

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт Новых материалов и технологий

Кафедра Информационные технологии и автоматизация проектирования

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК

Зав. кафедрой	ИТиАП
	Д.В. Куреннов
(подпись)	(Ф.И.О.)
« 06 » 06	2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Разработка алгоритмов и программного обеспечения

для обработки геометрической информации




2D-объектов специального типа

Руководитель: Петунин А.А., доцент, д.т.н.  
Ф.И.О., ученая степень, ученое звание (должность)

Консультант: Минеева Т.А., доцент, к.э.н.  
Ф.И.О., ученая степень, ученое звание (должность)

Нормоконтролер: Мухоморов В.Л., ст. преподаватель  
Ф.И.О., ученая степень, ученое звание (должность)

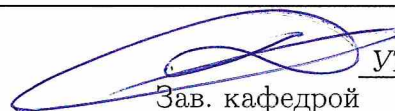
Студент группы НМТ-491506 Ф.И.О Молоков Л.К.

  
подпись  
  
подпись  
  
подпись

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина»

Институт Новых материалов и технологий  
Кафедра Информационные технологии и автоматизация проектирования  
Направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»

Образовательная программа 15.03.01/01.01 «Машиностроение»

 УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ИТиАП  
«05» мая 2023 г.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

студента Молокова Леонида Константиновича группы НМТ-491506  
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема выпускной квалификационной работы

Разработка алгоритмов и программного обеспечения для обработки  
геометрической информации 2D-объектов специального типа

Утверждена распоряжением по институту от «13» января 2023 г. № 33.20-05/03

2. Руководитель Петунин А.А., доцент, д.т.н.

(Ф.И.О., должность, ученое звание, ученая степень)

3. Исходные данные к работе 1. Документация на файловый формат DXF





2. Документация на файловый формат SVG

3. Документация на файловый формат JSON

4. Перечень демонстрационных материалов Презентация MS PowerPoint –

«Разработка алгоритмов и программного обеспечения для обработки  
геометрической информации 2D-объектов специального типа»

5. Календарный план

№ п/п	Наименование этапов выполнения работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении
1.	<i>1 раздел</i> (Задача конвертации данных из файлов графической информации DXF. Анализ текущего состояния проблемы исследования)	01.08.2022-31.08.2023 (31 день)	
2.	<i>2 раздел</i> (Разработка файловых конвертеров в виде приложения «primiview»)	01.09.2022-31.03.2023 (212 дней)	
3.	<i>3 раздел</i> (Экономическое обоснование проекта)	01.04.2023-30.04.2023 (30 дней)	
4.	<i>Оформление ПЗ ВКР</i>	01.05.2023-31.05.2023 (31 день)	

Руководитель

  
(подпись)

Петунин А.А.

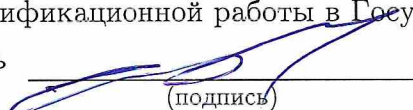
Ф.И.О.

  
(подпись)

Задание принял к исполнению 01.08.2022  
дата

6. Выпускная квалификационная работа закончена « 31 » мая 2023 г.  
считаю возможным допустить Молокова Л.К. к защите его вы-  
пускной квалификационной работы в Государственной экзаменационной комиссии.

Руководитель


  
(подпись)

Петунин А.А.

Ф.И.О.

7. Допустить Молокова Л.К. к защите выпускной  
квалификационной работы в Государственной экзаменационной комиссии (протокол  
заседания кафедры № 6 от « 08 » июня 2023 г.).

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Д.В. Куреннов

Ф.И.О.

## РЕФЕРАТ

Отчёт содержит 132 стр., 24 рис., 12 табл., 10 источн., 1 прил.

Ключевые слова: конвертеры, алгоритмы, программное обеспечение, примитивы, разработка.

Объект ВКР — форматы хранения и обмена геометрическими и другими данными компьютерных чертежей.

Цель работы — разработать алгоритмы и программное обеспечение для чтения информации из файлов формата DXF, извлечения из них данных о геометрических примитивах и формирования файлов форматов ТХТ, SVG и JSON, содержащих всю необходимую информацию в удобном для последующей работы виде.

Методы работы и исследования: теоретический анализ и последующий синтез информации, моделирование, разработка, тестирование.

Результатом работы стали алгоритмы и конвертеры в виде программного обеспечения «primiview».

Область применения разработанных алгоритмов и программного обеспечения: технологическая разработка управляющих программ для производства изделий на станках с числовым программным управлением; работа в CAD- и САМ-системах в целом; использование в иных приложениях.

Практическая значимость работы заключается в использовании разработанных алгоритмов и программного обеспечения при разработке специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР) и работе в них, а также, выполнении работ по хозяйственному договору Уральского Федерального Университета (УрФУ) с ООО «Униматик» в рамках проектов с Уральским Межрегиональным Научно-Образовательным Центром (УМНОЦ).

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	8
1 Задача конвертации данных из файлов графической информации DXF. Анализ текущего состояния проблемы исследования.....	12
1.1 Стандартизованные файловые форматы обмена графической информацией .....	12
1.1.1 Формат DXF .....	13
1.1.2 Формат SVG .....	19
1.1.3 Формат JSON .....	23
1.2 Способы описания геометрии дуг .....	25
1.3 Актуальное состояние проблемы использования файловых форматов в области САПР .....	32
1.4 Постановка задачи.....	35
1.5 Выводы по главе 1 .....	41
2 Разработка файловых конвертеров в виде приложения «primiview»	43
2.1 Выбор языка программирования .....	43
2.2 Принцип работы приложения «primiview».....	44
2.3 Внутрепрограммная репрезентация информации о геометрических примитивах.....	46
2.4 Разработка алгоритмов.....	48
2.5 Разработка программного обеспечения .....	61
2.5.1 Файловая структура.....	61
2.5.2 Модуль визуализации .....	63
2.5.3 Пользовательский интерфейс .....	66

2.5.4	Тестирование работы программы .....	72
2.6	Выводы по главе 2 .....	80
3	Экономическое обоснование эффективности проекта .....	81
3.1	Разработка проекта .....	81
3.2	Дерево задач проекта .....	85
3.2.1	Первый уровень иерархии .....	85
3.2.2	Второй уровень иерархии .....	85
3.2.3	Третий уровень иерархии .....	86
3.2.4	Четвёртый уровень иерархии .....	88
3.3	Построение диаграмм проекта .....	90
3.3.1	Диаграмма Ганта .....	90
3.3.2	Сетевой график .....	92
3.4	Расчёт стоимости проекта .....	98
3.5	Сравнительная экономическая эффективность .....	103
3.5.1	Исходные данные .....	103
3.5.2	Расчёты и анализ .....	106
3.5.3	Выводы по результатам расчётов .....	111
3.6	Выводы по главе 3 .....	112
	Заключение .....	113
	Список использованных источников .....	115
	Приложение А Текстовые результаты конвертации .....	117

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Программное обеспечение — совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ (ГОСТ 19781-80 ЕСПД. «Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения»).

Программный продукт — объект, состоящий из программ, процедур, правил, а также, если предусмотрено, сопутствующих им документации и данных, относящихся к функционированию системы обработки информации. ГОСТ 28806-90 «Качество программных средств. Термины и определения».

Система автоматизированного проектирования — организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирования при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП). ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».

Язык разметки — набор символов или последовательностей символов, вставляемых в текст для передачи информации о его отображении или строении.

Конвертация данных — преобразование данных из одного формата в другой с сохранением основного логически-структурно содержания информации.

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей ВКР применяются следующие сокращения и обозначения:

КТЭ — Конструкторско-(Конструктивно-)технологический элемент. Элементарная поверхность (плоскость, цилиндр и т.д.) или совокупность элементарных поверхностей, имеющих общее конструктивное назначение (фаска, канавка и т.п.) и характеризующихся общим маршрутом изготовления.

ПО — Программное обеспечение.

ПП — Программный продукт.

САПР — Система автоматизированного проектирования.

УП — Управляющая программа.

ЧПУ — Числовое программное управление.

ЯП — Язык программирования.

DXF — Drawing eXchange Format. Формат файлов для обмена графической информацией между приложениями САПР, созданный фирмой Autodesk для системы AutoCAD в 1982 г.

ТХТ — Текстовый формат файлов, представляющий собой последовательность строк электронного текста.

SVG — Scalable Vector Graphics. Язык разметки масштабируемой векторной 2D-графики на основе XML, поддерживающий интерактивность и анимацию. Разрабатывается консорциумом World Wide Web с 1999 года по сегодняшний день.

XML — eXtensible Markup Language. Расширяемый язык разметки подобный HTML.



JSON — JavaScript Object Notation. Текстовый формат обмена данными, основанный на языке программирования JavaScript.

API — Application Programming Interface. Программный интерфейс приложения — это набор способов и правил, по которым различные программы общаются между собой и обмениваются данными.

PNG — Portable Network Graphics. Растровый формат хранения графической информации, использующий сжатие без потерь по алгоритму Deflate.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время в рамках проектов Уральского Федерального Университета (УрФУ) и Уральского межрегионального научно-образовательного центра (УМНОЦ) происходит разработка специализированных САПР, в том числе предназначенных для автоматической генерации УП для станков с ЧПУ «Сириус», и программного обеспечения по автоматизированному распознаванию КТЭ «ТокКТЭ». Создаваемые ПП работают с файлами, содержащими геометрическую 2D-информацию. Используются следующие форматы файлов:

- а) DXF,
- б) TXT,
- в) SVG,
- г) JSON.

В связи с этим требуется разработать алгоритмы и ПО по конвертации вышеуказанных форматов файлов.

**Степень разработанности темы исследования.** В открытом доступе сети Интернет существуют онлайн-конвертеры файлов DXF в другие форматы. Большая их часть лишь визуализирует графическую информацию, представленную в том или ином DXF-файле, и конвертирует в наиболее популярные форматы изображений (JPEG, PNG). Для использования конвертера на предприятии-заказчике необходимы особые форматы данных, в которые конвертируется DXF. Такие форматы не могут быть обеспечены с помощью существующего в открытом рынке ПО — таким является, например, «DXF Reader GT» от компании «Gray Technical». Несмотря на высокую степень проработки программы, формат выходных данных не соответствует требованиям, предъявляемым к TXT-, SVG- и JSON-файлам в целевых САПР и ПО. Ещё одним фактором, препятствующим предприятиям-парт-

нёрам указанных проектов использование зарубежного ПО, является ежемесячная плата разработчикам. Одной из задач современной Российской Федерации является импортозамещение, в том числе в машиностроительной сфере, поэтому разработка собственного ПП увеличит независимость и самостоятельность предприятий и компаний, пользующихся этим ПП.

**Цель работы** заключается в разработке алгоритмов и программного обеспечения для чтения данных из файлов формата DXF с геометрической информацией объектов специального типа, извлечении из них информации об определённых геометрических примитивах, вывода полученной графической информации на экран для верификации, формирования текстового файла TXT(DXF-type) с выводом данных в исходном виде DXF, формирования текстового файла TXT(x,y,r) с выводом данных в виде координат точек и радиуса примитивов (линий, дуг) между ними, формировании файла-описания двумерной векторной графики в формате SVG с выводом геометрических данных в исходном виде DXF, формировании файла формата JSON с выводом данных в виде координат точек и степенями кривизны примитивов между ними, способного открываться с помощью специального ПО «View DBS/JSON/GTSP».

Данные конвертеры необходимы, в частности, при разработке таких САПР, как Сириус, ТокКТЭ и других.

Для достижения этой цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) выявить структурно-содержательные особенности файлов форматов DXF, TXT(DXF-type), TXT(x,y,r), SVG, JSON для разработки алгоритмов и ПО по конвертации приведённых форматов;
- 2) проанализировать возможность применения разных ЯП для разработки ПО;
- 3) разработать алгоритмы распознавания, конвертации и преобразования геометрических данных для ПО;

- 4) разработать ПО;
- 5) протестировать ПО;
- 6) провести экономическое обоснование эффективности проекта.

**Объект исследования** — форматы файлов по хранению и обмену графической и другой информацией компьютерных чертежей.

**Предмет исследования** — проектирование алгоритмов и ПО для конвертации файлов из формата DXF в форматы TXT, SVG, JSON.

**Теоретическая значимость работы** заключается в создании универсального подхода к разработке конвертеров из формата DXF в другие геометрические форматы, что значит, что алгоритмы и методы, применённые в данной работе, могут быть использованы при создании аналогичного ПО.

**Практическая значимость работы:**

а) использование разработанных алгоритмов и ПО при разработке специализированных САПР, в том числе САПР «Сириус» для автоматизированной генерации УП для станков с ЧПУ и ПО «ТокКТЭ» по автоматизированному распознаванию КТЭ, и работе в них, а также, выполнении работ по хозяйственному договору УрФУ с ООО "Униматик".

б) разработка универсальна, так как данные файловые конвертеры могут быть использованы любым пользователем в собственных целях (и вне САПР);

в) разработанное ПО можно внедрять в существующие подсистемы САПР, работающие с форматом файлов DXF, а также в другие приложения;

г) САПР, использующие разработанное ПО по конвертации файлов с графической информацией, получают независимость от использования аналогичного ПО зарубежного производства;

д) положенные в основу разработанные алгоритмы и ПО имеют открытый доступ в сети Интернет и имеют перспективу развития в полноценный модуль импорта/экспорта файлов;

е) коммерческая выгода заинтересованных в разработке сторон.

## **1 Задача конвертации данных из файлов графической информации DXF. Анализ текущего состояния проблемы исследования**

В данном разделе описаны теоретические основы, требующиеся для разработки алгоритмов и ПО для обработки геометрической информации 2D-объектов специального типа.

По причине существования различных форматов для работы с одними данными, есть необходимость конвертации этих форматов друг в друга.

Конвертацией данных называется преобразование данных из одного формата в другой с сохранением основного логически-структурного содержания информации.

Конвертация может производиться как с потерей информации, так и без неё. Потеря информации может производиться намеренно при условном определении поддерживаемой разрабатываемым конвертером спектра информации файлов.

Для исключения потерь необходимой установленной информации при конвертации данных, необходимо тщательно изучить форматы, из которых и в которые производится конвертация данных и при разработке соответствующих алгоритмов и ПО учитывать все особенности изученных форматов.

### **1.1 Стандартизованные файловые форматы обмена графической информацией**

CAD-, CAM- и CAE-системы работают, в основном, помимо прочего, с графической информацией с целью визуализации данных. При этом по мере развития различных САПР от всевозможных организаций по всему

миру для каждой системы создавались и создаются специальные форматы данных, с которыми удобно работать той или иной системе.

AutoCAD от компании Autodesk, являясь одной из первых в мире широкоиспользуемых CAD-систем, разработала норму файлового формата для работы с чертежами — DXF.

Кроме этого, разработчики специализированных САПР до сих пор создают всё новые форматы, в которых работает именно их система.

В рамках работы были изучены 3 стандартизованных формата файлов, работающих с геометрической информацией. 2 формата, с которыми происходит работа, были специально разработаны в рамках данной работы. Среди них следующие:

- DXF,
- TXT(DXF-type),
- TXT(x,y,r),
- SVG,
- JSON.

Работа ориентирована именно на эти форматы данных, что подробно объясняется в разделе 1.3.

Рассмотрим детально каждый из стандартизованных форматов данных (DXF, SVG, JSON).

### **1.1.1 Формат DXF**

#### **Краткая характеристика**

Название:	AutoCAD DXF
Также известен как:	AutoCAD Drawing Interchange Format, DXF, .DXB, .SLD, .ADI

Тип данных:	Векторный
Сжатие:	нет
Макс. размер изображ.:	Неограниченный
Неск. изобр. в 1-м файле:	Нет
Разработчик:	Autodesk
Поддерживающ. прилож.:	AutoCAD, различные САПР, CorelDraw, др.
Использование:	Хранение и обмен САПР-(проектировочными) и векторными данными
Комментарии:	Сложный формат, в основном, потому что может содержать в себе много различных типов данных. Формат разработан и поддерживается компанией Autodesk с целью применения в САД-системе AutoCAD. Самая распространённая форма DXF — 7-битный текст, однако существует, также, два схожих двоичных формата, один из которых представляется в виде расширения DXF, а другой — DXB.

**Обзор.** Форматы AutoCAD DXF (Drawing Interchange (eXchange) Format) и AutoCAD DXB (Drawing Interchange Binary) связаны с САД-системой AutoCAD, созданной и поддерживаемой Autodesk. DXB — это упрощенная двоичная версия файла DXF. Другими форматами файлов, связанными с AutoCAD, являются форматы слайдов .SLD и графиков .ADI.

Несмотря на то, что DXF был разработан для представления данных в САПР, он используется многими другими программами как формат обмена многими различными типами данных, чаще всего векторно-ориентированной информацией, а также текстом и 3D-полигонами. Как формат



САПР, он также может выражать общие концепции черчения, такие как ассоциативные размеры.

Почти любой тип данных может быть каким-либо образом представлен в DXF. Например, программа для рисования CorelDraw! экспортирует контуры чертежа с объектом AutoCAD POLYLINE, в то время как 3D-программа может экспортировать только объекты 3DFACE, представляющие трёх- и четырёхсторонние многоугольники. DXF, также, позволяет создавать множество способов делать почти одно и то же, например, описывать объекты как отдельные редактируемые группы. Одна программа может размещать объекты на разных слоях рисунка, в то время как другая может использовать разные цвета пера, а третья может использовать именованные «блоки» для группировки данных.

Хоть DXF и широко используется для обмена простыми линейными данными, разработчик приложений, желающий поддерживать в них DXF, должен учитывать, что AutoCAD может хранить эти многочисленные типы данных различными способами.

Иногда правильная интерпретация файла DXF может быть очень сложной. Предполагаемый внешний вид линий и областей может зависеть от многих, казалось бы, непонятных настроек в заголовке DXF-файла. Поскольку файлы DXF очень сложно правильно интерпретировать, многие разработчики приложений решают экспортировать только DXF.

Даже среди программ, заявляющих об импорте DXF, можно обнаружить, что они поддерживают лишь часть всего, что возможно в DXF. Если есть необходимость создать свои собственные файлы DXF для передачи данных в программу, которая утверждает, что импортирует DXF, нужно убедиться, что известно, какие объекты она понимает.

С каждой новой версией AutoCAD, DXF изменяется. AutoCAD версии 13 во многом расширил формат DXF. Эти дополнения хранят информацию

о сложных поверхностях и твёрдых телах для геометрического механизма ACIS (Alan, Charles, Ian's System) компании Spatial Technology, который теперь является частью AutoCAD.

Очевидно, что формат файла DXF довольно сложный и тонкий. Далее приведена базовая структура любого файла DXF.

**Организация файла.** Файл DXF состоит из семи разделов: заголовка, таблиц, блоков, классов, объектов, сущностей и маркера конца файла.

— Раздел HEADER содержит переменные, представляющие состояние внутренних настроек AutoCAD. Например, для переменной версии AutoCAD «\$ACADVER» установлено значение «AC1012» в файле DXF, сохранённом в AutoCAD версии 13.

— Раздел TABLES содержит несколько массивов информации, используемой в остальной части чертежа, например список типов линий, имён слоев, шрифтов и предустановленных видов чертежа.

— Раздел BLOCKS содержит предопределенные элементы чертежа, которые могут присутствовать на чертеже. Например, блок может определять стандартную канавку, которая размещается на каждой секции вала определённого диаметра на чертеже. На определения блоков ссылаются в разделе ENTITIES с помощью команды INSERT.

— Разделы CLASSES и OBJECTS были представлены начиная с AutoCAD версии 13. Раздел CLASSES содержит описание любых определяемых приложением классов объектов, которые могут быть реализованы в разделах BLOCKS или ENTITIES.

— Раздел OBJECTS содержит неграфические части чертежа. Все сущности, которые не являются частью сущностей или таблиц символов, являются «объектами». Например, здесь хранятся словари AutoCAD.

— Раздел ENTITIES содержит фактические данные объекта чертежа. Сюда могут входить необработанные данные, такие как объекты LINE и ARC, а также команды INSERT, которые помещают предопределенное определение блока в определенную позицию на чертеже.

— Конец данных DXF отмечается директивой EOF в последней строке файла.

