void | Метод выдавливания вращением. |
| Rounding | void | Создание скругления. |

Таблица 3.5 – Класс BedBuilder

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_wrapper | KompassWrapper | Связь с Компас-3D. |
| **Свойства** | Wrapper | Wrapper | Устанавливает и возвращает связь с Компас-3D. |

Таблица 3.6 – Класс MainForm

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_bedBuilder | BedBuilder | Объект класса построения детали. |
| \_parameterToTextBox | Dictionary <  ParameterType, string> | Словарь, где ключ: параметр кровати, значение: соответствующий тексбокс. |
| \_BedParameters | BedParameters | Объект параметров кровати. |
| **Методы** | MainForm | Конструктор | Конструктор основной формы. |
| BuildButton\_Click | void | Построение по введённым параметрам кровати. |
| ShowErrorList | void | Демонстрация неправильно введённых параметров. |
| UpdateLabels | void | Обновление диапазонов для параметров кровати. |

В процессе реализации библиотеки и её тестирования были изменены поля классов MainForm, BedBuilder, KompasConnector, Parameter – теперь все приватные поля не имеют свойств.

В KompasConnector были добавлены новые методы, в том числе для дополнительной функциональности.

В таблицах 3.7-3.12 представлены основные классы Parameter, BedParameters, KompasConnector, BedBuilder и MainForm, их поля, методы и свойства в итоговой реализации.

Таблица 3.7 – Класс Parameter

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_value | int | Значение параметра. |
| \_minValue | int | Минимальное допустимое значение параметра. |
| \_maxValue | int | Максимальное допустимое значение параметра. |
| \_parameterType | ParameterType | Тип параметра. |
| \_errors | Dictionary<  ParameterType, string> | Список ошибок введенного параметра. |
| **Свойства** | Value | int | Устанавливает и возвращает значение параметра. |
| **Методы** | Parameter | Конструктор | Создает объект класса параметра. |
| CheckRange | bool | Проверка принадлежности диапазону введённого параметра. |
| Equals | bool | Проверка на равенство объектов класса. |

Таблица 3.8 – Класс BedParameters

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Свойства** | Parameters | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Устанавливает и возвращает словарь типов параметров - параметров. |
| **Свойства** | Errors | Dictionary< ParameterType, string> | Устанавливает и возвращает список ошибок параметра. |
| **Методы** | BedParameters | Конструктор | Создаёт объект класса кровать для построения. |
| CheckParameterEmpty | void | Проверяет является ли параметр пустым. |
| SetParameters | void | Устанавливает необходимые параметры. |
| CheckParametersRelationship | void | Проверка взаимосвязи параметров между собой. |
| **Поля** | Width | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Ширина кровати |
| Length | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Длина кровати |
| Distance | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Расстояние от основания кровати до верхней части. |
| Thickness | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Толщина материала |
| Height | Dictionary <  ParameterType, Parameter> | Высота кровати. |

Таблица 3.10 – Класс KompasConnector

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_kompas | KompasObject | Объект Компас API. |
| \_part | ksPart | Деталь. |
| \_document | ksDocument3D | Документ-модель. |
| \_entitySketch | ksEntity | Эскиз. |
| \_sketchDefinition | ksSketchDefinition | Интерфейс параметров эскиза |
| \_sketchEdit | ksDocument2D | Документ-эскиз. |
| **Свойства** | KompasObject | KompasObject | Устанавливает и возвращает объект Компас API. |
|  | Part | ksPart | Устанавливает и возвращает деталь. |
|  | Document | ksDocument3D | Устанавливает и возвращает документ-модель. |
|  | EntitySketch | ksEntity | Устанавливает и возвращает эскиз. |
|  | SketchDefinition | ksSketchDefinition | Устанавливает и возвращает интерфейс параметров эскиза. |
| **Методы** | StartKompas | void | Запуск Компас-3D. |
|  | CreateFile | void | Создание документа в Компас-3D. |
|  | CreateSketch | void | Создание эскиза. |

Таблица 3.12 – Класс MainForm

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Название** | **Тип** | **Описание** |
| **Поля** | \_ bedBuilder | BedBuilder | Объект класса построения детали. |
| \_parameterToTextBox | Dictionary <  ParameterType, string> | Словарь Тип параметра-TextBox. |
| \_bedParameters | BedParameters | Объект параметров BedParameters. |
| **Методы** | MainForm | Конструктор | Конструктор основной формы. |
| BuildButton\_Click | void | Построение по введённым параметрам кровати. |
| FindError | void | Проверка введенных значений в режиме реального времени. |
| CheckEmptyTextBox | bool | Поиск пустых TextBox. |
| UpdateLabels | void | Динамическое обновление диапазона параметров |

Итоговая диаграмма представлена на рисунке 3.6.