**Детали файла.** Файл DXF состоит из пар групповых кодов и связанных значений. Каждое из них находится в отдельной строке текстового файла. Целочисленный групповой код указывает тип значения, за которым следует. Групповые коды встречаются в диапазонах. Например, за групповыми кодами от 0 до 9 следуют строки, и каждый отдельный групповой код используется в определенных случаях. Групповой код 0 указывает на начало объекта, таблицы или индикатора конца файла. Код 1 указывает основное текстовое значение объекта. Код группы 2 используется для имён, таких как имена разделов, блоков, имен таблиц и т. д. Код 9 вводит имя переменной раздела заголовка. Например, в начале каждого файла DXF код группы 0 предшествует команде SECTION, за которой следует код группы 2 со строкой, указывающей тип раздела, например HEADER (см. листинг 1.1)

Листинг 1.1 — Демонстрация групповых кодов

```
1 0
2 SECTION
3 2
4 HEADER
5 9
6 $ACADVER
7 1
8 AC1012
```

Диапазоны групповых кодов указывают тип данных следующего значения. Групповые коды от 10 до 59 используются для значений с плавающей

точкой, таких как координаты точек. Коды с 60 по 79 хранят целочисленные значения. Например, для сохранения местоположения 2D-точки сначала используется групповой код 10 для значения X, затем код 20 используется для значения Y. Если объект имеет вторичное значение координаты, он также будет использовать групповые коды 11 и 21. Листинг 1.2 демонстрирует минимальный, но полный файл DXF, который описывает линию от точки (1,2) до (3,4) в плоском пространстве:

Листинг 1.2 — Минимальный состав работоспособного DXF-файла

```
1 0
2 SECTION
3 2
4 ENTITIES
5 999
6 This is just a line
7 0
8 LINE
9 8
10 0
11 10
12 1.0
13 20
14 2.0
15 11
16 3.0 21
17 4.0 0
18 ENDSEC
19 0
20 EOF
```

Код группы 999 предшествует комментарию. Эта строка будет помещена на слой 0, на что указывает групповой код 8. Этот минимальный файл является примером файла «только объекты», который будет принят практически любой программой, которая утверждает, что импортирует DXF.

Поскольку AutoCAD расширяется с каждой новой версией, добавляются новые групповые коды. При написании программы, которая читает файлы DXF, можно обеспечить совместимость в будущем, игнорируя неопределенные пары кода группы и значения. Одним любопытным аспектом DXF является то, что он не содержит цветовой палитры, однако большинству объектов в файле DXF можно присвоить отдельное значение цвета с групповым кодом 62. Каждому объекту чертежа может быть присвоен номер от 1 до 255, известный как AutoCAD Color Index, или ACI, также описанный в более ранней документации как «номер пера». Это отражает происхождение AutoCAD как пакета САПР, в котором чертежи обычно печатались на перьевом плоттере с несколькими чернильными перьями, но без стандартного соответствия фактическим значениям RGB или даже цветам линий на экране. AutoCAD теперь устанавливает цвет RGB по умолчанию для каждого ACI, когда он появляется на экране, но они не сохраняются в файле DXF [1].

### 1.1.2 Формат SVG

#### Краткая характеристика

Название:	image/svg+xml
Также известен как:	Scalable Vector Graphics, SVG, SVGZ (изображения, сжатые с помощью gzip)
Тип данных:	Векторный/растровый
Сжатие:	SVGZ
Макс. размер изображ.:	Неограниченный
Неск. изобр. в 1-м файле:	Нет
Разработчик:	World Wide Web Consortium (SVG Working Group)

Поддерживающ. прилож.:	Браузеры, редакторы изображений, инструменты и библиотеки
Использование:	Доступный обзор и обмен векторными изображениями, построение графиков, сложные элементы пользовательского интерфейса, логотипы, простые игры
Комментарии:	Язык для описания двумерной графики в XML, созданный Консорциумом Всемирной паутины (W3C). Поддерживает как неподвижную, так и анимированную интерактивную графику — или, в иных терминах, декларативную и скриптовую. Не поддерживает описания трёхмерных объектов.

**Обзор.** SVG - это язык для описания двумерной графики в XML (XML10, XML11). SVG позволяет создавать графические объекты трёх типов: векторные графические фигуры (например, контуры, состоящие из прямых линий и кривых), мультимедиа (растровые изображения, видео и аудио) и текст.

Документы SVG могут быть интерактивными и динамическими. Анимации могут быть определены и запущены либо декларативно (то есть путем встраивания анимационных элементов SVG в содержимое SVG), либо с помощью сценариев.

Достоинством формата SVG можно назвать, среди прочего, его представление в текстовом формате, то есть файлы SVG можно читать и редактировать при помощи обычных текстовых редакторов. При просмотре документов, содержащих SVG-графику, имеется доступ к просмотру кода просматриваемого файла и возможность сохранения всего документа. Кро-

ме того, SVG-файлы обычно получаются меньше по размеру, чем сравнимые по качеству изображения в форматах JPEG (Joint Photographic Experts Group) или GIF (Graphics Interchange Format), а также хорошо поддаются сжатию.

Масштабируемость изображения в формате SVG подразумевает возможность увеличить любую часть изображения SVG без потери качества.

Рассмотрим один из наиболее сложных используемых объектов svg, с помощью которого в последующем будут создаваться дуги. Этот объект обозначается как *path*. Он содержит в своём составе следующие атрибуты:

- $M(x,y)$ . Перемещение на абсолютные координаты  $x,y$ .
- $m(x,y)$ . Перемещение вправо на  $x$  и вниз на  $y$  (влево и вверх при отрицательных значениях).
- $L(x,y)$ . Рисование прямой линии до абсолютных координат  $x,y$ .
- $l(x,y)$ . Рисование прямой линии к точке, правее на  $x$  и ниже на  $y$  относительно настоящего положения (влево и вверх при отрицательных значениях).
- $H(x)$ . Рисование горизонтальной линии до абсолютной координаты  $x$ .
- $h(x)$ . Рисование горизонтальной линии вправо на  $x$  (влево при отрицательном значении).
- $V(y)$ . Рисование вертикальной линии до абсолютной координаты  $y$ .
- $v(y)$ . Рисование вертикальной линии вниз на  $y$  (вверх при отрицательном значении).
- $Z$ (или  $z$ ). Рисовать прямую линию в точку начала пути (*path*)

Дуга задаётся частью эллипса. Она задаётся атрибутом « $M$ ». Внутри — флаги величины и направления дуги. На рисунке 1.1 изображены результаты рисования дуги, в зависимости от сочетаний указанных флагов.

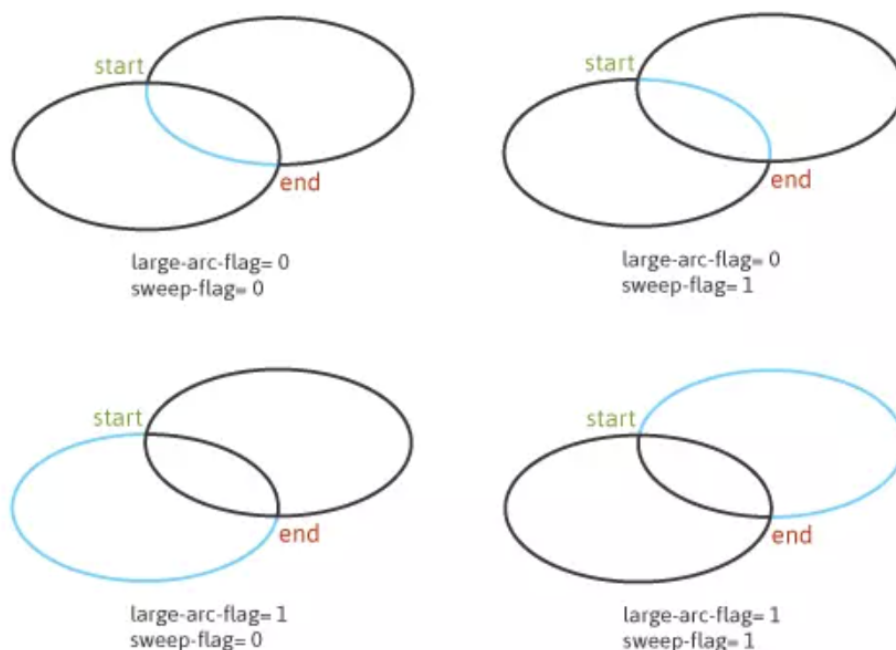


Рисунок 1.1 — Комбинации флагов дуг SVG

Таким образом, SVG имеет множество атрибутов, каждый из которых имеет свои особенности и требует особого внимания при задании (конвертации данных из других форматов).

**Организация файла.** Фрагмент документа SVG состоит из любого количества элементов SVG. Фрагмент может варьироваться от пустого фрагмента (т. е. без содержимого внутри, «svg» элемент), до очень простого фрагмента документа SVG, содержащего один SVG графический элемент, такой как "прямоугольник".

Фрагмент документа SVG может существовать сама по себе как автономный файл или ресурс, в этом случае Фрагмент документа SVG является документом SVG, или он может быть встроен в качестве фрагмента в родительский XML-документ.

В следующем примере (см. листинг 1.3) показано простое содержимое SVG, встроенное в виде фрагмента в родительский XML-документ. Стоит



обратить внимание на использование пространств имён XML, чтобы указать, что элементы «svg» и «эллипс» принадлежат пространству имён SVG:

Листинг 1.3 — Пример содержания SVG-файла

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <parent xmlns="http://example.org"
3   xmlns:svg="http://www.w3.org/2000/svg">
4   <!-- parent contents here -->
5   <svg:svg width="4cm" height="8cm" version="1.2"
6     baseProfile="tiny" viewBox="0 0 100 100">
7     <svg:ellipse cx="50" cy="50" rx="40" ry="20" />
8   </svg:svg>
9 </parent>
```

Фрагмент документа SVG может содержать только один «svg» элемент. Это означает, что «svg» элементы не могут находиться внутри другого SVG.

В любом случае, для соответствия либо пространству имён в XML 1.0, либо пространству имён в XML 1.1 согласно Рекомендациям (XML-NS10, XML-NS), объявление пространства имён SVG должно находиться в области видимости для элемента «svg», так чтобы все элементы SVG идентифицировались, как принадлежащие к пространству имён SVG [2].

### 1.1.3 Формат JSON

#### Краткая характеристика

Название:	json
Также известен как:	JavaScript Object, NotationJSON
Тип данных:	Текстовый
Разработчик:	Дуглас Крокфорд
Поддерживающ. прилож.:	Текстовые редакторы/обзорщики, специализированное ПО

Использование:	API, Web-сервисы, обмен большим объёмом данных
Комментарии:	Простой формат обмена данными, удобный для чтения и написания как человеком, так и компьютером.

**Обзор.** JSON основан на подмножестве языка программирования JavaScript, определенного в стандарте ECMA-262 3rd Edition - December 1999. JSON - текстовый формат, полностью независимый от языка реализации, но он использует соглашения, знакомые программистам С-подобных языков, таких как C, C++, C#, Java, JavaScript, Perl, Python и многих других. Эти свойства делают JSON идеальным языком обмена данными.

JSON основан на двух структурах данных:

1) Коллекция пар ключ/значение. В разных языках, эта концепция реализована как объект, запись, структура, словарь, хэш, именованный список или ассоциативный массив;

2) Упорядоченный список значений. В большинстве языков это реализовано как массив, вектор, список или последовательность.

Это универсальные структуры данных. Почти все современные языки программирования поддерживают их в какой-либо форме. Логично предположить, что формат данных, независимый от языка программирования, должен быть основан на этих структурах.

**Организация файла.** Следующий пример в листинге 1.4 показывает JSON-представление данных об объекте, описывающем человека. В данных присутствуют строковые поля имени и фамилии, информация об адресе и массив, содержащий список телефонов. Как видно из примера, значение может представлять собой вложенную структуру.

Листинг 1.4 — Организация JSON-файлов

```

1 {
2   "firstName": "Ivan",
3   "lastName": "Ivanov",
4   "address": {
5     "streetAddress": "Moskovskoe sh., 101, kv.101",
6     "city": "Leningrad",
7     "postalCode": 101101
8   },
9   "phoneNumbers": [
10    "812 123-1234",
11    "916 123-4567"
12  ]
13 }

```

## 1.2 Способы описания геометрии дуг

Данный раздел приведён в работе, так как дуги являются, исходя из опыта разработки алгоритмов и ПО «primiview», самыми сложными объектами для обработки из всех поддерживаемых геометрических примитивов.

Дуги можно описывать различными способами. Разработчики САПР ищут наиболее выгодные из них с целью удобства дальнейшей работы с примитивами. Выгодность может быть выражена в компактности или в простоте чтения параметров дуг.

В AutoCAD для описания дуг (ARC) используются следующие параметры:

- координата центра по  $Ox$ ,
- координата центра по  $Oy$ ,
- радиус,
- начальный угол,

- конечный угол.

При этом, в AutoCAD условно принято, что дуги рисуются по часовой стрелке.

Для описания геометрии дуги в SVG используются следующие параметры:

- координата начала по  $Ox$ ,
- координата начала по  $Oy$ ,
- радиус,
- флаг большой/малой дуги,
- флаг направления дуги,
- координата конца по  $Ox$ ,
- координата конца по  $Oy$ .

Как можно заметить, для описания дуг требуется достаточно много параметров, обрабатывать которые не всегда удобно.

Поэтому AutoCAD разработали собственный формат описания геометрии дуг (внутри полилиний (LWPOLYLINE)) в DXF. Он содержит координаты центра дуги и параметр выпуклости (*bulge*).

**Параметр «bulge».** Особый интерес представляет параметр *bulge* (выпуклость), определённый в DXF-формате для каждой из вершин полилинии. Чтобы понять сущность данного параметра, который представляет собой степень кривизны дуги окружности между двумя точками, необходимо сначала разобраться с геометрией дуг.

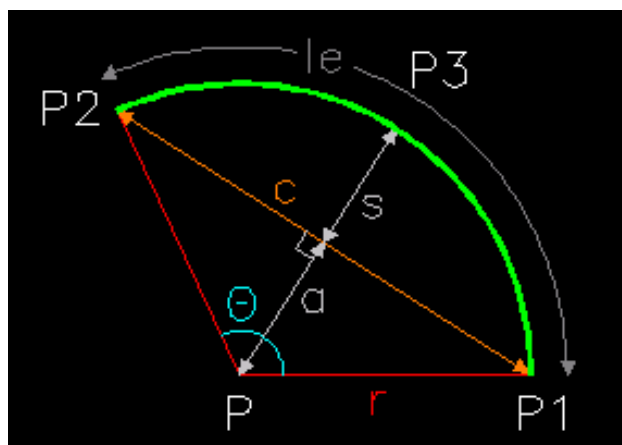


Рисунок 1.2 — Геометрия дуги окружности

Так как дуга окружности описывает часть окружности, то она и обладает всеми атрибутами (характеристиками) данной окружности (см. рис. 1.2). Среди них:

- Радиус ( $r$ ) — радиус дуги такой же, как и у окружности;
- Центр ( $P$ ) — тот же, что и у окружности;
- Центральный угол ( $\Theta$ ) — в окружности равен  $360^\circ$ ;
- Длина дуги ( $le$ ) — является частью периметра (длины) окружности.

Для дальнейшей работы с геометрией дуг примем, также, следующие специфичные атрибуты (характеристики):

- Начальная и конечная точка ( $P_1, P_2$ ) — это «вершины» дуги. Хотя иногда и целесообразно говорить о конкретных точках, не лежащих на концах дуги;

- Длина хорды ( $c$ ) — у дуг и окружностей можно провести бесконечное количество хорд, но для нас интерес представляет только хорда, проходящая через её вершины;

- Середина дуги ( $P_3$ ) — точка, делящая дуги с данными вершинами на две, равные по длине, дуги;

- Апофема ( $a$ ) — это отрезок, вершинами которого являются середина дуги и её центр. Апофема перпендикулярна хорде;
- Высота дуги ( $s$ ) — это отрезок, проведённый из середины дуги перпендикулярно к хорде.

Кроме самой себя, дуга может, также, и описывать другие геометрические формы: круговой сегмент и сектор. Обе геометрические формы включают в себя все вышеперечисленные атрибуты, однако для выведения формулы параметра *bulge* (выпуклости), потребуется рассмотрение только кругового сектора.

В документации AutoCAD [3] выпуклостью называется тангенс четверти угла дуги между выбранной вершиной и следующей вершиной в списках вершин полилиний. Отрицательность параметра *bulge* указывает на то, что дуга отрисовывается по часовой стрелке от выбранной вершины к следующей. Выпуклость, равная нулю — прямой сегмент, выпуклость, равная единице — половина окружности.

Проблема «расшифровки» атрибутов дуги (в составе полилинии) для дальнейших манипуляций с ней заключается в том, что входными данными являются только координаты вершин и рассматриваемый параметр — *bulge*.

В самом деле, взяв арктангенс от параметра *bulge* и умножив его на 4, легко получить центральный угол, на который опирается рассматриваемая дуга. Результат получается в радианах. Для перевода значения в градусы, необходимо умножить это значение на  $\pi$  и разделить на  $180^\circ$ .

Для вывода данной зависимости, рассмотрим дугу окружности (см. рис. 1.3).

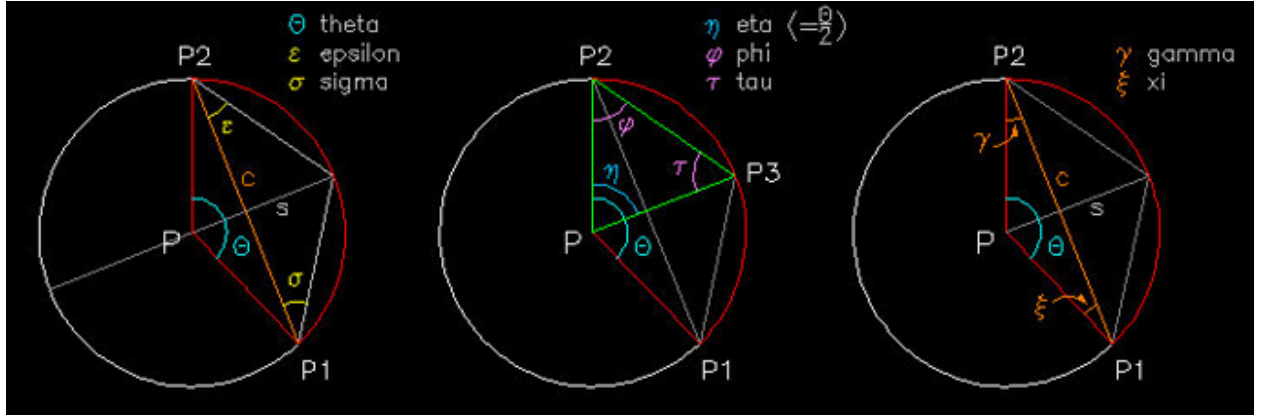


Рисунок 1.3 — Дуга окружности с проведённой хордой и углами при ней

Если провести к углу  $\Theta$  биссектрису, то получится синий угол  $\eta$ . В итоге, получается равнобедренный треугольник (зелёный), в котором углы  $\varphi$  и  $\tau$  равны. Поскольку сумма углов в треугольнике всегда равна  $180^\circ$ , то углы  $\varphi$  и  $\tau$  равны следующему (1.1):

$$\varphi = \tau = \frac{(180^\circ - \frac{\Theta}{2})}{2} \Rightarrow \varphi = 90^\circ - \frac{\Theta}{4}. \quad (1.1)$$

Рассмотрим хорду  $c$ , проведённую от  $P_1$  до  $P_2$ . Вместе с красными катетами угла  $\Theta$  она тоже образует равнобедренный треугольник, а значит,  $\gamma = \xi$ . Угол при вершине треугольника  $PP_1P_2$  — это центральный угол  $\Theta$ , поэтому  $\gamma$  и  $\xi$  вычисляются следующим образом (1.2):

$$\gamma = \xi = \frac{180^\circ - \Theta}{2} \Rightarrow \gamma = 90^\circ - \frac{\Theta}{2}. \quad (1.2)$$

Таким образом, жёлтый угол  $\varepsilon$  равен разнице между фиолетовым углом  $\varphi$  и оранжевым углом  $\gamma$ . Получим, что угол  $\varepsilon$  — это четверть центрального угла  $\Theta$  (1.4):

$$\varepsilon = (90^\circ - \frac{\Theta}{4}) - (90^\circ - \frac{\Theta}{2}) \Rightarrow \varepsilon = \frac{\Theta}{2} - \frac{\Theta}{4} = \frac{\Theta}{4}. \quad (1.3)$$

Параметр *bulge* (выпуклость) описывает, насколько дуга «выпирает» из вершин, то есть насколько велика высота дуги ( $s$ ) (или расстояние от  $P_3$  до  $P_4$ ). Высота образует катет прямоугольного треугольника с углом, равным четверти центрального угла (см. жёлтый треугольник  $PP_2P_3$  на рис. 1.4), и поскольку тангенс описывает отношение между катетами в прямоугольном треугольнике, легко описать геометрию с помощью этого одного угла (1.4):

$$\frac{P_4P_3}{P_2P_4} = \frac{\sin(\varepsilon)}{\cos(\varepsilon)} = \tan(\varepsilon). \quad (1.4)$$

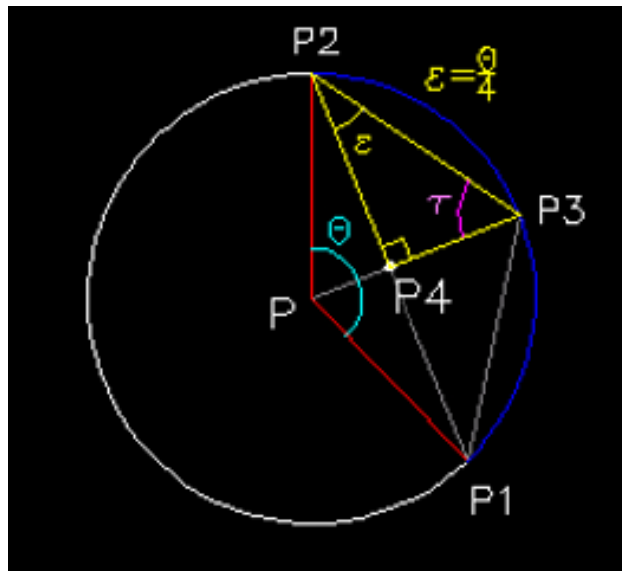


Рисунок 1.4 — Связь угла  $\varepsilon$  с центральным углом

Тангенс угла  $\varepsilon$  можно, также, найти, просто разделив противолежащий катет на смежный катет (1.4) — что означает высоту дуги  $s$ , делённую на половину длины хорды  $c$ . Теперь выразим неизвестную высоту дуги  $s$  через  $\tan(\varepsilon)$  и  $c$  (1.5):

$$s = \frac{c}{2} \cdot \tan(\varepsilon). \quad (1.5)$$



Примем

$$\tan(\varepsilon) = bulge. \quad (1.6)$$

Тогда

$$s = \frac{c}{2} \cdot bulge. \quad (1.7)$$

Через общеизвестную зависимость радиус дуги может быть найден следующим образом (1.8):

$$r = \frac{(\frac{c}{2})^2 + s^2}{2s}. \quad (1.8)$$

Знак той или иной выпуклости важен для определения дуги относительно вершин. Если выпуклость положительна, это означает, что дуга идёт против часовой стрелки от начальной вершины до конечной вершины. Если выпуклость отрицательна, это означает, что дуга идет, наоборот — по часовой стрелке.

При нахождении радиуса через параметр выпуклости, однако, следует брать абсолютное значение выпуклости, чтобы длины  $s$  и  $c$  оставались положительными (1.7).

Итак, поняв, что  $bulge = \tan(\frac{\Theta}{4})$ , в соответствии с документацией AutoCAD [3] принимается, что  $bulge$  положителен, когда при передвижении от начальной точки дуги к конечной движение происходит против часовой стрелки.

Ясно, что при  $\Theta = 0$  выпуклость  $bulge(\Theta) = 0$ . Для углов в  $180^\circ$ :  $bulge(\Theta) = \pm 1$ . В случае, когда  $\Theta = 90^\circ$ , получим следующее (1.9):

$$bulge(90^\circ) = \tan(\frac{90^\circ}{4}) = \tan(\frac{\pi}{8}). \quad (1.9)$$

Используя зависимость для тангенса половинного аргумента (1.10):

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \pm \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \pm \frac{2 \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \pm \frac{1 - \cos(x)}{\sin(x)}. \quad (1.10)$$

для  $\alpha = \frac{\pi}{8}$  получим (1.11):

$$bulge(90^\circ) = \tan\left(\frac{\pi}{8}\right) = \pm \frac{1 - \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)} = \pm \frac{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \pm \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = \pm(\sqrt{2} - 1). \quad (1.11)$$

В результате, математические данные совпадают с документацией AutoCAD [3] и гласят, что

- а)  $bulge = 0$  для отрезка прямой,
- б)  $bulge = \pm 1$  для дуги в  $180^\circ$  (половина окружности),
- в)  $bulge = \pm(\sqrt{2} - 1) \approx 0.41421...$  для четвертей окружностей, когда угол раствора дуги равен  $90^\circ$ .

### 1.3 Актуальное состояние проблемы использования файловых форматов в области САПР

САПР используют множество разных форматов хранения и передачи данных. Проблема заключается в унификации форматов с целью сокращения их числа и снижении нагрузки с процессов переконвертации и обработки различных форматов данных для получения необходимой информации внутри САПР.

Хотя задача полной унификации используемых форматов файлов вряд ли может быть полностью решена для современных ПП, однако, в последние десятилетия развития технологий разработки программного обеспечения накоплены подходы, позволяющие значительно снизить остроту проблем,

прежде всего за счёт продуманного использования открытых форматов хранения и обмена данными. При этом важны как функциональность формата, то есть то, какие именно данные он содержит, так и организация, то есть представление хранимых данных.

Например, для хранения и обмена геометрической информацией в САПР «Сириус» используется унаследованный двоичный формат DBS. Однако сложность чтения двоичного формата, неудобство хранения геометрической информации, а также акцент формата на экономии памяти препятствуют эффективной работе по обмену информацией между ПО. По этим причинам программистами САПР «Сириус» принято решение заменить данный формат другим — более простым и удобным JSON.

На разных этапах как научных исследований, так и технологической подготовки производства, возникает потребность визуализации разнообразной геометрической информации, такой как геометрия деталей и ограничивающих их контуров, положение допустимых точек врезки и выключения инструмента, маршруты, получаемые в ходе решения различных классов задач резки, а также маршруты движения резака, получаемые после обработки постпроцессором и т.п.

Разработка в этих целях специальных графических утилит является традиционным подходом. Альтернативой, как пишет к.т.н. Уколов [4], является визуализация путём экспорта в удобочитаемый и поддерживаемый широкораспространёнными приложениями формат, например, в SVG. Векторные изображения, хранящиеся в этом формате, можно открывать с помощью любых современных браузеров; для формата доступно большое количество готовых библиотек; а также, формат кросс-платформенный, что означает возможность обозрения файлов данного типа на большинстве платформ и операционных систем.

В целях хранения промежуточных геометрических данных для дальнейшей обработки, а также для контроля содержания необходимых (поддерживаемых) примитивов (объектов) в DXF-файле, в рамках данной работы и проекта по разработке подсистем САПР *ТокКТЭ* разработан новый формат хранения данных в текстовом документе — ТХТ(DXF-type), который описан в разделе 1.4. Также, с помощью данного формата может производиться расчёт длины траектории контура детали (обычно, в поперечном её сечении). Это может быть полезно при применении ПО в области лазерной резки с помощью станков с ЧПУ, а, в частности, в САПР «Сириус» [5].

В рамках этой работы и проекта по разработке подсистем САПР «*ТокКТЭ*» был, также, изобретён формат хранения данных в текстовом файле — ТХТ(x,y,r) в виде координат и радиуса (описание в разделе 1.4). Он применяется для автоматизированного технологического проектирования, для формирования УП. Информация в данном формате о примитивах изображения контура детали используется для непосредственного составления УП, так как каждая последующая точка имеет не только плоские координаты, но и способ достижения этой точки (тип примитива: отрезок, если радиус равен нулю; дуга, если радиус ненулевой).

В целом, разрабатываемый набор конвертеров (модуль экспорта) представляет собой цельный ПП, сочетающий в себе набор необходимых разработчику УП начальных функций для автоматизированного технологического проектирования. Это ПО может быть интегрировано в подсистемы САПР по работе с файлами, так как по сути универсально в своём применении (используется в области 2D-резки, токарной обработке).

Несмотря на применимость в области САПР, приложение разрабатывалось с учётом возможности его использования пользователями для их собственных целей, не связанных с САПР. ПО, также, можно внедрять в другие приложения, работающие с указанными форматами данных.

## 1.4 Постановка задачи

Необходимо разработать алгоритмы и программное обеспечение по конвертации данных из формата DXF в форматы TXT (DXF-type), TXT(x,y,r), SVG, JSON. Конвертеры должны удовлетворять условиям простоты, скорости и удобства при разработке и использовании в ПО и САПР, в том числе предназначенных для генерации УП для станков с ЧПУ.

Формат TXT (DXF-type) должен содержать названия объектов (сущностей) с атрибутом в скобках, под которыми они отображаются в DXF-формате (LINE, ARC и т.д.) в отдельных строках, после каждой из которых указываются основные параметры этих объектов (см. листинг 1.5). Для линий указываются координаты начала и конца. Для дуг и окружностей — координаты центра и радиус. Для полилиний — координаты точек, соединённых линиями.

Листинг 1.5 — Пример содержание файла формата TXT(DXF-type)

```
1 LINE(#38)
2 156.732 67.105
3 124.332 67.105
4 ARC(#75)
5 -3.0 15.0 5.0
6 CIRCLE(#2B9)
7 0.0 0.0 20.0
8 LWPOLYLINE(#2A9)
9 0.0 0.0 10.0 0.0 10.0 10.0 0.0 10.0
```

Формат выходного файла TXT(x,y,r) содержит в каждой строке по три параметра: координата абсциссы точки, координата ординаты и радиус перехода от предыдущей точки к данной (последний *bulge* DXF-файла, при незамкнутом контуре полилинии, не имеет смысла). Пример содержания такого файла показан в листинге 1.6.

### Листинг 1.6 — Пример содержания файлов формата TXT(xyr)

```
1 160.00 0.00 0
2 170.00 0.00 5.00
3 175.00 0.00 0
4 165.00 0.00 5.00
5 175.00 0.00 0
6 195.00 -20.00 20.00
```

Формат SVG стандартизован (см. раздел 1.1.2). При его открытии любым из доступных способов (с помощью Интернет-браузера, например) должно корректно отображаться поддерживаемые объекты входного DXF.

Формат JSON так же стандартизован (раздел 1.1.3), однако после конвертации файлы в этом формате должны содержать данные по двум тэгам: *partid* и *paths*, как это показано в листинге 1.7.

### Листинг 1.7 — Пример содержания целевого JSON-файла

```
1 [{
2     "partid": "LIST",
3     "paths": [
4         [
5             [0, 0, 0],
6             [0, 2000, 0],
7             [5000, 2000, 0],
8             [5000, 0, 0],
9             [0, 0, 0]]
10    ], {
11    "partid": "00112",
12    "paths": [
13        [
14            [322, 1045, 1],
15            [448, 1045, 1],
16            [322, 1045, 0]],
17        [
18            [72, 1045, 1],
19            [198, 1045, 1],
```