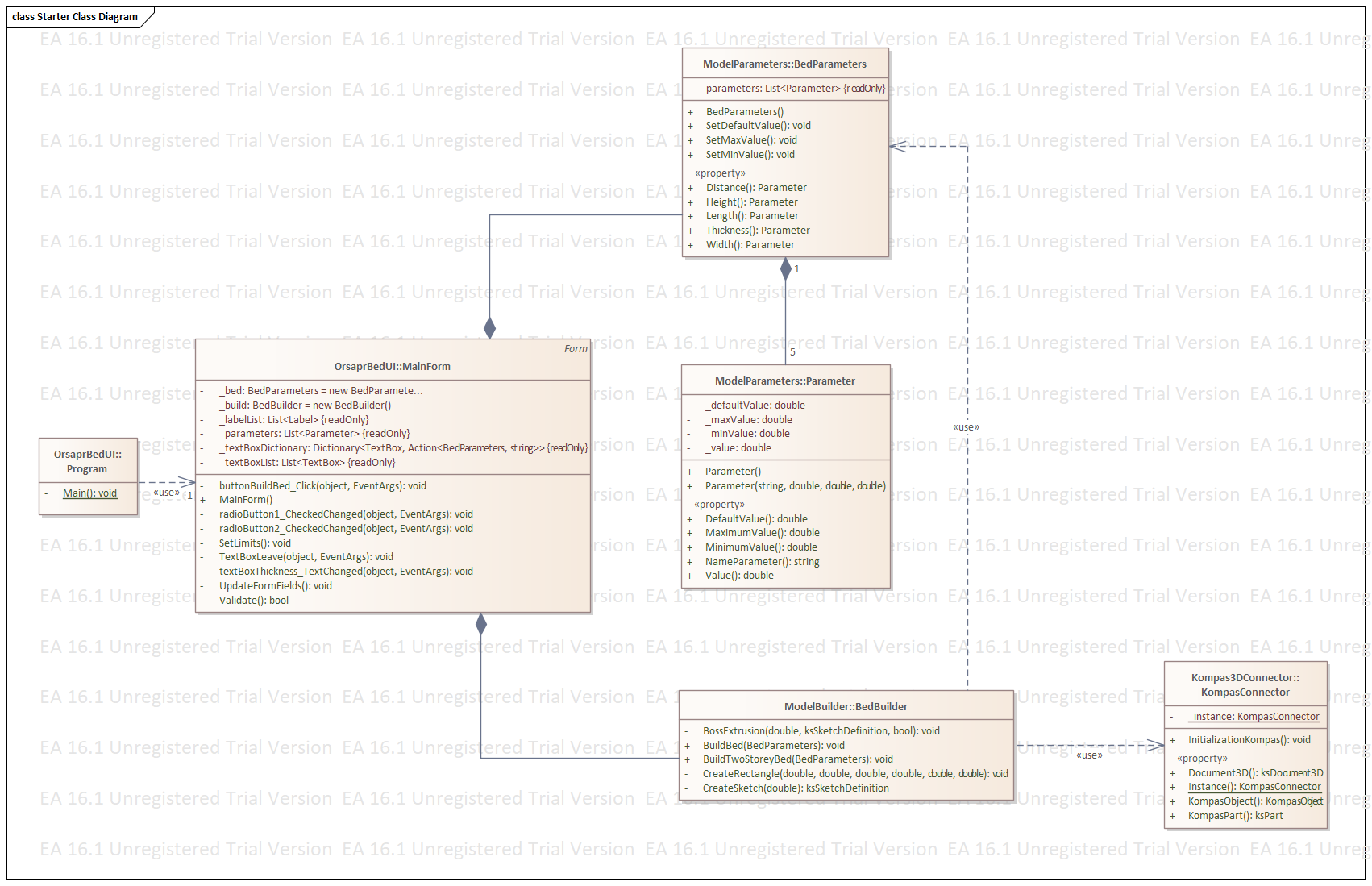


Рисунок 3.6 – Итоговая диаграмма классов

# 4 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Пользовательский интерфейс (UI) – интерфейс, обеспечивающий передачу информации между пользователем-человеком и программно-аппаратными компонентами компьютерной системы [11].

Плагин представляет собой пользовательскую форму с полями для ввода соответствующих параметров, форму можно увидеть на рисунке 4.1. Посредством кнопки «Построить» осуществляется запуск САПР «Компас-3D», на рабочей области которой построится трехмерная модель детали по заданным параметрам. Если построение детали выполняется несколько раз, то плагин не запускает несколько копий программы «Компас-3D», а создает в ней новый документ. В случае ввода значений параметров, не входящих в допустимый диапазон, поле для ввода окрашивается в розовый цвет и выводится окно в режиме реального времени. При нажатии на кнопку построить появляется окно, информирующее пользователя о некорректности введенного значения. Диапазон зависимых параметров изменяется . Доступен выбор двухъярусной кровати. Пример неправильного ввода представлен на рисунке 4.2, пример вывода списка ошибок представлен на рисунке 4.3.

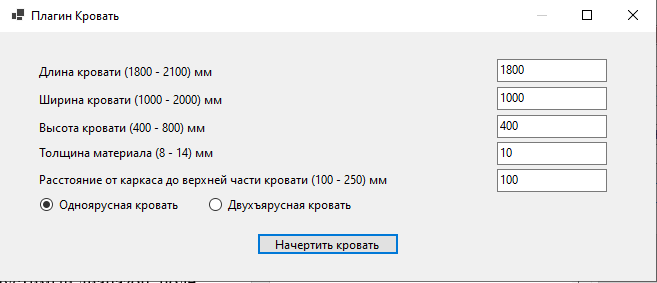


Рисунок 4.1 – Макет пользовательского интерфейса

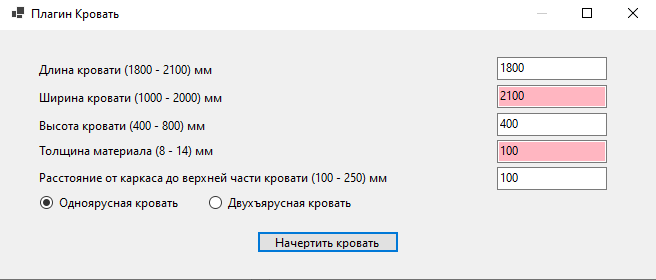


Рисунок 4.2 – Реакция приложения на ввод некорректных значений

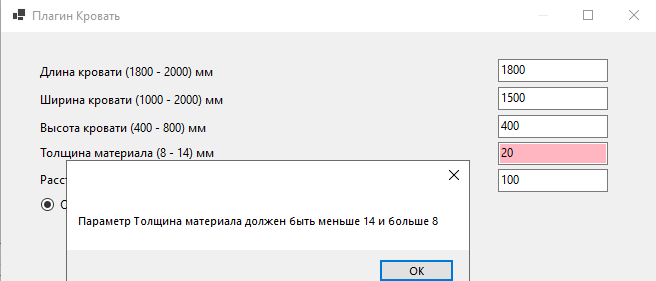


Рисунок 4.3 – Ошибка на ввод некорректных значений

Если пользователь ввёл правильные значения, при нажатии кнопки «Построить» происходит построение детали. Трёхмерная модель кровати, построенная в системе автоматизированного проектирования Компас-3D с помощью разработанной библиотеки представлена на рисунке 4.5

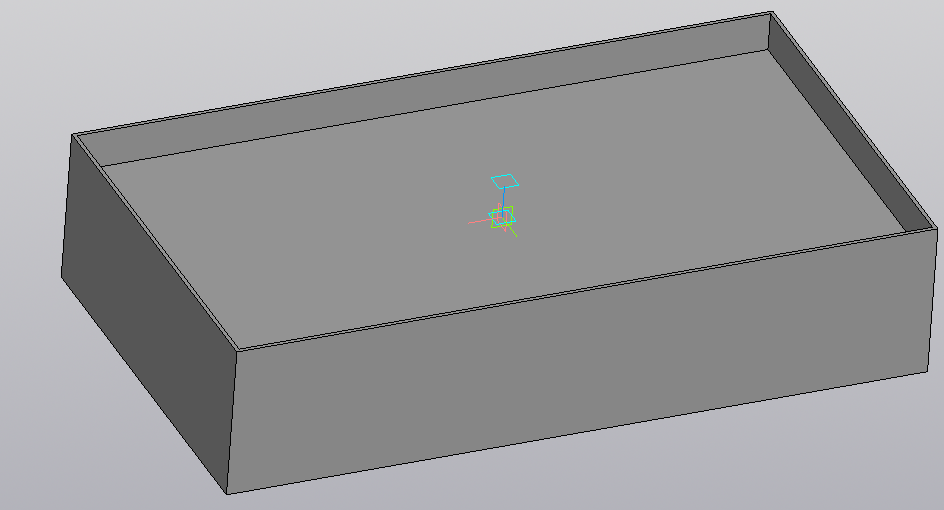


Рисунок 4.5 – Трёхмерная модель кровати

# 5 ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ

# 5.1 Функциональное тестирование

Функциональное тестирование – это тип тестирования программного обеспечения, при котором тестовые сценарии выполняются тестировщиком вручную без использования автоматизированных инструментов. Целью ручного тестирования является выявление ошибок, проблем и дефектов в программном приложении. Функциональное тестирование программного обеспечения – это самый примитивный метод из всех видов тестирования. Концепции ручного тестирования не требуют знания какого-либо инструмента тестирования [12].

В рамках функционального тестирования будет проверка библиотеки при введённых минимальных, средних и максимальных параметрах.

Тестирование при минимальных параметрах:

* длина кровати равна 1800 мм;
* ширина кровати равна 1000 мм;
* высота кровати равна 400 мм;
* толщина материала равна 8 мм;
* расстояние от каркаса до верхней части кровати равно 100 мм;

Результат построения при заданных параметрах представлен на рисунках 5.1-5.2.