```

20     [ 72, 1045, 0 ] ],
21     [
22     [ 197, 785, 1 ] ],
23     [ 323, 785, 1 ] ],
24     [ 197, 785, 0 ] ]
25     ] }

```

Здесь в тэге *pathid* указывается наименование детали, а в тэге *paths* — координаты точек и параметры *bulge*.

Схема работы приложения представлена на рисунке 1.5.

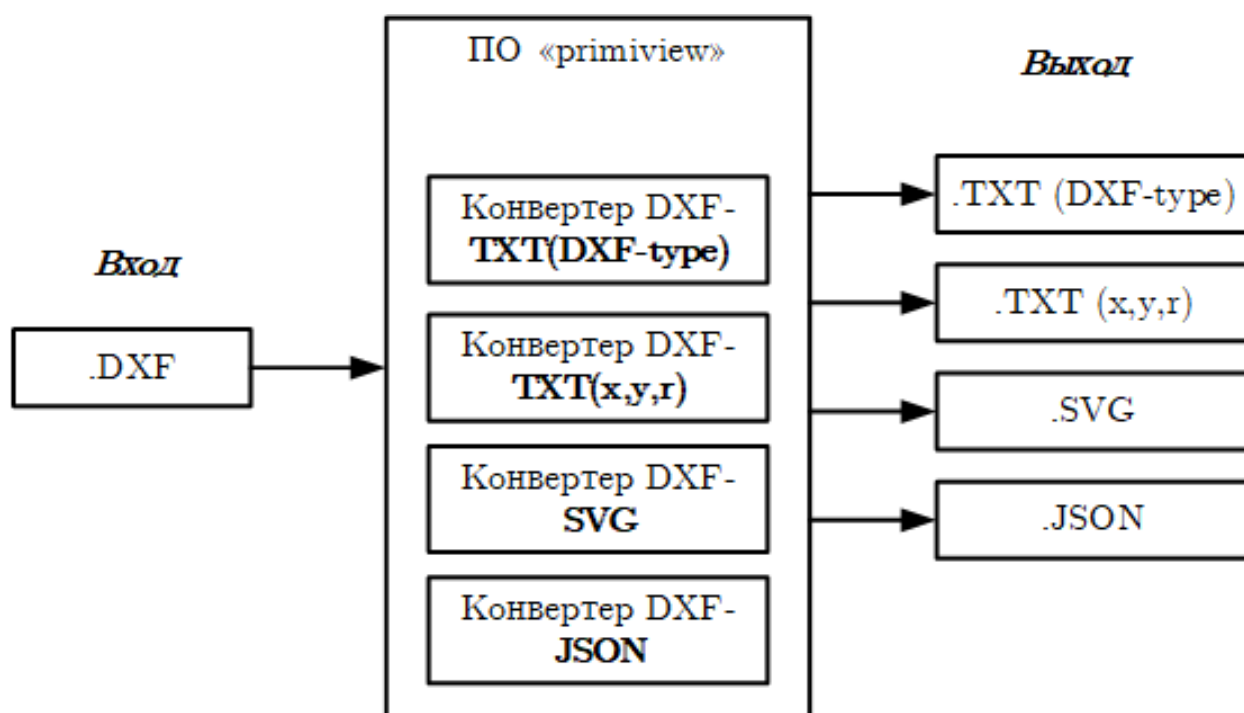


Рисунок 1.5 — Схема работы разрабатываемого ПО

Кроме конвертации данных, необходимо предусмотреть в приложении визуализацию прочитанных из DXF-файла геометрических данных для проверки корректности чтения их программой (т.е. для верификации).

**Главные требования ко входному DXF-файлу.** Так как данная работа нацелена на создание ПО для обработки геометрической ин-

формации 2D-объектов специального типа, то конвертироваться из DXF-файлов должна не вся информация, содержащаяся в них. В первую очередь, заказчиком работы было определено, что на входе будет подаваться 2D-контур деталей типа «Втулка», то есть тел вращения. Так как сконвертированная геометрия данных объектов в последующем предполагает разработку УП для токарных станков с ЧПУ, то геометрическая информация должна содержать определённый набор геометрических примитивов, с которым может работать система исполнительных органов станков с ЧПУ. Этот набор ограничивается тем, что исполнительные органы станков с ЧПУ способны перемещаться либо с помощью линейной, либо с помощью круговой интерполяции. Из этого следует, что для корректной работы САПР, для которых предназначаются разрабатываемые конвертеры, геометрия в DXF-файле на входе конвертеров должна состоять из, как минимум одного из представленных далее примитивов:

- а) линия (отрезок),
- б) полилиния,
- в) дуга,
- г) окружность.

Остальные типы геометрии, реализуемой в формате DXF, такие как эллипс, сплайн, будут игнорироваться ПО.

На вход разрабатываемому конвертеру подаётся файл формата DXF. Формат DXF представляет собой совокупность данных с тегами всей информации, содержащейся в файле чертежа AutoCAD. Тегированные данные означают, что каждому элементу данных в файле предшествует целое число, называемое групповым кодом. Значение группового кода указывает, какой тип данных имеет следующий элемент. Это значение также указывает смысл элемента данных для данного типа объекта. Практически вся указанная пользователем информация в файле чертежа может быть



представлена в формате DXF [3]. В DXF файлах, в зависимости от их содержания, существуют сущности, представляющие для нас интерес. Среди них следующие:

- а) LINE (Линия),
- б) LWPOLYLINE (Полилиния),
- в) ARC (Дуга),
- г) CIRCLE (Окружность),
- д) INSERT (Вставка).

Как уже и было отмечено, существуют и другие примитивы (ELLIPSE, SPLINE и др.), однако, основываясь на конкретных целях заказчика по возможности применения выходных файлов для генерации УП, ПП проектируется только с указанными примитивами и сущностями DXF.

Рассмотрим каждую из сущностей подробнее.

**LINE.** Рассмотрим тэги сущности *Линия*, необходимые для её реального отображения (см. табл. 1.4).

Таблица 1.4 — Рассматриваемые групповые коды сущности LINE

Групповой код	Описание
39	Толщина (необязательный; по умолч. = 0)
10	Начальная точка (в с.к. объекта) DXF: значение X
20, 30	DXF: Y и Z значения начальной точки (в с.к. объекта)
11	Конечная точка (в с.к. объекта) DXF: значение X
21, 31	DXF: Y и Z значения конечной точки (в с.к. объекта)

**LWPOLYLINE.** Рассмотрим тэги сущности *Полилиния*, необходимые для её реального отображения (см. табл. 1.5).

Таблица 1.5 — Рассматриваемые групповые коды сущности POLYLINE

Групповой код	Описание
70	«Флаг» полилинии (бит-закодировано); по умолч. = 0; 1 – закрыта
39	Толщина (необязательный; по умолч. = 0)
10	Координаты вершин (в с.к. объекта), множественные вхождения; по одному вхождению для каждой вершины DXF: значение X
20	DXF: значение Y координат вершин (в с.к. объекта), множественные вхождения; по одному вхождению для каждой вершины
42	<i>Bulge</i> . Выпуклость (множественные вхождения - для каждой вершины), (необязательно; по умолч. =0)

**ARC.** Рассмотрим тэги сущности *Дуга*, необходимые для её реального отображения (см. табл. 1.6).

Таблица 1.6 — Рассматриваемые групповые коды сущности ARC

Групповой код	Описание
39	Толщина (необязательный; по умолч. = 0)
10	Центр дуги (в с.к. объекта) DXF: значение X
20, 30	DXF: Y и Z значения центра дуги (в с.к. объекта)
40	Радиус
50	Начальный угол
51	Конечный угол

**CIRCLE.** Рассмотрим тэги сущности *Окружность*, необходимые для её реального отображения (см. табл. 1.7).

Таблица 1.7 — Рассматриваемые групповые коды сущности CIRCLE

Групповой код	Описание
39	Толщина (необязательный; по умолч. = 0)
10	Центр дуги (в с.к. объекта) DXF: значение X
20, 30	DXF: Y и Z значения центра дуги (в с.к. объекта)
40	Радиус
50	Начальный угол
51	Конечный угол

**INSERT.** Данная сущность представляет собой вставку блоков с геометрией. Её необходимо рассматривать, так как геометрия может быть вложенной и, таким образом, не видна обзорщиком сущностей, так как вложена. У этой сущности поиск информации по тэгам в программе не потребуются.

## 1.5 Выводы по главе 1

Анализ состояние вопросов конвертации данных и графических файлов DXF показал, что:

- Задача по конвертации данных из разных форматов с целью обмена графической информацией в САПР сложна и требует, как специальных знаний в области изучаемых форматов, так и опыт в разработке алгоритмов и ПО по ним для САПР;

- Существуют предложения открытого рынка по ПП, конвертирующим DXF файлы. Однако эти решения не удовлетворяют потребностям,

предъявляемым к выходным форматам данных в рамках разработки и использования САПР «Сириус», ПО «ТокКТЭ» и других систем, разрабатываемых в рамках проектов УрФУ и УМНОЦ;

— Для корректной работы программы, разработчику алгоритмов и ПО необходимы знания геометрии примитивов (в особенности, дуг), с которыми ведётся работа.

## 2 Разработка файловых конвертеров в виде приложения «primiview»

Программное обеспечение решено назвать «*primiview*», где «*primi*» — сокращение от англ. *primitive* (*примитив*), *view* — в переводе с англ. *обзор*.

В данном разделе описана основная часть ВКР, т.е. разработка алгоритмов и ПО по конвертированию формата DXF в TXT(DXF-type), TXT(x,y,r), SVG, JSON.

### 2.1 Выбор языка программирования

Для написания программы выбран язык программирования Python версии 3.11. Выбор языка программирования обусловлен несколькими факторами.

**Библиотеки.** Для создания описанного ПП необходимо привлечение различных библиотек, так как написание собственных утилит занимает слишком много времени и невозможно для выполнения в рамках данной работы. Кроме стандартных библиотек, с Python можно использовать множество прикладных, несколько из которых будут описаны в следующих частях работы. Специфичные библиотеки, позволяющие «читать» DXF-файл и обрабатывать содержимое внутри него, написаны не для каждого ЯП. Библиотека «*ezdxf*» для Python позволяет быстро и удобно выполнять данные операции.

**Кроссплатформенность.** Большинство программ, написанных на Python, выполняются корректно на всех основных платформах. Перенос программы между операционными системами реализуется простым копированием кода. Кроме того, в процессе разработки ПО, для реализации пользовательского интерфейса используется набор расширений Qt, который

тоже работает на таких платформах, как Linux и другие UNIX-подобные ОС, macOS и Windows.

**Скорость и удобство разработки.** Удобочитаемость, ясность и высокое качество этого языка позволяют повысить производительность разработчика во много раз, сравнивая, например, с компилируемыми или строго типизированными языками, такими как C, C++ и Java. Объём программного кода на языке Python обычно составляет треть или даже пятую часть эквивалентного программного кода на языке C++ или Java. Кроме того, при запуске программы, написанной на ЯП Python минуются длинные этапы компиляции и связывания, необходимые в некоторых других ЯП, что, также, увеличивает производительность труда программиста [6].

В ходе сравнительного анализа языков программирования для использования особое внимание уделялось чтению DXF. В тоткрытом доступе были найдены библиотеки для Python (*ezdxf*), C#(*netDxf*), для C++ и других языков были найдены исходные коды, позволяющие обрабатывать DXF-файлы.

В итоге, учитывая вышеприведённые аспекты-преимущества языка Python, а также опыт по написанию ПО на этом языке, учитывая крайне высокую степень разработки библиотеки *ezdxf*, было принято решение использовать язык Python и библиотеку *ezdxf* для разработки конвертеров в виде приложения «primiview».

## **2.2 Принцип работы приложения «primiview».**

Для создания ПО необходимо сначала разработать концепцию функционирования программы, опираясь на её назначение, на основные её функции. Когда определены модули, блоки и функциональные части ПО, можно приступать к разработке его на выбранном ЯП.

Основываясь на цели, поставленной во введении, разрабатываемая утилита должна принимать на входе DXF-файл, то есть открывать его и обрабатывать его содержимое. Для проверки правильности обработанных данных, то есть, для верификации содержимого DXF-файла, программа должна визуализировать для пользователя обработанное. После верификации обработанных данных и, соответственно, подтверждения соответствия их исходным, пользователю должна предоставляться возможность конвертировать эти данные в какой-либо из предлагаемых форматов. За это отвечает модуль экспорта, который, в свою очередь, подразделяется на четыре модуля, отвечающие за преобразование данных в различные форматы. Среди них следующие:

а) Модуль экспорта в TXT-файл, где данные будут представлены в такой же форме, как и в оригинальном DXF-файле, за исключением того, что содержаться в нём будут только поддерживаемые сущности (LINE, POLYLINE, ARC, CIRCLE).

б) Модуль экспорта в TXT-файл, в котором поддерживаемые сущности будут представлены сочетанием двух строк, первая из которых — начальная точка примитива, вторая — конечная. Вторая строка содержит в себе радиус скругления примитива, переходящего из первой точки во вторую.

в) Модуль экспорта в формат SVG, который, при открытии, векторно отображает информацию в нём.

г) Модуль экспорта JSON-формат. В данном формате, по подобию формату TXT (x, y, r), содержаться точки, олицетворяющие начало и конец того или иного примитива. В данном случае информация в файле тэгированная, что означает, что в дальнейшем несложно будет получить желаемые куски данных из потенциально объёмного JSON-файла путём обращения по желаемому тэгу.

Схему, отображающую основное содержание разрабатываемого ПО, можно наблюдать на рисунке 2.1.

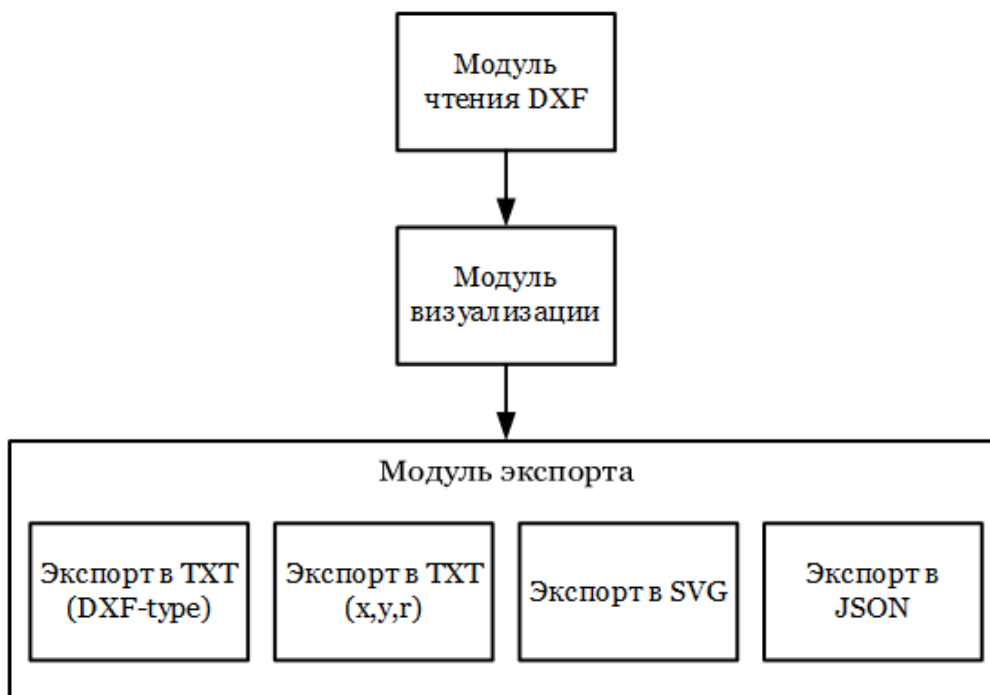


Рисунок 2.1 — Принципиальная структура ПО «primiview»

### 2.3 Внутрепрограммная репрезентация информации о геометрических примитивах

Учитывая то, что проблема с работой по чтению входных DXF-файлов решена с помощью библиотеки *ezdxf*, задача разработки ПО фактически свелась ко внутренней репрезентации необходимой геометрической информации внутри программы для дальнейшей работы с ней.

Есть несколько вариантов хранения геометрических данных в программе на ЯП Python: списки, словари и классы.

В списках обычно хранятся объекты одного типа (например, только координаты в виде чисел). Это не удовлетворяет потребности обмена дан-



ными, так как нужная геометрическая информация из DXF содержит в себе и строковые, и булевы значения, а также другие типы данных.

Словари обеспечивают более простой и понятный доступ к полям, чем списки (то есть не по числовым индексам, а по ключам). Однако словари имеют некоторые ограничения, которые могут оказаться существенными по мере разработки программы.

Во-первых, в словарях не предусмотрено место для централизованного хранения логики обработки записей. Это допустимо в разрабатываемом ПО, так как функции работы с геометрическими примитивами в частях программы имеют одинаковый характер, поэтому не требуется прописывать поведение каждого класса объектов [7].

Однако недостаток использования словарей для представления записей, заключающийся в том, что со временем их становится трудно расширять, является решающим при выборе типа данных для хранения информации о геометрических примитивов. Так как ПО «primiview» требуется постоянно модифицировать для работы с новыми файловыми форматами, то основные изменения исходят из взятия из исходных DXF-файлов дополнительной информации для её последующей обработки. Поэтому сложность дополнения словарей новой информацией недопустима при разработке данного ПО.

Кроме прочих преимуществ хранения данных с помощью классовых свойств, ценна возможность создания списков внутри классов, которые позволяют объединять однородную по типу информацию, что упрощает её дальнейшую обработку.

Таким образом, учитывая вышеприведённые аргументы, а также следуя принципам объектно-ориентированного программирования (ООП) в разработке ПО, принято решение хранить каждый примитив в виде объекта класса этих примитивов.

Предусмотрен отдельный класс данных (*DxfData*), работающий с примитивами, извлечёнными из DXF. Он содержит в себе списки объектов соответствующих классов (линия, дуга, др.), а также методы (функции внутри класса) по работе с ними.

Схема, отображающая структуру хранения данных из DXF-файлов внутри программы приведена на рисунке 2.2.

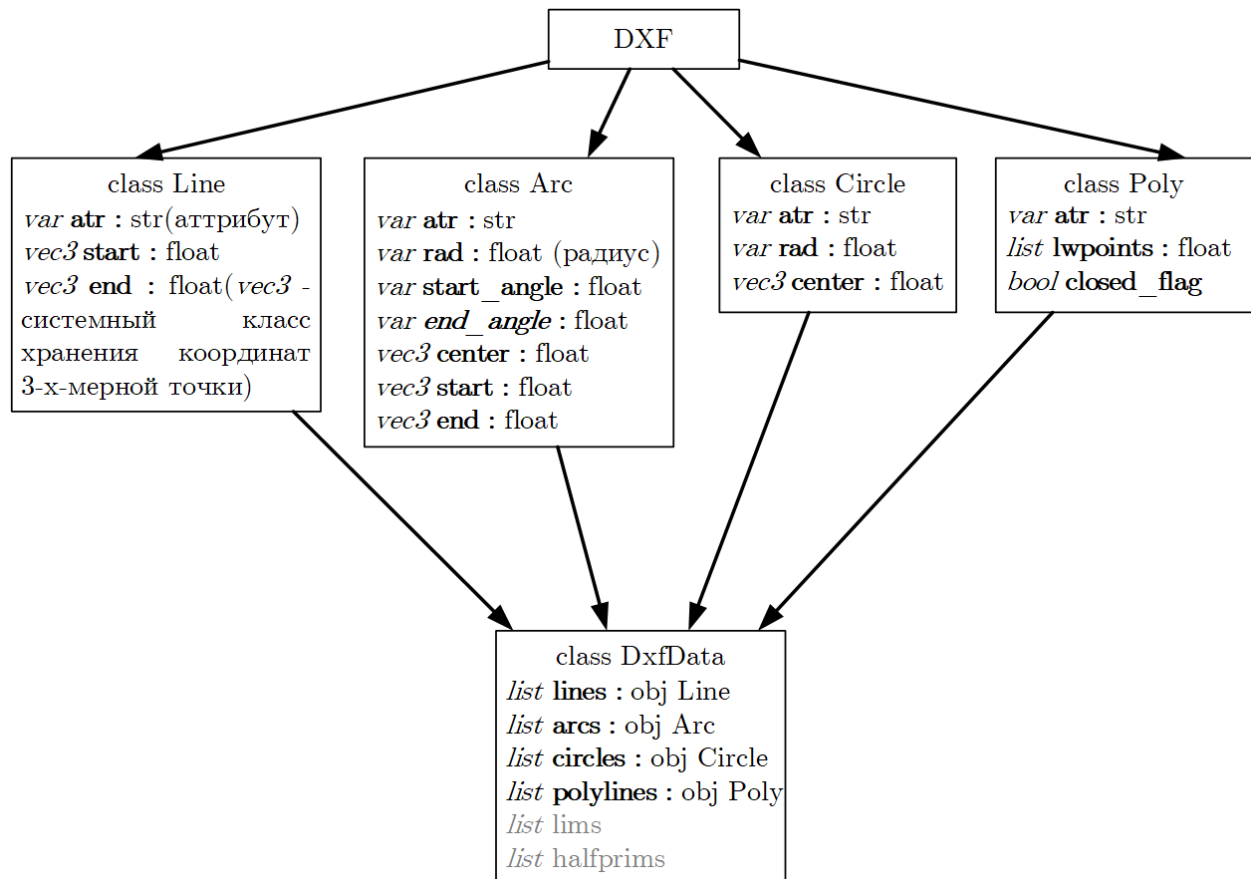


Рисунок 2.2 — Структура хранения данных в ПО «primiview»

## 2.4 Разработка алгоритмов

Алгоритм 1 показывает схему работы процесса извлечения поддерживаемых ПО «primiview» примитивов из выбранного DXF-файла.

На первой итерации осуществляется разбиение блоков, в которых могут быть «спрятаны» остальные сущности. В случае, если пропустить данный этап, то объекты, находящиеся внутри блоков не будут видны библиотекой *ezdxf*, которая используется для чтения DXF-файлов.

После «разрушения» всех блоков примитивы становятся «видимыми». Далее запускается цикл, итерирующий объекты пространства объектов модели (*modelspace*). В случае совпадения объекта с одной из поддерживаемых сущностей, она сохраняется в список соответствующих объектов в оперативной памяти программы. Списком далее будет называться изменяемый упорядоченный тип данных, представляющих собой последовательность элементов, разделённых между собой запятой и заключённых в квадратные скобки. Данный тип данных используется в ЯП Python.

Примем ряд условных обозначений:

$\rightsquigarrow$  — запись в файл;  $--\rightarrow$  — запись объекта в множество.

**Исходные данные:** путь к DXF-файлу

**Результат:** массивы примитивов и информации о них в оперативной памяти программы

```
1 для каждого INSERT ∈ msp выполнять
2   | разбиение INSERT-блоков
3 конец цикла
4 для каждого объекта ∈ msp выполнять
5   | если объект явл. линией тогда
6     | объект. --→ множ. линий
7   | конец условия
8   | иначе если объект явл. дугой тогда
9     | объект --→ множ. дуг
10  | конец условия
11  | иначе если объект явл. окружностью тогда
12    | объект --→ множ. окружностей
13  | конец условия
14  | иначе если объект явл. полилинией тогда
15    | объект --→ множ. полилиний
16  | конец условия
17 конец цикла
```

**Алгоритм 1** — Сохранение поддерживаемых примитивов из DXF в оперативную память программы

**Алгоритм записи примитивов в TXT (DXF-type).** Принцип данного алгоритма (см. алгоритм 2) основан на открытии созданного TXT-файла, а после — перебора прочитанных из DXF примитивов и записи из каждого из них необходимой информации в открытый для редактирования TXT-файл.

**Исходные данные:** данные из DXF, путь к имя.txt

**Результат:** имя.txt (как DXF)

```
1 инициализация; для каждого LINE выполнять
2 |   атрибут сущности,  $x_0, y_0, x_1, y_1 \rightsquigarrow$  имя.txt
3 конец цикла
4 для каждого ARC выполнять
5 |   атрибут сущности,  $x_0, y_0, x_1, y_1, r \rightsquigarrow$  имя.txt
6 конец цикла
7 для каждого CIRCLE выполнять
8 |   атрибут сущности,  $x_c, y_c, r \rightsquigarrow$  имя.txt
9 конец цикла
10 для каждого LWPOLYLINE выполнять
11 |   атрибут сущности;
12 |   для каждого LWPOLYLINE выполнять
13 |       для каждого координата выполнять
14 |           координата  $\rightsquigarrow$  имя.txt
15 |       конец цикла
16 |   конец цикла
17 конец цикла
```

**Алгоритм 2** — Запись примитивов в TXT (DXF-type)

В алгоритме 2  $x_0, y_0$  — координаты начала примитива;  $x_1, y_1$  — координаты конца примитива;  $x_c, y_c$  — координаты центра окружности;  $r$  — радиус дуги или окружности.

**Алгоритм записи примитивов в TXT (x,y,r).** Алгоритм 4 призван, так же как и в прошлом случае, в открытый только что созданный текстовый файл записать информацию о примитивах, которые были прочитаны из выбранного DXF-файла.

Полилиния может содержать в себе, как отрезки, так и дуги. В объектах LWPOINT сущности LWPOLYLINE степень искривления показывает

параметр *bulge*, суть которого подробно описана в разделе 1.2. Так как желаемый формат вывода информации о примитивах содержит именно радиус примитива, а не параметр искривления, то необходимо удобно получить радиус из *bulge*.

Для этого воспользуемся уже выведенной зависимостью [4] и применим её в принятых обозначениях (2.1):

$$R = |bulge + \frac{1}{bulge}| \cdot \frac{|A - Z|}{4}, \quad (2.1)$$

где A — начальная точка;

Z — конечная точка.

Примем, что  $A(x_0, y_0), B(x_1, y_1)$ . Тогда  $AZ(x_1 - x_0; y_1 - y_0)$ . Таким образом, длина вектора через декартовы координаты (2.2):

$$|A - Z| = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}. \quad (2.2)$$

**Исходные данные:** текущая точка, следующая точка

**Результат:** радиус сегмента полилинии

1 инициализация;

2 **если** *bulge* (текущей точки) = 0 **тогда**

3     |      $r = 0$

4 **конец условия**

5 **иначе**

6     |      $r = |bulge + \frac{1}{bulge}| \cdot \frac{\sqrt{(x_{nextP} - x_{prevP})^2 + (y_{nextP} - y_{prevP})^2}}{4}$

7 **конец условия**

**Алгоритм 3** — Вычисление радиуса сегмента полилинии

**Исходные данные:** данные из DXF, путь к имя.txt

**Результат:** имя.txt (x,y,r)

```
1 для каждого LINE выполнять
2   |    $x_0$   $y_0$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt;    $x_1$   $y_1$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt
3   конец цикла
4 для каждого ARC выполнять
5   |    $x_0$   $y_0$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt;    $x_1$   $y_1$   $r$   $\rightsquigarrow$  имя.txt
6   конец цикла
7 для каждого CIRCLE выполнять
8   |    $x_c + r$   $y_c$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt;   /* первая половина окруж. */
9   |    $x_c - r$   $y_c$   $r$   $\rightsquigarrow$  имя.txt
10  |    $x_c - r$   $y_c$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt;   /* вторая половина окруж. */
11  |    $x_c + r$   $y_c$   $r$   $\rightsquigarrow$  имя.txt
12  конец цикла
13 для каждого POLYLINE
14   prevPoint = None ;   /* предыдущая точка */
15   выполнять
16   |   для каждого LWPOINT  $\in$  множ. точек полилинии
17   |   |   выполнять
18   |   |   |   если prevPoint  $\neq$  None тогда
19   |   |   |   |    $r$  = алгоритм 3 (prevPoint, LWPOINT)
20   |   |   |   |    $x(\text{prevP})$   $y(\text{prevP})$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt
21   |   |   |   |    $x(\text{lwpoint})$   $y(\text{lwpoint})$   $r$   $\rightsquigarrow$  имя.txt
22   |   |   |   |   конец условия
23   |   |   |   prevPoint = lwpoint
24   |   |   |   конец цикла
25   |   |   |   если контур замкнут тогда
26   |   |   |   |    $r$  = алгоритм 3 (prevPoint, LWPOINT)
27   |   |   |   |    $x(\text{lwpoint}_{\text{посл}})$   $y(\text{lwpoint}_{\text{посл}})$  0  $\rightsquigarrow$  имя.txt
28   |   |   |   |    $x(\text{lwpoint}_{\text{перв}})$   $y(\text{lwpoint}_{\text{перв}})$   $r$   $\rightsquigarrow$  имя.txt
29   |   |   |   |   конец условия
30   |   |   |   конец цикла
31   |   |   конец цикла
32   |   конец цикла
33   конец цикла
```

**Алгоритм 4** — Запись примитивов в TXT (x, y, r)

**Алгоритм записи примитивов в SVG.** Формирования файла типа SVG отличается от предыдущих двух, так как этот формат представляет собой язык разметки, а значит, имеет правила синтаксиса, грамматики и т.д. Это расширение языка разметки XML, поэтому в начале, в преамбуле, указывается версия XML, кодировка символов и указание синтаксическому анализатору об игнорировании любых объявлений разметки в определении типа документа, как это показано в листинге 2.1.

Листинг 2.1 — Первая строка SVG-файлов

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
```

Следующие две строки должны содержать определение типа документа (заголовок DOCTYPE), однако, данное объявление может оказаться источником ошибок при применении в браузере Mozilla Firefox. Поэтому вместо этого используется атрибут **baseProfile** со значением «full» внутри элемента «svg».

Начиная с четвертой строки объявляется корневой элемент «svg» (см. листинг 2.2).

Листинг 2.2 — Преамбула SVG-файлов

```
1 <svg version="1.1" width="100%" height="100%"
2 viewBox="102.1188828597992 -211.7921423734452
   50.000000000000014 26.0 "
3 baseProfile="full"
4 xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
5 xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
6 xmlns:ev="http://www.w3.org/2001/xml-events">
```

В листинге 2.2 присутствует необязательный элемент **viewBox**, который представляет собой параметр с четырьмя значениями, отделяемыми пробелами, определяющими квадратную рамку, в которой будет распола-



гаться графика. Данный атрибут позволяет автоматически масштабировать изображение до размеров указанного контейнера.

Первые два значения — минимальные координаты  $x$  и  $y$  рамки, в которой располагается изображение. Третье и четвёртое значения — соответственно, ширина и высота рамки, в которой находится изображение. Значения указываются в пикселях.

Таким образом, чтобы перенести данные из DXF в SVG, сначала определяются эти четыре значения. Алгоритмы для их определения: алгоритм 5, алгоритм 6 и алгоритм 7.