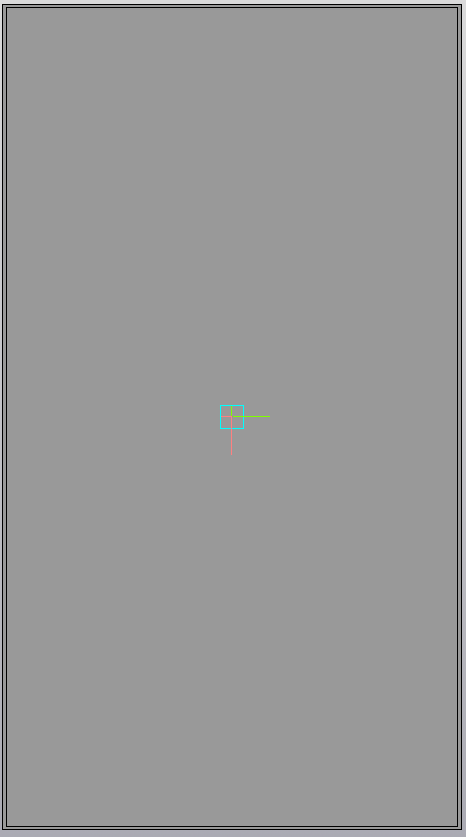


Рисунок 5.1 – Вид на модель сверху

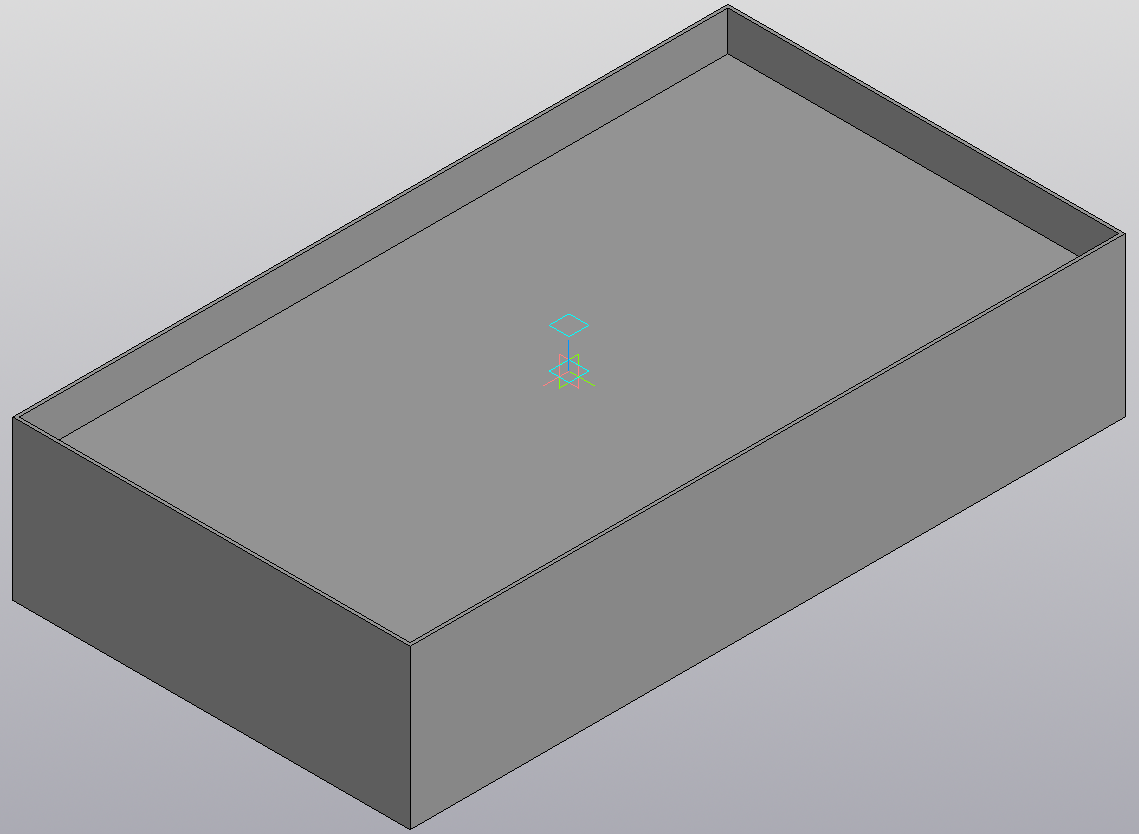


Рисунок 5.2 – Вид на модель сбоку

Тестирование при средних параметрах:

* длина кровати равна 1950 мм;
* ширина кровати равна 1500 мм;
* высота кровати равна 600 мм;
* толщина материала равна 10 мм;
* расстояние от каркаса до верхней части кровати равно 150 мм;

Результат построения при заданных параметрах представлен на рисунках 5.3-5.4.