<b>Исходные данные:</b> списки примитивов с параметрами	
<b>Результат:</b> список $x$ , список $y$	
1	инициализация; пуст. список $x$ ; пуст. список $y$
2	<b>для каждого <math>LINE</math> выполнять</b>
3	$x_0, x_1 \dashrightarrow$ список $x$ ; $y_0, y_1 \dashrightarrow$ список $y$
4	<b>конец цикла</b>
5	<b>для каждого <math>ARC</math> выполнять</b>
6	$(x_c + r), (x_c - r) \dashrightarrow$ список $x$ ; $(y_c + r), (y_c - r) \dashrightarrow$ список $y$
7	<b>конец цикла</b>
8	<b>для каждого <math>CIRCLE</math> выполнять</b>
9	$(x_c + r), (x_c - r) \dashrightarrow$ список $x$ ; $(y_c + r), (y_c - r) \dashrightarrow$ список $y$
10	<b>конец цикла</b>
11	<b>для каждого <math>LWPOLYLINE</math> выполнять</b>
12	<b>для каждого <math>точки \in</math> множ. <math>LWPOINTS</math> выполнять</b>
13	$x \dashrightarrow$ список $x$ ; $y \dashrightarrow$ список $y$
14	<b>конец цикла</b>
15	<b>конец цикла</b>
16	вернуть список координат $x$ и список координат $y$

**Алгоритм 5** — Вычленение координат изображения  
из DXF в отдельные списки

**Исходные данные:** список координат  $x$ , список координат  $y$

**Результат:**  $x_{MIN}, y_{MIN}$

- 1 инициализация;
- 2 использовать алгоритм 5
- 3 вернуть  $x_{MIN}, y_{MIN}$  из списков стандартными функциями сортировки ЯП

**Алгоритм 6** — Поиск наименьших координат изображения из DXF

**Исходные данные:** список координат  $x$ , список координат  $y$

**Результат:** ширина и высота рамки изображения

- 1 инициализация; использовать алгоритм 5
- 2 определить  $x_{MIN}, x_{MAX}, y_{MIN}, y_{MAX}$  из списков стандартными методами сортировки множеств, встроенными в ЯП
- 3 ширина =  $x_{MAX} - x_{MIN}$
- 4 высота =  $y_{MAX} - y_{MIN}$
- 5 вернуть значения ширины и высоты

**Алгоритм 7** — Поиск длины и высоты изображения из DXF

**Алгоритм разбиения полилинии.** В процессе разработки приложения возникает задача визуализации данных из DXF. Проблемы возникают только с объектом Полилинии, который задаётся в DXF компактно: с помощью параметра *bulge*. Библиотека отрисовки в используемом ЯП, однако, не позволяет задавать полилинии ни в каком виде. По этой причине полилинию необходимо разбивать на линии и дуги по алгоритму 8.

В алгоритме происходит перемена углов дуги местами, если параметр кривизны меньше нуля. Это происходит потому, что в библиотеке *matplotlib* направление отрисовки дуг, как и в AutoCAD, всегда по часовой стрелке. А значит, что регулировка «величины» дуги регулируется последовательностью указания углов её отрисовки.

**Исходные данные:** список Полилиний с lwpoints у каждой

**Результат:** линия/дуга

```
1 инициализация; для каждого POLYLINE выполнять
2   для каждого текущая т., след. т. выполнять
3     если  $bulge = 0$  тогда
4       | рисуй линию с соотв. коор.
5     конец условия
6     иначе
7       | центр, радиус = алгоритм 9 (текущая т., след. т.)
8       | нач.угол. = алгоритм 10 (тек.т., центр)
9       | конеч.угол. = алгоритм 10 (след.т., центр) если
10      |    $bulge < 0$  тогда
11      |   | поменять местами углы
12      |   |
13      |   конец условия
14   конец цикла
15 конец цикла
```

**Алгоритм 8** — Разбиение полилиний для визуализ. «primiview»

В работе Уколова С.С. [4] выведена зависимость, связывающая параметр  $bulge$ , комплексное представление координат точек начала ( $A$ ) и конца ( $Z$ ) дуги с координатами центра ( $C$ ) дуги:

$$C = \frac{(1 + ibulge)^2}{4ibulge} \cdot A - \frac{(1 - ibulge)^2}{4ibulge} \cdot Z. \quad (2.3)$$

**Исходные данные:** тек.т., след.т.

**Результат:** коор.центра дуги, радиус

- 1 инициализация;
- 2  $A = x + iy$  (тек.т.)
- 3  $Z = x + iy$  (след.т.)
- 4  $C = \frac{(1+ibulge)^2}{4ibulge} \cdot A - \frac{(1-ibulge)^2}{4ibulge} \cdot Z$  (*bulge* текущей точки, см. раздел 1.4)
- 5  $rad =$  алгоритм 3
- 6 верни  $C$ (действ.ч., мним.ч.), радиус

**Алгоритм 9** — Вычисление координат центра и радиуса дуги

Угол между векторами ищется с помощью известной арктангенса от частного составляющих  $y$  и  $x$  координат, соответственно. Результат находится в диапазоне  $\pm\pi$ , поэтому после этого берется остаток от деления на  $360^\circ$ .

**Исходные данные:** точка дуги, центр дуги

**Результат:** угол от полож. направ.  $Ox$

- 1 инициализация;
- 2  $vector =$  точка дуги — центр дуги
- 3  $vecOx$  — вектор положительного направления  $Ox$
- 4  $\alpha = \frac{\arctan(\frac{vector}{vecOx}) \cdot \frac{180}{\pi}}{360}$ ; верни  $\alpha$

**Алгоритм 10** — Угол между векторами

Итак, алгоритм 12 — формирование SVG-файла.

**Исходные данные:** путь к имя.svg

**Результат:** имя.svg

- 1 инициализация; открой имя.svg; преамб. (раздел 1.1.2)  $\rightsquigarrow$  имя.svg
- 2 для каждого *LINE* выполнять
- 3      $x_0, y_0 \rightsquigarrow$  имя.svg;  $x_1, y_1 \rightsquigarrow$  имя.svg
- 4 конец цикла

**Алгоритм 11** — Запись примитивов в SVG

```

1 для каждого ARC выполнять
2   | размер дуги = малая, поворот дуги = по час.
3   | если  $(\alpha_1 - \alpha_0)/360 > 180$  тогда
4   |   | размер дуги = большая
5   |   | конец условия
6   |  $x_0, y_0, r \rightsquigarrow$  имя.svg; велич., повор. дуги,  $x_1, y_1 \rightsquigarrow$  имя.svg
7   | конец цикла
8 для каждого CIRCLE выполнять
9   |  $x_c, y_c, r \rightsquigarrow$  имя.svg
10  | конец цикла
11 для каждого POLYLINE выполнять
12   | список points
13   | для каждого LWPOINT выполнять
14   |   | points  $\rightarrow$  список points
15   |   | конец цикла
16   | для каждого point выполнять
17   |   |  $point_0, point_1 \rightsquigarrow$  имя.svg
18   |   | конец цикла
19  | конец цикла

```

### Алгоритм 12 — Запись примитивов в SVG

Алгоритм, совмещенный из 13, 14 используется для создания JSON-файла с содержанием из исходного DXF.

**Исходные данные:** путь к имя.json

**Результат:** имя.json

```

1 инициализация; список path
2 для каждого LINE выполнять
3   | список linepath;  $[x_0, y_0, 0] \rightsquigarrow$  linepath; linepath  $\rightsquigarrow$  path
4   | конец цикла

```

### Алгоритм 13 — Запись примитивов в JSON

```

1  для каждого ARC выполнять
2      список arspath;
3       $\alpha = (\alpha_1 - \alpha_0)/360$  (Python — деление по остатку)
4       $bulge = \tan(\frac{\alpha \cdot \pi}{180 \cdot 4})$ 
5       $x_0, y_0, bulge \rightarrow arspath; x_1, y_1, 0 \rightarrow arspath$ 
6      arspath  $\rightsquigarrow$  path для каждого CIRCLE выполнять
7          список circlepath;
8           $x_c + r, y_c, 1 \rightarrow circlepath; \quad /* \text{ первая половина окр. } */$ 
9           $x_c - r, y_c, 1 \rightarrow circlepath;$ 
10          $x_c - r, y_c, 1 \rightarrow circlepath; \quad /* \text{ вторая половина окр. } */$ 
11          $x_c + r, y_c, 1 \rightarrow circlepath$ 
12     конец цикла
13 конец цикла
14 для каждого POLYLINE выполнять
15     список polypath; пред.т.=None
16     для каждого LWPOINT выполнять
17         если  $пред.т. \neq None$  тогда
18             пред.т.0, пред.т.1,  $bulge \rightarrow polypath$ 
19              $LWPOINT_0, LWPOINT_1, 0 \rightarrow polypath$ 
20         конец условия
21         пред.т.=LWPOINT
22     конец цикла
23     если контур закрыт тогда
24         координаты посл.т.,  $bulge \rightarrow polypath$ 
25         координаты перв.т., 0  $\rightarrow polypath$ 
26     конец условия
27     polypath  $\rightsquigarrow$  path
28 конец цикла

```

**Алгоритм 14** — Запись примитивов в JSON (продолжение)

## 2.5 Разработка программного обеспечения

Разработка программы начинается на создании структуры взаимосвязи её файлов, на их предназначении.

### 2.5.1 Файловая структура

Проект разбивается по файлам по функциональному признаку на следующие:

- «**\_\_init.py \_\_**». Файл инициализации, призванный запустить файл главного окна, открыть окно пользовательского интерфейса;
- «**main\_window.py**». Файл главного окна, создающий полотно визуализации содержимого DXF, инициализирующий объект класса Buttons. Класс MainWindow наследуется от класса Ui\_MainWindow;
- «**buttons.py**». Файл, описывающий события, инициализирующиеся по нажатию кнопок на форме;
- «**scene.py**». Файл отрисовки содержимого DXF на полотне пользовательского окна;
- «**filedata.py**». Файл работы с объектами входного DXF;
- «**math\_ops.py**». Файл математического сопровождения работы программы. Сюда помещены описания крупных математических классов и функций;
- «**iconsrc\_rc.py**». Файл, автоматически создаваемый окружением PyQt для описания внешних графических элементов, использующихся в форме (иконок);
- «**main\_dialog.py**». Файл, содержащий описание взаиморасположения и свойств объектов диалогового окна.

При разработке архитектуры приложения используются шаблоны (паттерны) проектирования «Компоновщик», «Адаптер» и «Фасад».

С помощью паттерна «Компоновщик» была создана иерархия классов, состоящих из простых и сложных объектов:

- Классы Line, Arc, Circle, Poly содержат простые объекты в виде переменных и списков;

- Класс DxfData является обширным и комплексным, включая в себя объекты других классов (сложные), собственные простые объекты и методы работы с ними.

Использование данного структурного шаблона упрощает архитектуру и делает процесс добавления новых видов объектов более простым.

Шаблон «Адаптер» предназначен для организации использования функций объекта, недоступного для модификации, через специально созданный интерфейс. Таким образом, были созданы классы-оболочки (Line, Arc, Circle, Poly), данные в которые заносятся из неизменяемого исходного DXF. С помощью них происходит обработка геометрических данных объектов для их последующей конвертации.

Паттерн «Фасад» был использован при проектировании структуры приложения для скрытия сложности системы путём сведения всех возможных внешних вызовов к нескольким объектами, делегирующим их соответствующим объектам системы. То есть взаимодействие пользователя с системой было сведено в несколько точек (в несколько кнопок), в то время как кнопки управляют наборами действий, необходимыми для выполнения конвертации в тот или иной формат [8].

Исходя из определённой архитектуры приложения, его предназначения, модулей, функционального назначения файлов, была разработана файловая структура, которая представлена UML-подобной схемой на рисунке 2.3. UML (или Unified Modeling Language) — это унифицированный язык



моделирования и графического описания для объектного моделирования в области разработки ПО.

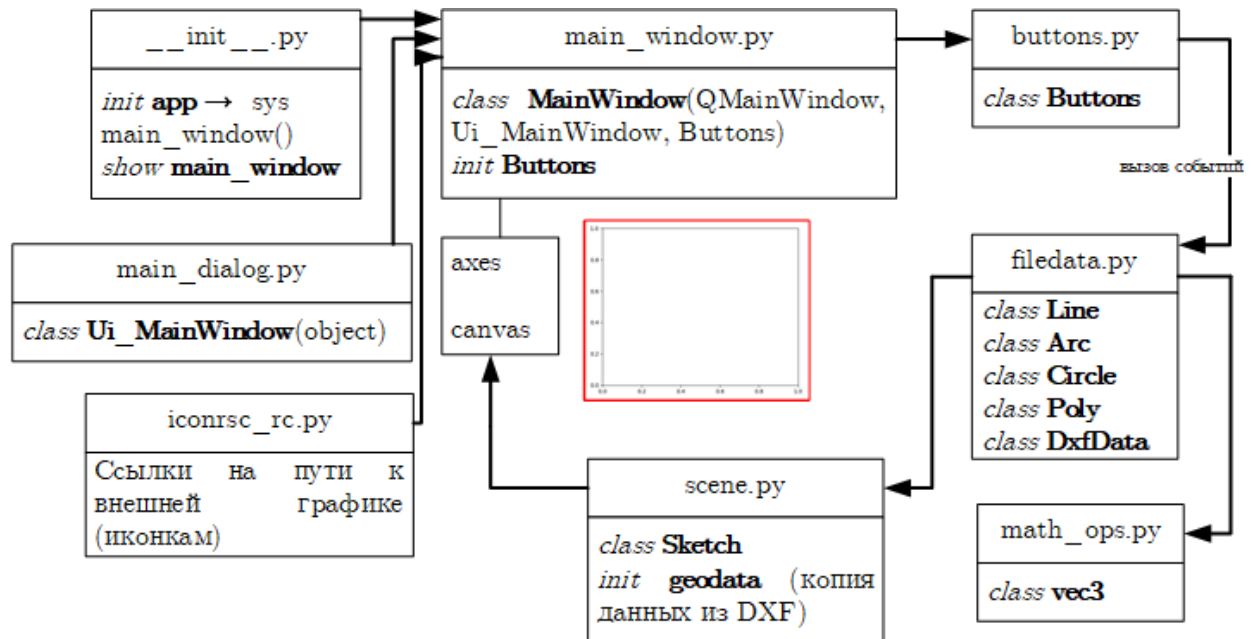


Рисунок 2.3 — UML-подобная схема файловой структуры ПО «primiview»

### 2.5.2 Модуль визуализации

В целях верификации правильности чтения геометрических данных из входного DXF в программе предусмотрен модуль визуализации, который написан в отдельном файле «scene.py» (см. рис. 2.3).

В качестве инструмента используется библиотека *matplotlib*, в которой задействован свой язык задания геометрических объектов.

В рассматриваемом файле содержится класс *Sketch*, в котором описаны методы по работе с окном вывода графической информации приложения.

При инициализации объекта данного класса создаётся копия данных, извлечённых из выбранного DXF-файла.

При открытии каждого нового файла перерисовываются сетка и оси. Сетка перерисовывается, так как необходимо соблюдать масштаб изобра-

жения, таким образом, чтобы все объекты изображения попали в область видимости (в рамки окна вывода графики). Перерисовка осуществляется с помощью следующего метода, представленного в листинге 2.3.

Листинг 2.3 — Метод перерисовки окна визуализации

```
1 def draw_grid(self, axes):
2     axes.cla()
3     axes.set_xlabel('X')
4     axes.set_ylabel('Y')
5     axes.margins(0.05)
6     axes.set_aspect("equal")
7     axes.grid()
8     axes.set_axisbelow(True)
```

В целом, параметры, задающие геометрию через библиотеку *matplotlib*, совпадают с прямо доступными параметрами извлекаемыми из исходного DXF-файла.

Исключение составляет полилиния.

Проблема с визуализацией полилиний заключается в том, что в используемой библиотеке нет возможности задавать полилинии (только полигоны — замкнутые полилинии). Поэтому найдено решение проблемы — сведение полилиний к линиям и дугам.

Сведение полилиний к отрезкам (линиям) и дугам заключается в попарном переборе пар точек полилинии. Данная операция осуществляется с помощью встроенной в ЯП функции *zip()*, которая создаёт итератор, объединяющий элементы из предыдущей и далее идущей точками полилинии. Реализация этой функции показана в листинге 2.4.

Листинг 2.4 — Реализация функции *zip()* в процессе отбора пар точек полилиний

```
1 for poly in self.geodata.polylines:
2     for current, next in zip(poly.lwpoints[:,], poly.lwpoints[1::]):
```

Таким образом, начинается перебор точек полилинии попарно, начиная с нулевого элемента, сравниваемого с первым элементом.

В листинге 2.5 реализуются алгоритмы 8, 9, 10, приведённые в разделе 2.4.

#### Листинг 2.5 — Реализация алгоритмов 8, 9, 10

```

1 def polyarc_center_rad(self, current, next):
2     A = complex(current[0], current[1])
3     Z = complex(next[0], next[1])
4     C = ((complex(1, current[4])) ** 2) / (complex(0, 4 * current[4])) * A -
5         ((complex(1, -current[4])) ** 2) / (complex(0, 4 * current[4])) * Z
6     rad = 0 if current[4] == 0 else (abs(current[4] + 1 / current[4]) *
7         math.sqrt((next[0] - current[0]) ** 2 + (next[1] - current[1]) ** 2)
8         / 4)
9     return [C.real, C.imag], rad
10
11 def angle_vectors(self, end, start):
12     u1 = np.array(end[:2]) - np.array(start[:2])
13     angle = (math.atan2(u1[1], u1[0]) * 180 / math.pi) % 360
14     return angle
15
16 for poly in self.geodata.polylines:
17     for current, next in zip(poly.lwpoints[:, :], poly.lwpoints[1::]):
18         if current[4] == 0:
19             axes.add_line(Line2D([current[0], next[0]],
20                 [current[1], next[1]],
21                 color='g',
22                 lw=1.5))
23         else:
24             center, polyarc_rad = self.polyarc_center_rad(current, next)
25             start_angle = self.angle_vectors(current, center)
26             end_angle = self.angle_vectors(next, center)
27             if current[4] < 0:
28                 start_angle, end_angle = end_angle, start_angle
29             axes.add_patch(Arc((center[0], center[1]),
30                 width=2 * polyarc_rad,
31                 height=2 * polyarc_rad,
32                 theta1=start_angle,
33                 theta2=end_angle,

```

```

32         color='g' ,
33         lw=1.5,
34         fill=False ,
35         alpha=1))

```

Для полилиний, также, выполняется проверка на замкнутость. Для этого в DXF есть специальное булево значение, которое извлекается при чтении программой входного файла. Если полилиния замкнута, то необходимо провести линию от последней точки, к первой (см. листинг 2.6).

Листинг 2.6 — Проверка полилиний на замкнутость

```

1  if poly.closed_flag == 1:
2      axes.add_line(Line2D([poly.lwpoints[0][0], poly.lwpoints[-1][0],
3                             [poly.lwpoints[0][1], poly.lwpoints[-1][1]],
4                             color='g' ,
5                             lw=1.5))

```

### 2.5.3 Пользовательский интерфейс

Для создания пользовательского интерфейса (UI-User Interface) выбор производился между двумя основными специализированными библиотеками: *PyQt* и *Tkinter*.

PyQt — это набор инструментов для создания виджетов графического интерфейса пользователя (GUI — Graphical User Interface). Он является частью библиотеки Qt. PyQt является продуктом, сочетающим язык Python и библиотеку Qt. PyQt поддерживает все платформы, включая Windows, macOS и UNIX. PyQt можно использовать для создания стильных графических интерфейсов, современного и переносимого фреймворка python.

Сильной стороной PyQt является наличие графической среды разработки Qt Designer, в которой можно интерактивно настраивать нужный пользовательский интерфейс. Результатом работы утилиты является файл

внутреннего формата .UI, который необходимо конвертировать в формат .PY для дальнейшего использования в проекте Python.

Преимущества использования PyQt:

- Универсальность кодирования — программирование GUI с использованием Qt построено вокруг идеи сигналов и слотов для создания связи между объектами;

- Больше, чем фреймворк: Qt использует широкий спектр API-интерфейсов (Application Programming Interface) собственной платформы для создания сетей, разработки баз данных и многого другого. Он предоставляет к ним первичный доступ через специальный API;

- Различные компоненты пользовательского интерфейса: Qt предоставляет множество виджетов, таких как кнопки или меню, разработанные с использованием базового интерфейса для всех совместимых платформ;

- Различные учебные ресурсы: Поскольку PyQt является одной из наиболее часто используемых систем пользовательского интерфейса для Python, есть возможность удобного получения доступа к широкому спектру документации.

Недостатки использования PyQt:

- Отсутствие документации по Python для классов в PyQt5,
- Требуется много времени, чтобы освоить все особенности PyQt, что означает, что кривая обучения довольно крутая.

- Если приложение с закрытым исходным кодом, то необходимо заплатить за коммерческую лицензию использования PyQt.

Tkinter это библиотека графического пользовательского интерфейса Python с открытым исходным кодом, хорошо известная своей простотой. Она поставляется с предустановленным интерфейсом Python, поэтому её не нужно устанавливать отдельно. Эти характеристики делают её выгодной

для начинающих и средних программистов. Tkinter нельзя использовать для более масштабных проектов.

Преимущества использования Tkinter:

- прост и быстр в реализации по сравнению с любым другим инструментарием GUI,
- гибкий и стабильный,
- включён в Python, поэтому ничего дополнительного загружать не нужно,
- простой синтаксис,
- прост в понимании и освоении,
- предоставляет три менеджера геометрии: `place`, `pack` и `grid`. Это намного мощнее и проще в использовании, чем в аналогичных библиотеках.

Недостатки использования Tkinter:

- не включает в себя расширенные виджеты,
- нет аналогичного инструмента, такого как `Qt Designer`,
- ненадёжность,
- местами сложная отладка,
- не всегда «питонический» стиль написания кода.

Итак, по итогам сравнительного анализа, было принято решение использовать библиотеку *PyQt* наряду с API *Qt Designer*.

Идеология создания пользовательского интерфейса состоит в простоте взаимодействия пользователя и программы. Поэтому основными критериями (желаемыми качествами) GUI являлись следующие:

- простота,
- понятность,

- минимальная потребность в действиях со стороны пользователя,
- наглядность.

В итоге, было разработано диалоговое окно, которое приведено на рисунке 2.4.

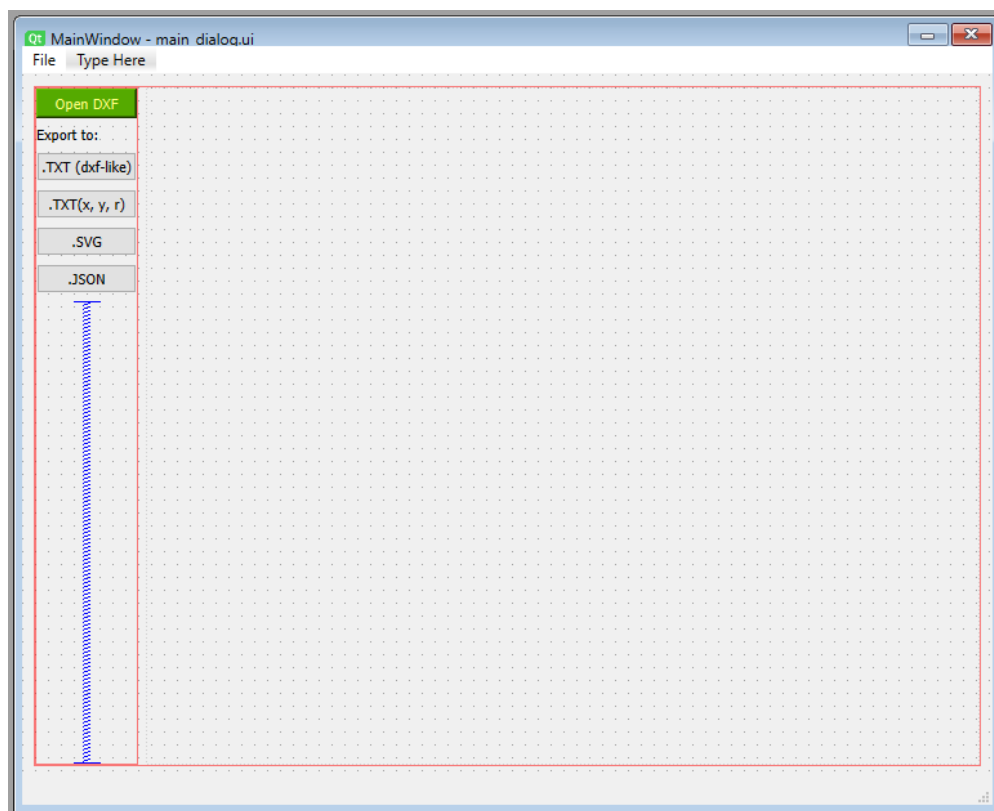


Рисунок 2.4 — Макет диалогового окна приложения «primiview»

Для обработки событий по нажатию кнопок, как уже было сказано, был создан отдельный файл «buttons.py», методы которого связываются с объектами диалогового окна (в данном случае, с кнопками).

Пользовательский интерфейс выполнен в английском исполнении, в целях удобства отладки кода, а также для расширения круга потенциальных пользователей.

При нажатии на кнопку «Open DXF» открывается окно Проводника ОС, в котором предлагается выбрать открываемый файл (см. рисунок 2.5).

На выбор файла стоит жёсткое ограничение по формату — только DXF. Проводник автоматически открывается в папке проекта «text\_dxfs».

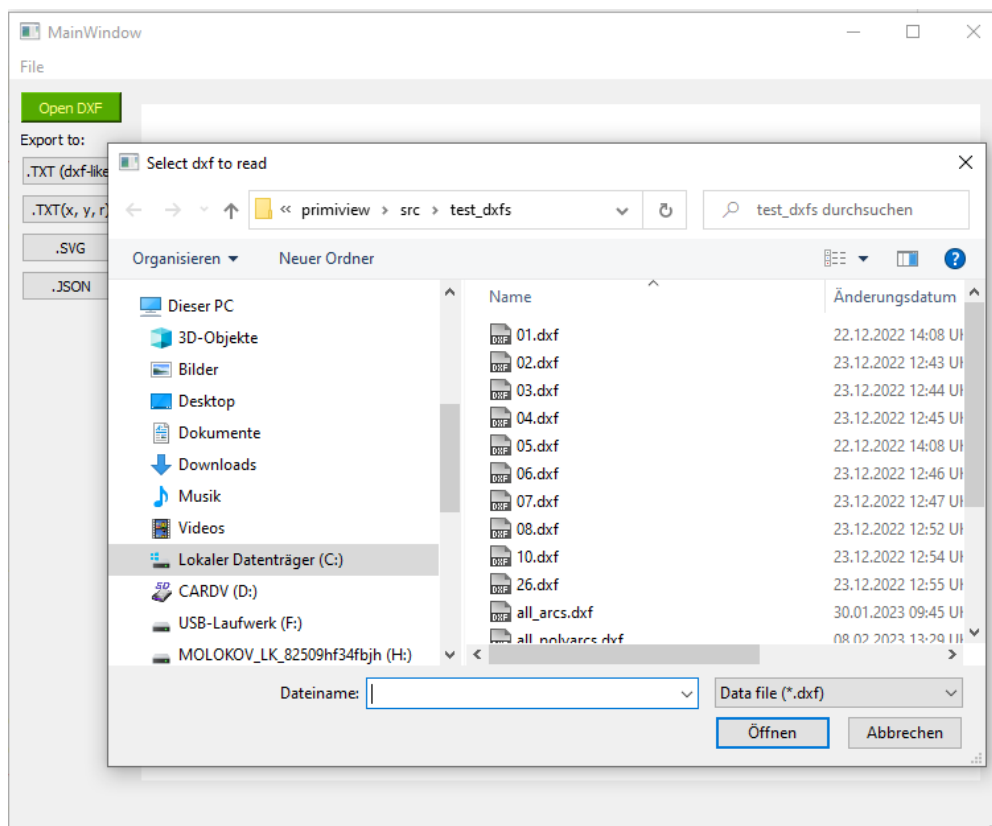


Рисунок 2.5 — Сценарий открытия DXF приложения «primiview»

После выбора необходимого файла окно Проводника закрывается и на полотне с правой стороны диалогового окна визуализируется содержимое выбранного DXF (см. рисунок 2.6). Важно заметить, что визуализируются только поддерживаемые приложением примитивы (см. раздел 1.4).



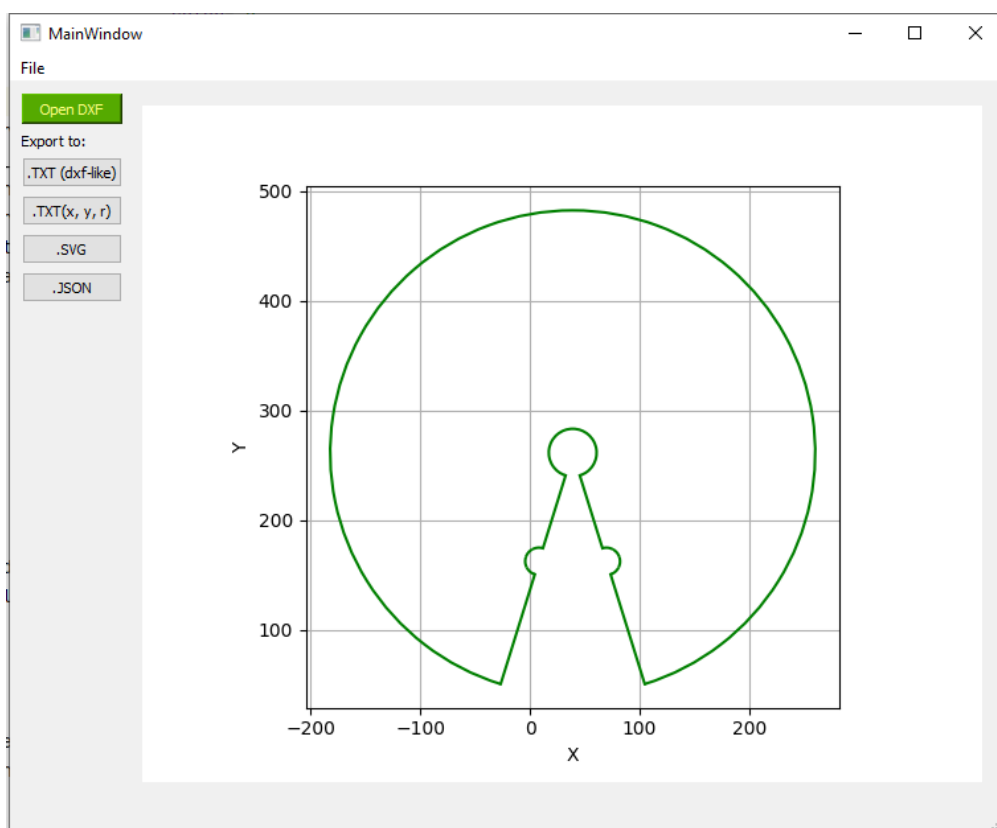


Рисунок 2.6 — Визуализация DXF в приложении «primiview»

Каждая из кнопок Export to .TXT(dxf-like), .TXT(x,y,r), .SVG, .JSON работают одинаково: при нажатии кнопки открывается окно Проводника для выбора пути сохранения файла в нужном формате и имени файла (см. рисунок 2.7). На создание файла, также, стоит строгое ограничение по формату.

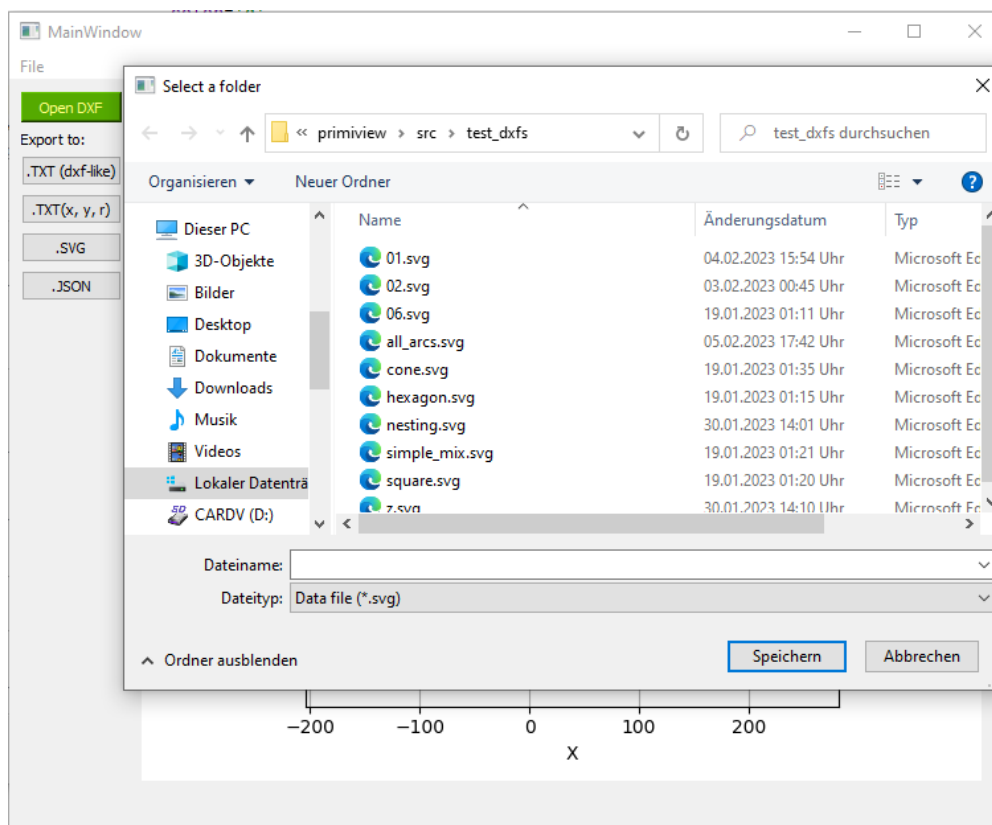


Рисунок 2.7 — Выбор пути сохранения файла в приложении «primiview»

## 2.5.4 Тестирование работы программы

Тестирование программного обеспечения «primiview» проводилось вручную (неавтоматическим образом).

В качестве образцов DXF для конвертации при получении задания был получен нумерованный набор DXF-файлов с контурами деталей типа «Втулка».

В дополнение к этому самостоятельно были созданы различные чертежи со всеми поддерживаемыми элементами, чтобы проверить корректность работы приложения.

Далее продемонстрирована работа приложения на примере одного из самых сложных объектов для обработки — дуги. Тестовый файл в DXF «all\_arcs» выглядит в AutoCAD как показано на рисунке 2.8.

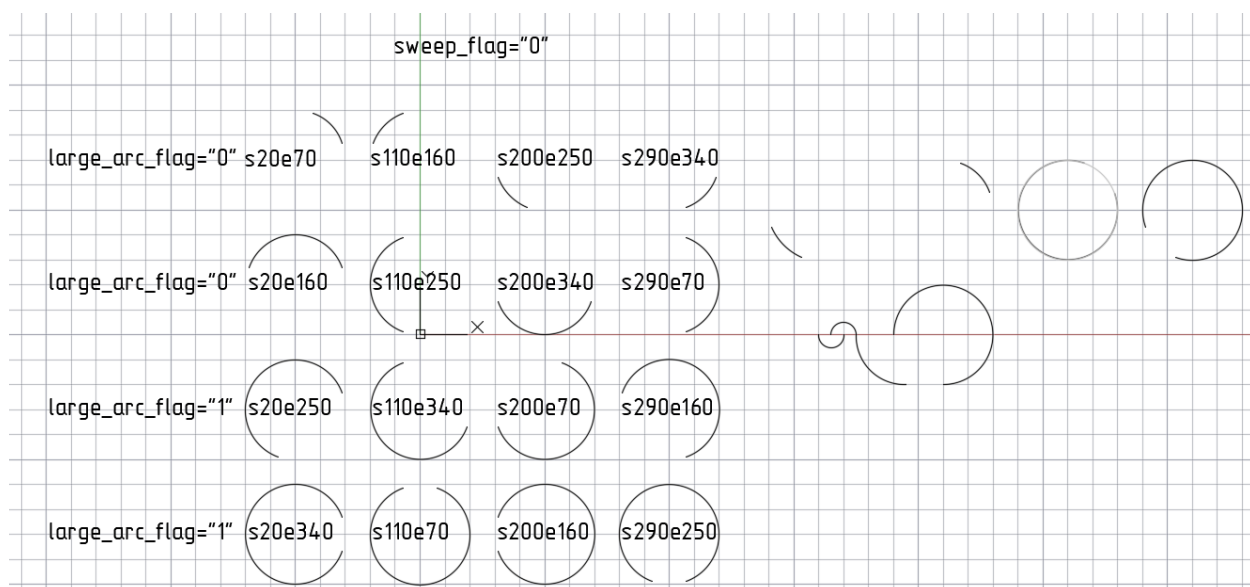


Рисунок 2.8 — Вид тестового DXF в AutoCAD

Были сделаны информационные пометки на чертеже в виде элементов текста для контроля углов начала и конца дуг, а также флагов величины и направления дуги (для визуализации с помощью библиотеки *matplotlib*). Стоит помнить, что согласно поставленной задаче (см. раздел 1.4) приложение «*primiview*» не должно распознавать текстовые элементы. Приложение не распознаёт, также, и цвет и толщину линий (что может быть исправлено в перспективе развития программы). Результат чтения и визуализации приведён на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 — Прочтённый тестовый DXF в «primiview»

Далее, тестовый DXF конвертируется в каждый из предложенный форматов по нажатию соответствующих кнопок.

Результат конвертации в TXT(DXF-type) приведён на рисунке 2.10. Полный текст смотри в приложении А, листинг А.1.

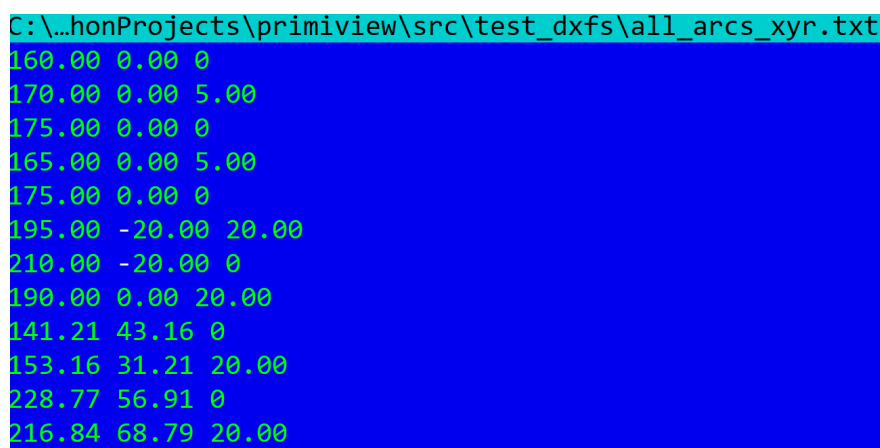
```
C:\...rojects\primiview\src\test_dxfs\all_arcs_dxftype.txt
ARC(#2A9)
165.00 0.00 5.00
ARC(#2AB)
170.00 0.00 5.00
ARC(#2AC)
195.00 0.00 20.00
ARC(#2AD)
210.00 0.00 20.00
ARC(#2B7)
160.00 50.00 20.00
ARC(#2B9)
210.00 50.00 20.00
ARC(#2BA)
260.00 50.00 20.00
```

Рисунок 2.10 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в TXT(DXF-type)

Сравнивая значения в пометках, указанные на рисунке 2.8 с частью результата, приведённого на рисунке 2.10, видим, что конвертация произведена корректно.

DXF конвертируется в TXT(x,y,r). Часть результата приведена на рисунке 2.11. Полный текст результата конвертации см. в приложении А, листинг А.1.

Сравнивая рисунки 2.8 и 2.10 можно заметить, что чтение и визуализация объектов (дуг) произведена приложением корректно, так как координаты начал и концов дуг совпадают с фактическими заметками. Радиусы дуг соответствуют заданным.



```
C:\...honProjects\primiview\src\test_dxfs\all_arcs_xyr.txt
160.00 0.00 0
170.00 0.00 5.00
175.00 0.00 0
165.00 0.00 5.00
175.00 0.00 0
195.00 -20.00 20.00
210.00 -20.00 0
190.00 0.00 20.00
141.21 43.16 0
153.16 31.21 20.00
228.77 56.91 0
216.84 68.79 20.00
```

Рисунок 2.11 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в  
TXT(x,y,r)

Осуществляется конвертация в формат SVG. Открытие сконвертированного файла осуществляем с помощью браузера Microsoft Edge. Результат приведён на рисунке 2.12.

Полный текст результата конвертации см. в приложении А, листинг А.3.



Рисунок 2.12 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в SVG

Ширина линий не учитывается конвертером в SVG, что возможно исправить в дальнейшей проработке программы.

Последний из доступных в приложении типов конвертации — в формат JSON. Верификация в данном случае производится с помощью утилиты, разработанной к.т.н. Уколовым С.С. [4] и находящейся в открытом доступе (см. рисунок ).