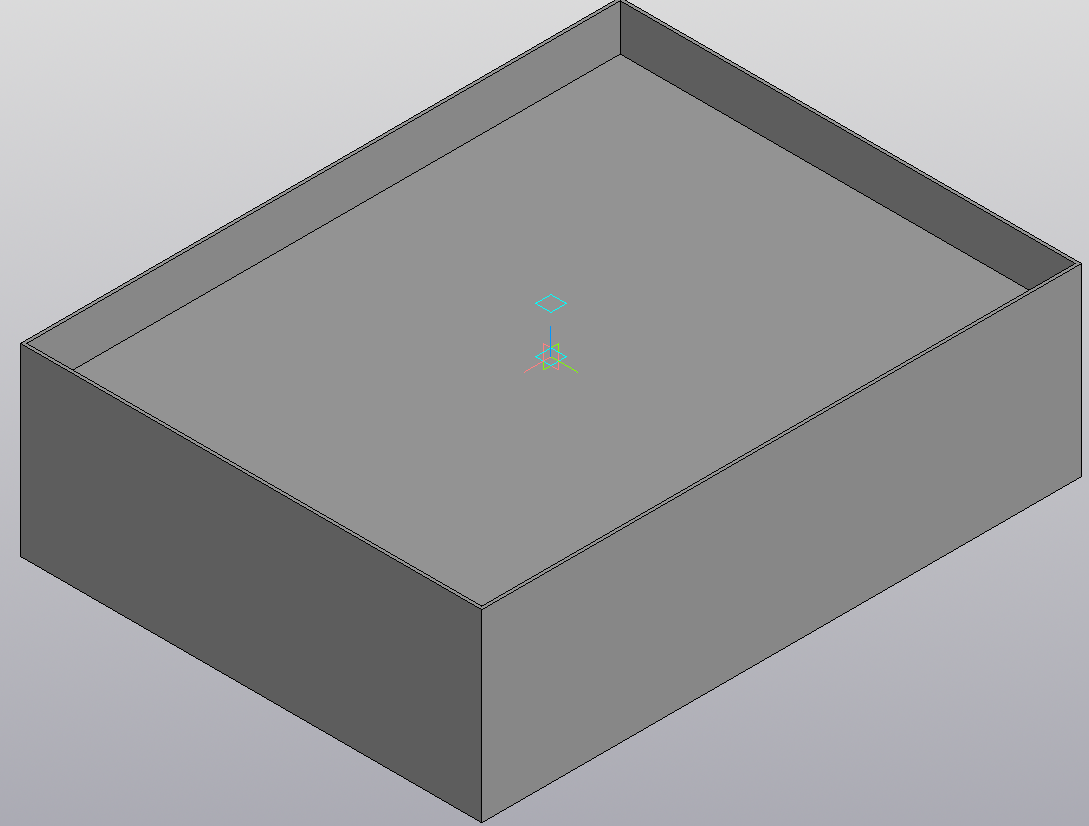


Рисунок 5.3 – Вид на модель сбоку

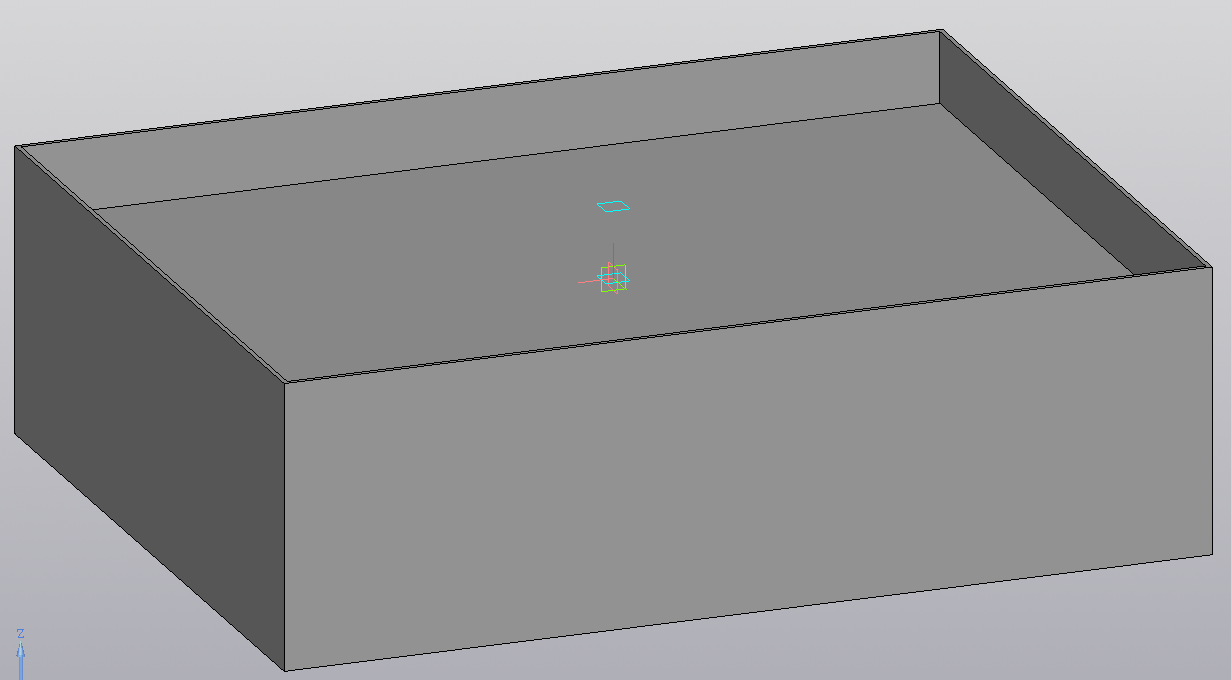


Рисунок 5.4 – Вид на модель сбоку

Тестирование при максимальных параметрах:

* длина кровати равна 2667 мм;
* ширина кровати равна 2000 мм;
* высота кровати равна 800 мм;
* толщина материала равна 14 мм;
* расстояние от каркаса до верхней части кровати равно 250 мм;

Результат построения при заданных параметрах представлен на рисунках 5.5-5.6.