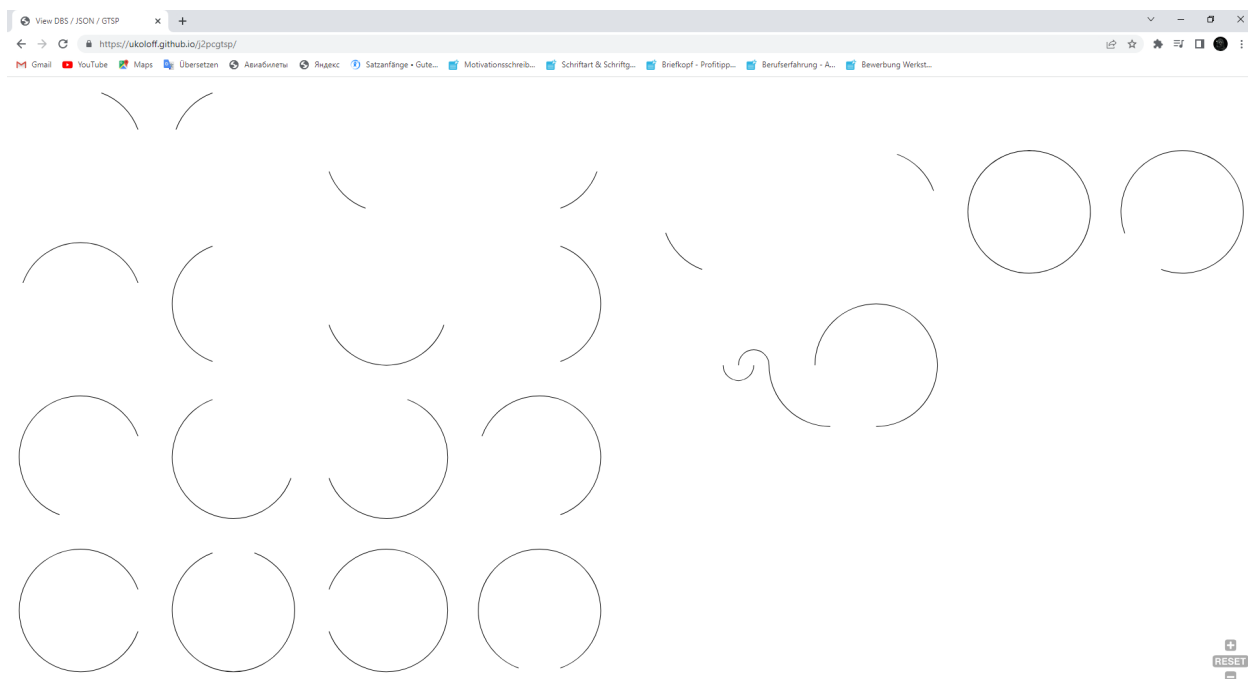
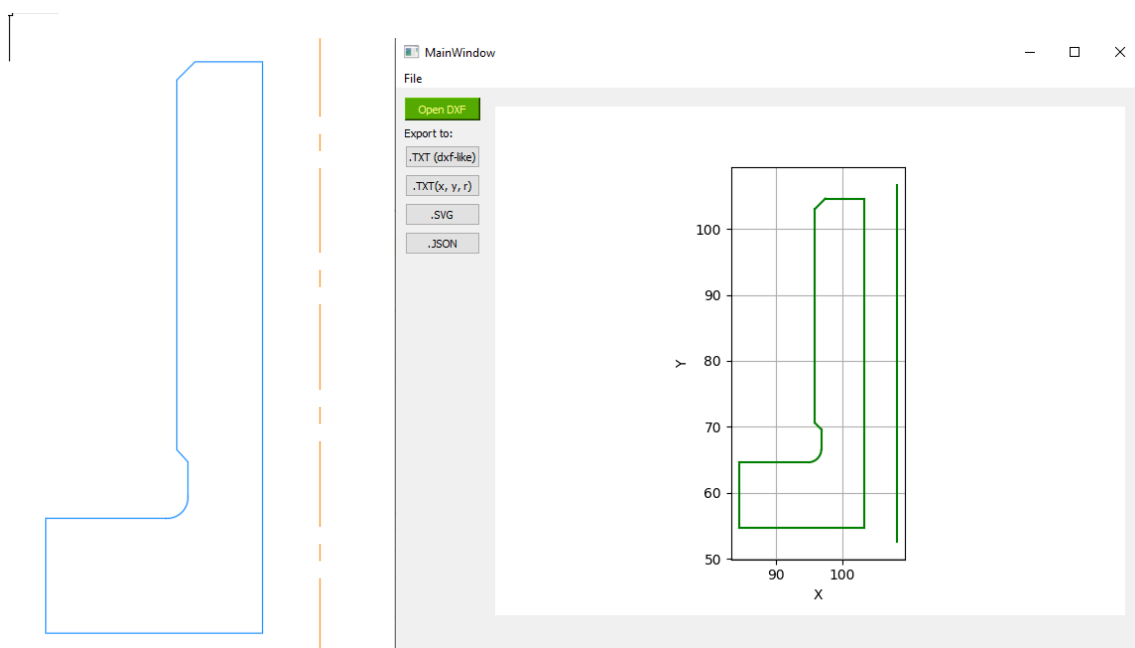


Рисунок 2.13 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в JSON

Как можно заметить, сравнивая рисунки 2.8 и 2.10, конвертация произведена корректно.

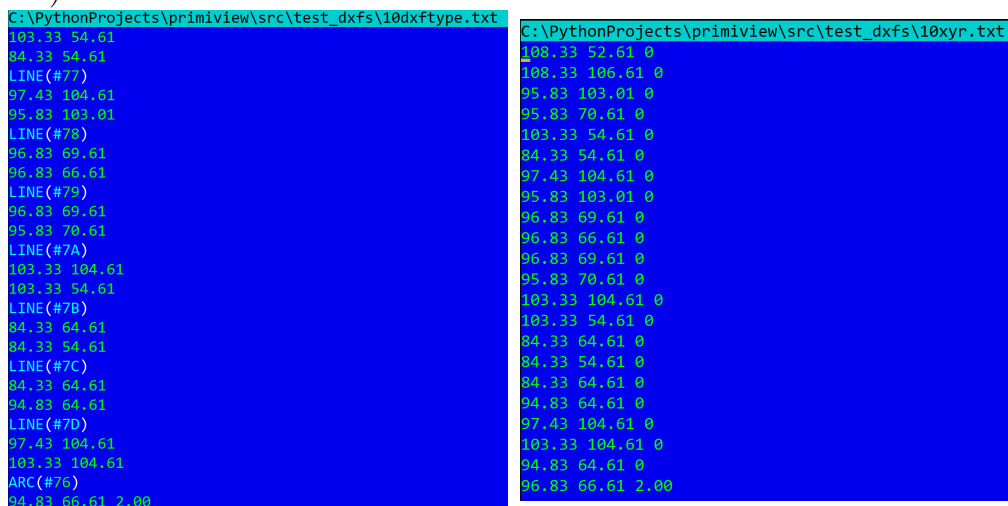
Полный текст сконвертированного файла JSON приведён в приложении А, листинг А.4.

На рисунках 2.14 приведён пример конвертации тестового образца №10 (10.dxf).



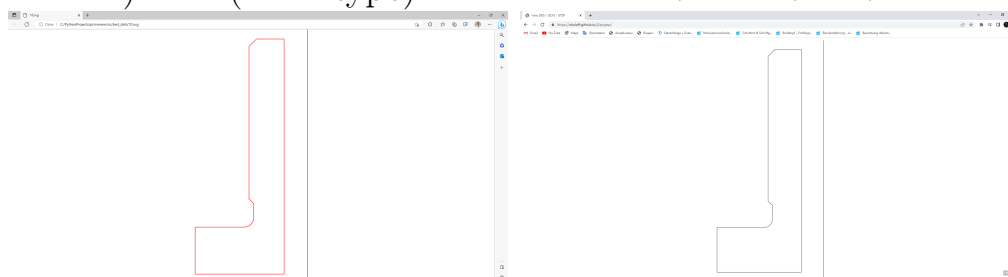
а) AutoCAD

б) «primiview»



в) TXT(DXF-type)

г) TXT(x,y,r)



д) SVG

е) JSON

Рисунок 2.14 — Проверка работоспособности «primiview» на тестовом образце №10



Полный список имён файлов, использованных для тестирования ПО «primiview» (нумерованные файлы - тестовые образцы, полученные при принятии задания к исполнению):

- 01.dxf,
- 02.dxf,
- 03.dxf,
- 04.dxf,
- 05.dxf,
- 06.dxf,
- 07.dxf,
- 08.dxf,
- 10.dxf,
- 26.dxf,
- all\_arcs.dxf (все дуги),
- all\_polyarcs.dxf (все дуги из полилиний),
- arcpolyarc.dxf (дуга-дуга из полилинии),
- cone.dxf (конус с геометрией, разбросанной по блокам),
- hexagon.dxf (шестиугольник),
- polylinearc.dxf (полилиния-дуга),
- simple\_mix.dxf (разные простые объекты),
- square.dxf (квадрат из полилинии).

Остальные файлы (ненумерованные) были созданы в AutoCAD для тестирования «primiview» на отдельных видах объектов.

## 2.6 Выводы по главе 2

- 1) Разработана архитектура приложения «primiview», объединяющего конвертеры из DXF в TXT(DXF-type), TXT(x,y,r), SVG, JSON;
- 2) Решена задача внутренней репрезентации информации в программе «primiview», извлекаемой из DXF. Применён принцип объектно-ориентированного программирования по применению классов;
- 3) Разработаны алгоритмы для реализации в приложении «primiview». Найдены математические подходы к обработке параметра «*bulge*» в рамках решаемых задач конвертации;
- 4) Разработано приложение «primiview». Создана файловая структура программы. Разработан простой пользовательский интерфейс;
- 5) Проведено тестирование программного обеспечения. Конвертация производится корректно для всех типов поддерживаемых объектов.

### 3 Экономическое обоснование эффективности проекта

В данном разделе описаны экономические аспекты проекта по созданию ПО «primiview» для обработки геометрической информации 2D-объектов специального типа.

Целью экономического обоснования проекта является представление разработанного ПП в качестве проекта для реализации на предприятии, что позволит провести планирование и корректировку последовательности работ (при необходимости).

#### 3.1 Разработка проекта

**Цель проекта** — создание модуля конвертации форматов, как отдельного ПП, для внедрения в ПО для автоматизации технологического проектирования обработки деталей типа «Втулка» на станках с ЧПУ к 05.06.2023.

*Обоснование цели.* Клиент — это производитель станков с ЧПУ. Для создания УП на продаваемые станках клиенты заказчика привлекают САПР, разработанные за рубежом, что негативно влияет на независимость от сторонних организаций, ограниченность в дополнении ПО функционалом, необходимым только на отдельном предприятии, а также, на сохранность информации, используемой при разработке УП. Компания работает над проектом разработки своей САМ-системы для предложения своим клиентам специализированного ПО вместе с оборудованием с целью решить вышеуказанные проблемы.

Численные критерии сравнения состояний системы клиента:

- сложность проектирования,
- сроки (время) проектирования,

- себестоимость проектирования,
- качество результатов проектирования.

*Пояснения к критериям.* Под сложностью проектирования понимается минимально-необходимая квалификация проектировщика для выполнения задач технологического проектирования.

Трудоёмкость проектирования, в данном случае, выражается в среднем времени создания (написания) одной УП.

Себестоимость проектирования оценивается не в расчёте на одну УП, а в рамках одного рабочего года. В себестоимость проектирования входят такие элементы, как зарплата сотрудника, производящего проектирование, а также, цена годовой лицензии/контракта обслуживания САМ-системы для данного количества оборудования на предприятии.

В качестве численного критерия для оценки качества результатов проектирования принято среднее количество типов ошибок, корректировки по которым оператор станка с ЧПУ вносит после того, как автоматизированное проектирование выполнено.

**Текущее состояние системы клиента:** основное ПО по автоматизации технологического проектирования введено в эксплуатацию, базовые потребности системы по конвертации DXF-файлов работают.

По численным критериям:

- сложность проектирования: инженер-технолог II категории по квалификационному справочнику [9],
- сроки (время) проектирования: 3 часа,
- себестоимость проектирования: 1420000 руб. (см. раздел ),
- качество результатов проектирования: 10 ошибок.

Клиенты заказчика обращались с просьбами и пожеланиями, поставить им продукт, повышающий их эффективность по вышеуказанным критериям.

Клиенты заказчика испытывают трудности в удержании и поиске инженеров-технологов с высокой квалификацией (II категории), поэтому при возможности приобрести ПО, снижающее требования к квалификации инженеров-технологов, изъявили намерение купить такой ПП.

Несмотря на высокую квалификацию инженеров-технологов, занимающихся созданием УП, время проектирования сильно ограничивает мощностные способности клиентов заказчика. Заказчик ПО преследует интересы своих клиентов в сокращении времени проектирования ценой платы за специализированное ПО.

Клиенты заказчика стремятся повысить качество производимой продукции, поэтому нуждаются в дополнительных вложениях в соответствующие мероприятия. В качестве решения заказчик предложил снизить стоимость проектирования путём использования отечественного более дешёвого специального ПО.

Ещё одна причина заинтересованности клиентов заказчика в САМ-системе — качество результатов проектирования. Оно напрямую влияет как на качество самой производимой продукции, так и на количество бракованных изделий. Снизить частоту и характер ошибок призвана разработанная САПР.

**Целевое состояние системы клиента:** усовершенствованная, более гибкая и универсальная версия этого ПО.

По численным критериям:

— сложность проектирования: инженер-технолог (без категории) по квалификационному справочнику [9],

- сроки (время) проектирования: максимум 1,5 часа,
- себестоимость проектирования: максимум 1 млн.руб.,
- качество результатов проектирования: максимум 5 типов ошибок.

**Результатом** проекта является факт конвертации файлов из формата DXF в форматы TXT(тип DXF), TXT(x,y,r), SVG, JSON, созданные в разработанном ПП. Файлы последних форматов содержат в себе геометрическое описание объектов по правилам, описанным в предыдущих разделах ВКР, из входного DXF, удобное для дальнейшей работы в САМ-системе "ТокКТЭ" и других САПР.

Команда проекта сформирована из 3 человек, среди которых:

- а) 1 владелец,
- б) 2 программиста, среди которых:
  - б.1) 1 разработчик,
  - б.2) 1 тестировщик.

Владелец проекта организует работу остальной команды, проводит планирование проекта, оценку его экономической эффективности, контроль за выполнением подчинёнными задач проекта.

Программисты занимаются непосредственно созданием продукта проекта, то есть написанием ПО. Разработчики отвечают за написание программного кода по техническому заданию проекта. Тестировщики выполняют проверку работоспособности ПП, ищут и сообщают отделу разработчиков о найденных и необходимых к устранению ошибок и недочётов программы.

## 3.2 Дерево задач проекта

Целью данного этапа является построение иерархического дерева, включающего в себя последовательное разбиение общей цели проекта на подцели и задачи.

### 3.2.1 Первый уровень иерархии.

Главной целью проекта, как уже было сказано, является разработка программного обеспечения «primiview» по конвертации файлов в формате DXF в форматы TXT, SVG, JSON. Данная цель в проекте единственная и находится на высшем уровне иерархии.

### 3.2.2 Второй уровень иерархии.

В целях определения и формализации цели, структуры и методов проекта, чтобы исключить неоднозначное их понимание и толкование исполнителями, первый этап, стоящий в иерархии на втором уровне, — это *формирование технического задания (ТЗ)*.

При параллельном методе разработке, когда этапы проекта могут начинаться тогда, пока предыдущие ещё не закончились, следующим шагом данного уровня будет *разработка алгоритмов* программного обеспечения. Данный этап необходим, так как именно на нём ещё можно решить несостыковки в логической части программы, исправление которых на следующих этапах редко бывает возможным.

Параллельно с разработкой алгоритмов начинается этап непосредственно *разработки ПО*. Эти этапы происходят одновременно, так как они тесно взаимосвязаны, и, например, не зная на каком ЯП будет разрабатываться ПО, трудно будет рационально подобрать алгоритмы, отвечающие возможностям ЯП.

Завершающим этапом второго уровня является *сдача проекта* заказчику. Эта стадия может быть выполнена только при полном выполнении предыдущих стадий, если иное не было предварительно оговорено с заказчиком.

### **3.2.3 Третий уровень иерархии.**

Этап формирования ТЗ подразделяется на следующие задачи:

а) Определение назначения ПО. Здесь формализуются цели и функции ПП. Впоследствии, они вносятся в ТЗ. Это смысл выполнения проекта, то, к чему стремится вся его команда, что хочет получить в итоге заказчик;

б) Исследование степени разработанности. На стадии предпроектного исследования выполняется проверка, существуют ли аналоги данного продукта в открытом доступе рынка. Если есть, то чем заказчика не устраивает их использование;

в) Требования к продукту. Определяются численные критерии, которым должен соответствовать результат проекта на этапе его сдачи;

г) Определение сроков. Всем участникам проекта необходимо знать, к какому сроку они должны выполнить определённый ранее объём работ. Сотрудникам, при согласовании ТЗ, необходимо оценить эти сроки, и в случае невозможности из соблюдения, просить корректировки и согласования с заказчиком более позднего выполнения задач;

д) Написание ТЗ. Завершающая стадия этапа формирования ТЗ — здесь собирается вся информация с предыдущих стадий и документируется согласно стандартам организации. ТЗ должно быть согласовано со всеми участниками проекта.

Этап разработки алгоритмов подразделяется на следующие стадии:



а) Определение принципа работы ПО. Составляется принципиальная схема работы ПО, связь модулей, определяется предназначение каждого из модулей;

б) Разработка алгоритмов для модулей ПП. Происходит решение поставленных задач на уровне логики и математики, строится набор взаимосвязей алгоритмов. По возможности, рассматривается применение уже существующих универсальных (реже, специальный) алгоритмов.

Этап разработки ПО содержит такие стадии:

а) Выбор ЯП. Данная стадия подразумевает проведение сравнительного анализа существующих инструментов различных ЯП применительно к разрабатываемому ПП;

б) Определение структуры ПО. Эта стадия необходима для понимания разработчиком функционала каждого из модулей программы. От этого зависит, на какие части (из каких файлов) будет состоять ПО;

в) Написание и отладка программного кода. Главная часть создания продукта. На этой стадии разработчики непосредственно пишут программный код и отлаживают его работу.

г) Тестирование ПО. Команда тестировщиков, также, пишет тестовый код, который проверяет разрабатываемое ПО на корректность работы его функционала.

Завершающий этап на втором уровне иерархии — сдача ПО, содержит следующие стадии:

а) Презентация. Команда проекта презентует результаты своей работы заказчику, демонстрирует работу программы. Отчитывается по выполнению всех этапов, указанных в ТЗ;

б) Внесение правок. По итогам презентации команда проекта заслушивает обратную связь от заказчика и на этой основе вносит в проект правки;

в) Передача ПО заказчику. Организатор проекта передаёт заказчику исходный код ПО, документацию и инструкции, требования, прочие исходные файлы, информацию, обеспечивающую доступ к ПП;

г) Обучение Сотрудников. При сдаче нового ПП, команде разработчиков необходимо обучить персонал заказчика работе с новым ПО;

д) Устранение недостатков. После обучения исполнитель проекта (организация) предоставляет заказчику 7 рабочих дней на проведение внутренних проверок ПО, по результатам которых заказчик предоставляет исполнителю список исправлений, которые команда проекта обязана скорректировать в разработанном ПО;

е) Закрытие задания на проект. Расчёт. Конечным мероприятием сдачи ПО является закрытие сторонами задания по договору и получение расчёта за выполненную работу.

### **3.2.4 Четвёртый уровень иерархии.**

Описание данного уровня иерархии приведено кратко для примера. В самом деле, каждая из стадий третьего уровня подразделяется на задачи четвёртого уровня.

Стадия исследования степени разработанности проблемы в этапе формирования ТЗ подразделяется на следующие задачи:

а) Исследование отечественного рынка аналогичных ПП. Задача состоит в поиске решений по аналогичным проектам в открытом доступе в рамках отечественного рынка;

б) Исследование зарубежного рынка аналогичных ПП. Данная задача отличается от предыдущей сложностью поиска аналогов (на зарубежном рынке(пространстве)), так как для проведения данного анализа необходим

высокий уровень владения иностранным (английским) языком, а также, требуется знание достоверных ресурсов (источников) информации.

Описанные элементы иерархии сведены в иерархическое дерево (см. рисунок 3.1). Уровни иерархической структуры оформлены таким образом, что, чем конкретнее описаны элементы структуры, тем насыщеннее цвет заливки.