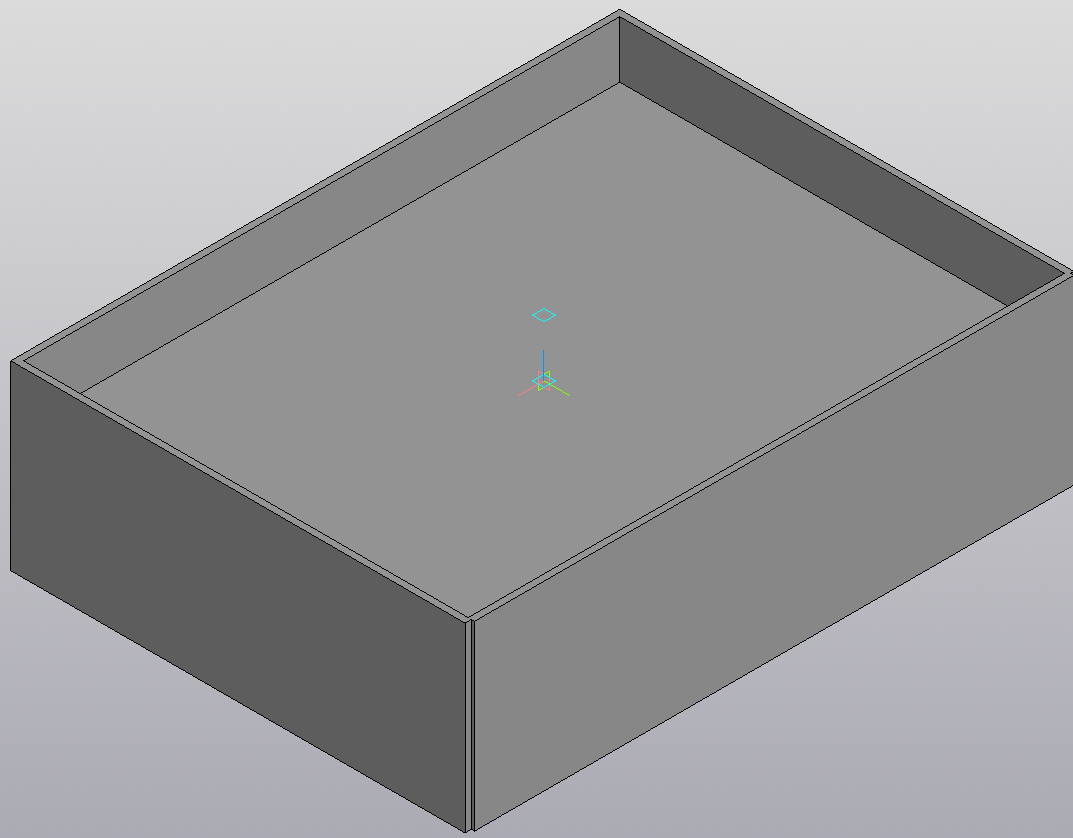


Рисунок 5.5 – Вид на модель сбоку

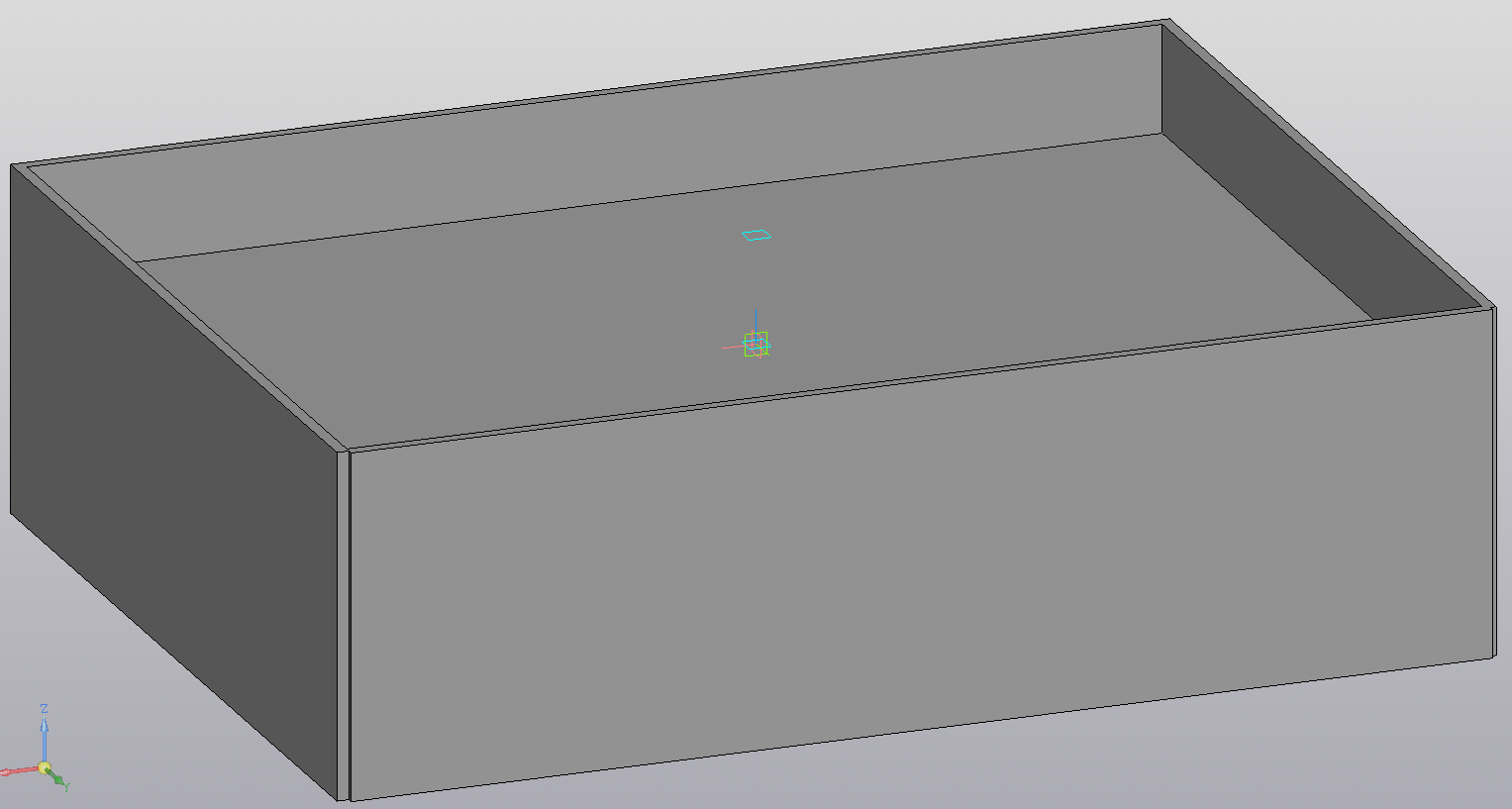


Рисунок 5.6 – Вид на модель сбоку

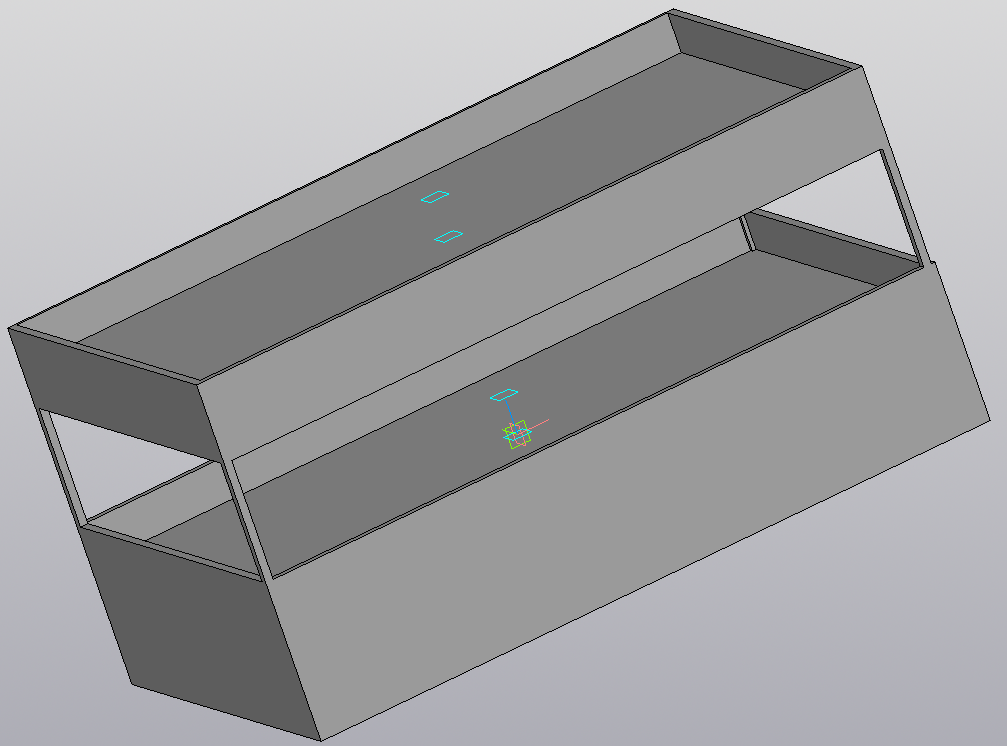


Рисунок 5.7 – Вид сбоку на двухъярусную кровать при стандартных параметрах

# 5.2 Модульное тестирование

**Модульное тестирование (Unit Testing)**– это тип тестирования программного обеспечения, при котором тестируются отдельные модули или компоненты программного обеспечения. Его цель заключается в том, чтобы проверить, что каждая единица программного кода работает должным образом. Данный вид тестирование выполняется разработчиками на этапе кодирования приложения. Модульные тесты изолируют часть кода и проверяют его работоспособность. Единицей для измерения может служить отдельная функция, метод, процедура, модуль или объект [13].

Для тестирования используется библиотеки NUnit 3.13.3 [5] и NUnit3TestAdapter 4.2.1 [5]. Тестами покрыта вся логика программы. Всего было написано 10 тестов. На рисунке 5.7 представлено тестирование логики.

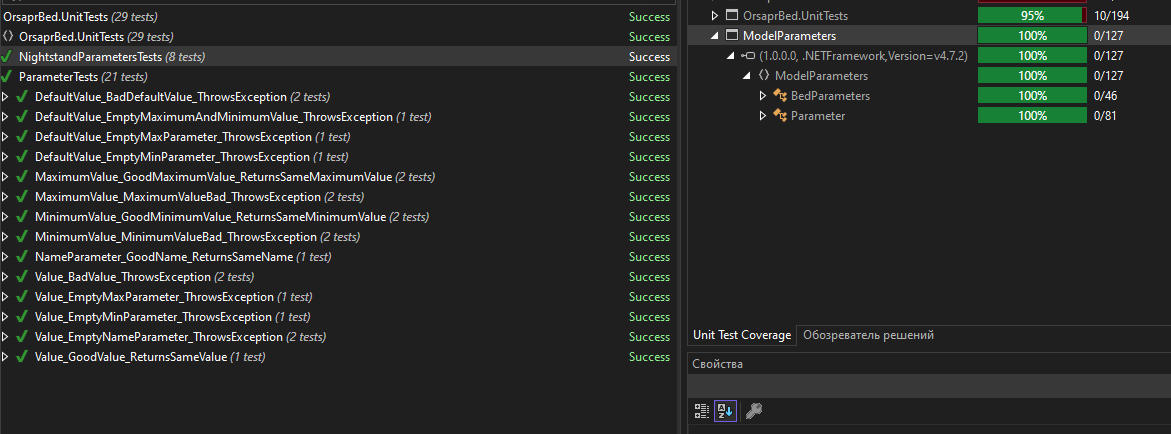


Рисунок 5.7 – Тестирование логики программы

# 5.3 Нагрузочное тестирование

Нагрузочное тестирование – это подвид тестирования производительности, сбор показателей и определение производительности и времени отклика программно-технической системы или устройства в ответ на внешний запрос с целью установления соответствия требованиям, предъявляемым к данной системе (устройству) [14].

Нагрузочное тестирование проводилось на персональном компьютере со следующей конфигурацией:

* процессор Intel(R) Core(TM) i3-10105F CPU @ 3.70GHz;
* оперативная память 8,0 ГБ;
* видеокарта AMD RX550.

Для тестирования будет зациклено построение модели со следующими параметрами:

* длина кровати равна 1950 мм;
* ширина кровати равна 1500 мм;
* высота кровати равна 600 мм;
* толщина материала равна 10 мм;
* расстояние от каркаса до верхней части кровати равно 150 мм;

Первое тестирование заключалось в построении детали с базовыми параметрами. Тестирование проводилось 1 час 2 минуты, построено 76 моделей. На протяжении тестирования загруженность процессора составляла около 84 процентов. На рисунке 5.13 показана зависимость количества используемой оперативной памяти в гигабайтах от количества построенных деталей.

Рисунок 5.13 – Зависимость оперативной памяти от количества деталей

Из графика видно, что зависимость является линейной пока оперативная память на загружена практически полностью. На графики имеются скачки вниз, то есть происходит уменьшение нагрузки на оперативную память. Это обусловлено устройством оперативной памяти, что для её регенерации периодически приостанавливается обращение, это снижает среднюю скорость обмена и понижает нагрузку [12]. Также в середине графика видно, что нагрузка на память не увеличивается. Это связано с тем, что операционная система имеет файл подкачки, в который выгружаются неактивные и неиспользуемые данные, снимая нагрузку с оперативной памяти [13].

На рисунке 5.14 показана зависимость потраченного времени от количества построенных деталей.

Рисунок 5.14 – Зависимость времени от количества построенных деталей

Из графика видно, что зависимость количества необходимого времени от числа деталей является линейной с изменением угла наклона в течение теста. Это связано с тем, что при большой загрузке оперативной памяти и центрального процессора падает скорость построения одной детали. Поэтому увеличивается коэффициент наклона прямой.

# Заключение

В результате выполнения данной учебной работы были пройдены все стадии разработки программного обеспечения: выбор темы, составление технического задания, составление проекта системы, создание первой реализации и её тестирование, создание конечной библиотеки. Был изучен API приложения Компас-3D. Также были найдены аналоги разрабатываемого плагина. Были спроектированы UML диаграммы классов и было проведено функциональное, модульное и нагрузочное тестирования созданной библиотеки.

# Список использованных источников

1. Официальный сайт системы автоматизированного проектирования «Компас-3D» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://kompas.ru/kompas-3d/about/ (дата обращения: 30.09.2022)
2. Компас (САПР) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Компас\_(САПР) (дата обращения: 30.09.2022)
3. Заметки о выпуске Visual Studio 2019 версии 16.10 2019 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://learn.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/releases/2019/release-notes-v16.10 (дата обращения: 19.11.2022)
4. Платформа .NET Framework 4.7.2 для Windows [Электронный ресурс] – Режим доступа: https: //support.microsoft.com/ru-ru/topic/автономный-установщик-microsoft-платформа-net-framework-4-7-2-для-windows-05a72734-2127-a15d-50cf-daf56d5faec2 (дата обращения: 19.11.2022)
5. Фреймворк NUnit [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://nunit.org/ (дата обращения: 19.11.2022)
6. Плагин автоматического построения 3D моделей SketchUp “OpenCutList”.[Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.opencutlist.org (дата обращения: 07.10.2022)
7. Blender manual Add-ons // Blender 3.3 manual URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/preferences/addons.html> (дата обращения: 20.10.2022).
8. UML-диаграммы классов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.uml.org/ (дата обращения: 06.10.2022)
9. Enterprise Architect (software) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://sparxsystems.com/ (дата обращения: 06.10.2022)
10. Интерфейс пользователя [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерфейс\_пользователя (дата обращения: 15.12.2022)
11. Куликов С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. 3-е издание, 301 с
12. Оперативная память [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Оперативная\_память (дата обращения: 15.12.2022)
13. Файл подкачки [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.zeluslugi.ru/info-czentr/it-glossary/term-file-podkachki (дата обращения: 15.12.2022)