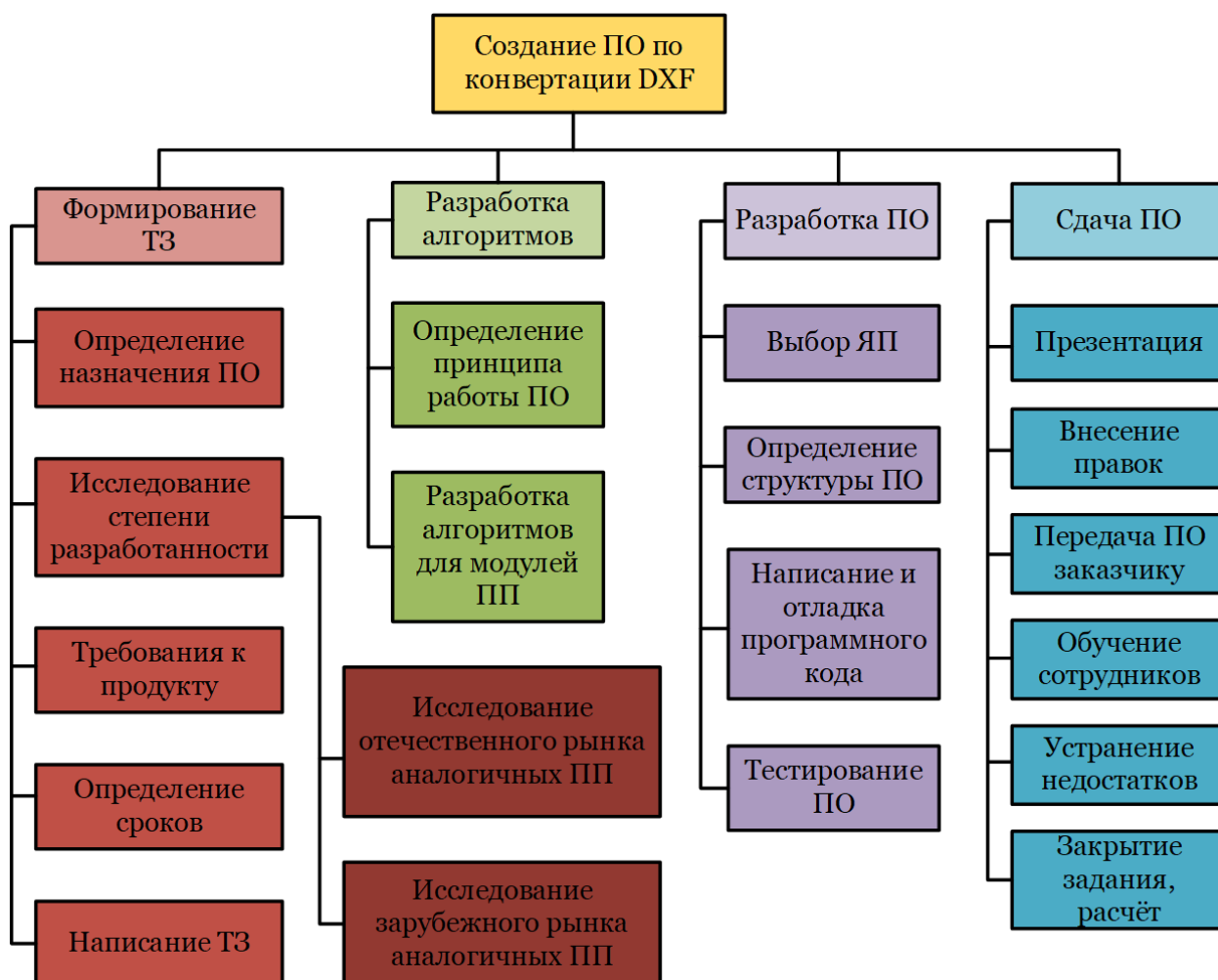


Рисунок 3.1 — Дерево задач проекта

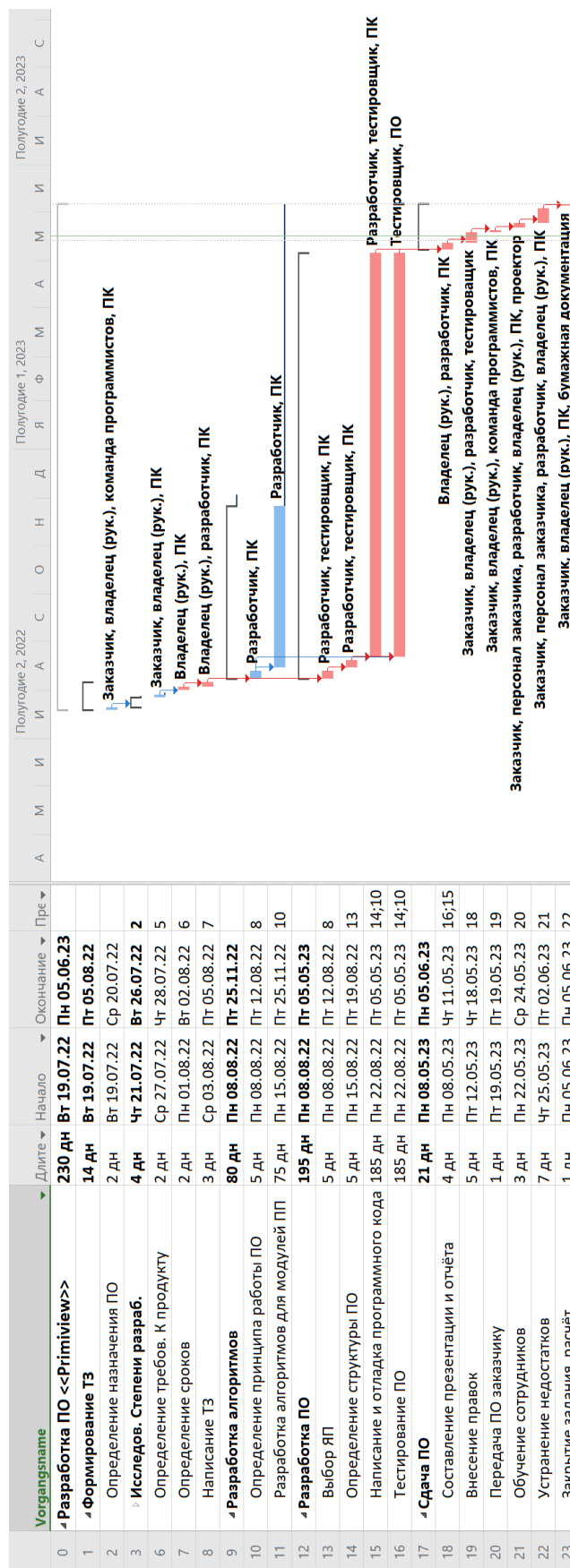
### 3.3 Построение диаграмм проекта

В целях визуализации информации в области планирования проекта, а также для удобства, наглядности и гибкости контроля за выполнением задач проекта используются методы построения диаграмм и графов проекта.

#### 3.3.1 Диаграмма Ганта

На данном этапе строится диаграмма Ганта (англ. Gantt Chart, также, ленточная диаграмма, график Ганта) — это тип столбчатых диаграмм, использующийся для иллюстрации плана, графика работ проекта. Изобрёл такой тип диаграмм американский «прародитель» менеджмента Генри Лоренс Гант [10]. Также, является методом планирования проекта. Эта диаграмма представляет собой отрезки (графические плашки), размещающиеся на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельно задаче (подзадаче). Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи. Диаграмма может использоваться для представления текущего состояния выполнения работ: часть прямоугольника, отвечающего задаче, заштриховывается, отмечая процент выполнения задачи; показывается вертикальная линия, отвечающая моменту «сегодня».

Рядом с самой диаграммой располагается таблица со списком работ, строки которой соответствуют отдельным задачам, отображённым на диаграмме, в то время как столбцы содержат дополнительную информацию о задаче.



### 3.3.2 Сетевой график

С целью точного определения плановых сроков завершения проекта и выявления потенциальных вариантов их сокращения, а также для выявления и планирования критического пути проекта строится сетевой график.

Сетевой график представляет собой ориентированный граф, изображающий все необходимые для достижения цели проекта операции в технологической взаимосвязи. Другими словами, это изображение комплекса работ с учётом их длительности, взаимосвязи и перечнем неделимых операций в порядке их выполнения.

Основной элемент сетевого графика — события, характеризующие завершение или начало работы. Оно обычно обозначается окружностью внутри которой располагается номер события (для сверки со справочной таблицей, прилагающейся к сетевому графику).

Стрелками на сетевом графике изображаются работы — реальные процессы или действия, требующие затрат труда, материалов и времени, и приводящие к событию, на которое обращена стрелка. Работы на сетевом графике обычно означают одно из следующего:

- Действительная работа — производственный или творческий процесс, требующий усилий, затрат труда, времени и материальных ресурсов;
- Ожидание — процесс, требующий только затрат времени без привлечения каких-либо ресурсов;
- Зависимость (фиктивная работы) — процесс, не требующий затрат труда, времени и ресурсов.

Продолжительность работы для проектов на глобальном уровне обычно измеряется, как минимум, днями. Однако на разной масштабности может также и быть оценена в часах, неделях, месяцах, годах. Работы могут иметь

количественные показатели, характеризующие трудоёмкость, стоимость, материальные ресурсы.

Временные показатели изображаются над стрелками, обозначение работ — под стрелками.

К сетевым графикам предъявляется требование, чтобы события были определены полно и чётко, их формулировка должна включать результат предшествующих ему работ. Если то или иное событие наступило, то это значит, что сразу могут быть начаты следующие работы.

Путь на сетевом графике — это непрерывная последовательность работ от исходного до завершающего события.

Критическим путём называется путь сетевого графика с наибольшей суммарной продолжительностью работ.

При построении сетевых графиков необходимо придерживаться следующих правил:

- а) Последовательное изображение работ от начала к окончанию,
- б) Изображение стрелок от предшествующего события к последующему,
- в) Отсутствие пересечения стрелок,
- г) Обозначение работ: между двумя событиями только одна стрелка,
- д) Запрет на замкнутые контуры, тупики, хвостовые работы,
- е) Изображение дифференциально-зависимых работ с помощью пунктирных стрелок,
- ж) Изображение поставки-результата внешней работы, используемого в данной работе,
- и) Кодирование событий.

Согласно описанным принципам построения сетевых графиков был разработан сетевой график для проекта по разработке ПО «primiview»

для конвертирования файлов. На рисунке 3.3 изображена сама сеть. Для расшифровки событий и работ см. таблицы 3.1 и 3.2.

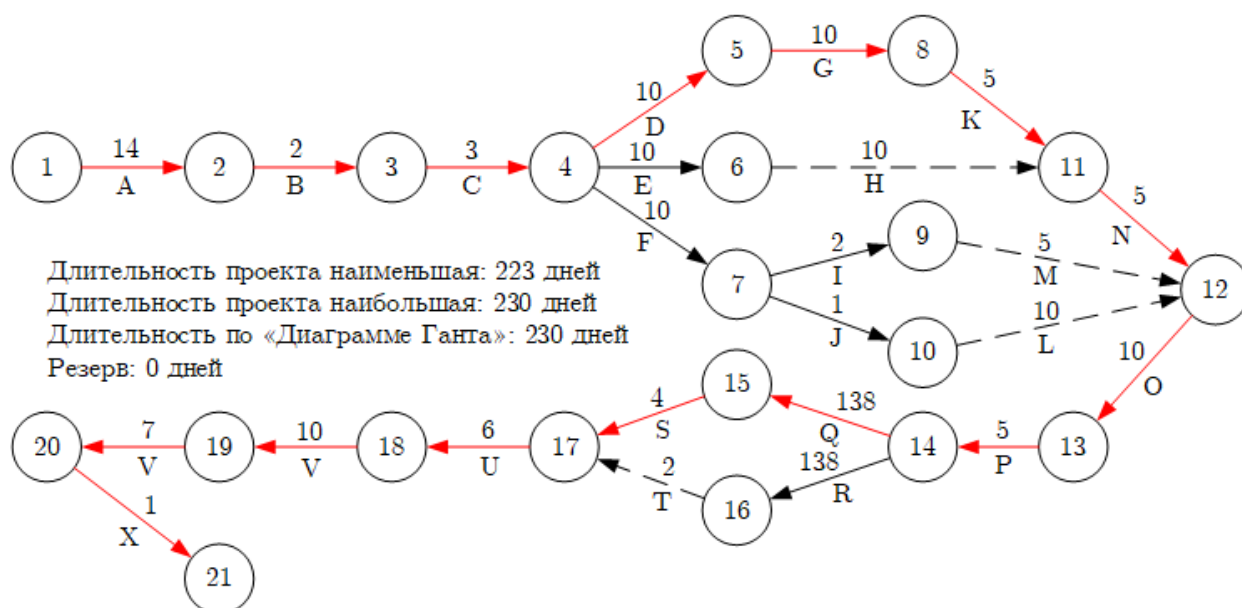


Рисунок 3.3 — Сетевой график проекта

Таблица 3.1 — Работы в сетевом графике проекта

Обозн.	Наименование этапа	Продолж. (раб. дней)	Предш. этап
A	Принятие командой проекта решений по назначению ПО, исследование аналогов, определение требований и сроков	14	-
B	Определение файловых потоков	2	A
C	Определение взаимосвязи файлов ПО	3	B
D	Сравнение концепций хранения данных внутри ПО, схематизация и моделирование вариантов реализации алгоритма, проверка алгоритма на ошибки	10	C



Продолжение таблицы 3.1

Обозн.	Наименование этапа	Продолж. (раб. дней)	Предш. этап
Е	Вывод зависимостей между доступными параметрами дуг и необходимой геометрией дуг, разработка алгоритма	10	С
Ф	Разработка алгоритма по перебору и внут- репрограммному сохранению координат изображения	10	С
Г	Разработка алгоритма на основе созданной структуры хранения примитивов	10	Д
Н	Разработка алгоритма с использованием созданных алгоритмов вычленения необхо- димой информации из DXF-файлов	10	Е
І	Применение встроенных в ЯП методов сор- тировки, применение предыдущего алгорит- ма	2	Ф
Ј	Выполнение операций над краевыми значе- ниями массивов координат	1	Ф
К	Разработка алгоритма конвертации с ис- пользованием радиуса сегмента полилиний	5	Г,Н
Л	Разработка алгоритма конвертации с ис- пользованием альтернативного метода опи- сания дуг	10	Ј
М	Разработка алгоритма с использованием встроенных в ЯП алгоритмов сортировки	2	І

Продолжение таблицы 3.1

Обозн.	Наименование этапа	Продолж. (раб. дней)	Предш. этап
N	Разработка алгоритма с использованием извлечённых из DXF Геометрических данным для визуализации изображения	5	H,K
O	Разработка алгоритма конвертации DXF В JSON с объединением примитивов в контуры	10	L,M,N
P	Сравнительный анализ ЯП в применении к поставленным требованиям к ПО	5	O
Q	Написание кода программы и его отладка	138	P
R	Тестирование функционала разработанного ПО	138	Q
S	Подготовка документа-отчёта, а также составление презентации с подготовкой команды проекта к демонстрации разработанного ПП	4	R
T	Подготовка презентации и отчёта с незавершёнными тестами ПО	2	Q
U	Заслушивание обратной связи заказчика после презентации. Составление списка замечаний к исправлению	6	S,T
V	Проведение обучения сотрудников заказчика к пользованию ПП. Передача ПО заказчику. Предоставление времени на внутреннюю проверку нового ПО	10	U

Продолжение таблицы 3.1

Обозн.	Наименование этапа	Продолж. (раб. дней)	Предш. этап
W	Приём списка замечаний сотрудников заказчика после периода внутренней апробации ПП	7	V
X	Обновление переданного ПО заказчику. Завершающая встреча заказчика и владельца проекта для подписания оформленных к завершению проекта документов	1	W

Таблица 3.2 — События в сетевом графике проекта

Обозн.	Наименование события	Предш. событие
1	Начало проекта	-
2	Техническое задание	1
3	Схема работы ПО	2
4	Структура ПО	3
5	Алгоритм внутрепрограммного сохранения примитивов	4
6	Алгоритм вычисления радиуса сегмента полилинии	4
7	Алгоритм вычленения координат из объектов DXF	4
8	Алгоритм конвертации DXF→TXT(DXF-type)	5
9	Алгоритм поиска наименьших координат изображения	7
10	Алгоритм поиска ширины и высоты рамки объектов DXF	7
11	Алгоритм конвертации DXF→TXT(x,y,r)	6,8

### Продолжение таблицы 3.2

Обозн.	Наименование события	Предш. событие
12	Алгоритм конвертации DXF→SVG	9,10,11
13	Алгоритм конвертации DXF→JSON	12
14	Утверждённый руководителем проекта ЯП	13
15	Файлы проекта с исходным кодом	14
16	Отчёт о прохождении тестов	15
17	Презентация и отчёт проекта в эл.виде	16
18	Список правок	17
19	Результаты тестирования сотрудников	18
20	Список устранённых недостатков	19
21	Подписанное о закрытии задание проекта. Счёт на оплату. Чек об оплате	20

Затратами на трудовые ресурсы «Руководитель», «Программист» и «Тестировщик» является заработная плата и страховые взносы. Эти затраты рассчитываются вне зависимости от того, будут ли они оплачиваться. Фактически существующие, но не оплачиваемые (и не учитываемые в бухгалтерском учете) затраты называются вменёнными или неявными (как правило, это стоимость принадлежащих предпринимателю использованных ресурсов).

Для расчета заработной платы трудовых ресурсов используется формула:

### 3.4 Расчёт стоимости проекта

Ресурс — средства, позволяющие с помощью определённых преобразований получить желаемый результат.

После того как определен состав задач, необходимо определить, кто эти задачи будет исполнять и какое оборудование будет использоваться. Для этого нужно ввести в план проекта список ресурсов и информацию о них, а затем распределить эти ресурсы между задачами.

С задачами, для которых назначены сроки, должны быть ассоциировано оборудование, средства и люди. Это подразумевает распределение обязанностей. Эта деятельность определяется и ограничивается доступностью ресурсов, их оптимальным использованием в заданном контексте и вопросами, связанными с персоналом.

Для того чтобы определить стоимость всего проекта, необходимо обозначить виды ресурсов, стоимость этих ресурсов, время использования и необходимый объем.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Ресурсы	Работы	Трудозатраты всего, час	Распределение трудозатрат по месяцам, час											
				И	А	С	О	Н	Д	Я	Ф	М	А	М	И
1															
2															
3		Определение назначения ПО	16	16											
4		Определение <u>требов.</u> к ПО	16	16											
5		Определение сроков	16	16											
6		Написание <u>ТЗ</u>	24	24											
7		Подготовка презентации, отчёта	32											32	
8	Владелец проекта (рук.)	Внесение правок	40											40	
9		Передача ПО заказчику	8											8	
10		Обучение сотрудников	24											8	16
11		Устранение недостатков	56											24	32
12		Закрытие задания, расчёт	8												8
13		Итого	240	32	40									112	56
14		<u>Исследов.</u> степ. разработки	32	32											
15		Написание <u>ТЗ</u>	9	9											
16		Определение принципа работы ПО	40	40											
17		Разработка алгоритмов	560	140	140	140	140								
18		Выбор языка программирования	32	32											
19		Определение структуры ПО	40	40											
20	Разработчик	Написание и отладка кода	1104	110	110	110	110	132	110	132	110	132	48		
21		Подготовка презентации, отчёта	32										32		
22		Внесение правок	40										40		
23		Передача ПО заказчику	8										8		
24		Обучение сотрудников	24										8	16	
25		Устранение недостатков	56										24	32	
26		Итого	1345	159	110	110	110	132	110	132	110	132	160	48	
27		Выбор языка программирования	32	32											
28		Определение структуры ПО	40	40											
29		Написание и отладка кода	600	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
30	Тестировщик	Тестирование ПО	620	60	60	60	60	60	60	60	60	70	70		
31		Внесение правок	20										20		
32		Передача ПО заказчику	8										8		
33		Итого	1320	192	120	120	120	120	120	120	120	130	158		

Рисунок 3.4 — Распределение использования ресурсов

Затратами на трудовые ресурсы «Руководитель», «Программист» и «Тестировщик» является заработная плата и страховые взносы. Эти затраты рассчитываются вне зависимости от того, будут ли они оплачиваться. Фактически существующие, но не оплачиваемые (и не учитываемые в бухгалтерском учете) затраты называются вменёнными или неявными (как правило, это стоимость принадлежащих предпринимателю использованных ресурсов).

Для расчета заработной платы трудовых ресурсов используется формула 3.1:

$$З_ч = \frac{З_{мес}}{Д_{р/мес} \cdot Ч_{р/д}}, \quad (3.1)$$

где  $Д_{р/мес}$  — количество рабочих дней в месяце;

$Ч_{р/д}$  — количество рабочих часов в дне (продолжительность смены);

$З_{мес}$  — средняя заработная плата за месяц.

Далее полученную ставку необходимо умножить на трудозатраты данного ресурса и просуммировать по видам ресурсов. Общие затраты на оплату труда дополнительно умножают на ставку страховых взносов (ранее – единый социальный налог) (30 %).

Затраты на ресурс компьютер – амортизация.

$$З_{ОБОР} = \frac{С_{ОБОР}}{С_Р \cdot Д_Л}, \quad (3.2)$$

где  $С_{ОБОР}$  — стоимость оборудования (в т.ч. компьютера);

$С_Р$  — срок полезного использования компьютера;

$Д_Л$  — число рабочих дней в году.

Затраты на ресурс ПО — его стоимость (расчёт аналогичен).

Затраты на ресурс Internet — стоимость использования сети.

Затраты на ресурс сотовая связь – стоимость её использования.

В расчёт включаются накладные расходы (освещение, отопление, уборка помещения, канцтовары и пр.) они рассчитываются укрупненно. Примем их равными 10% от расходов на оплату труда. Они, в основном, имеют вмененный характер (неоплачиваемые). Общие затраты на проект формируются путём суммирования. В дальнейшем из общей величины затрат по проекту может быть выделена сумма вменённых затрат.

Рассчитаем заработную плату сотрудников проекта:

$$З_{рук} = \frac{70 \text{ т.руб.}}{22 \text{ дн} \cdot 8 \text{ ч}} = 397,7 \text{ руб/ч}; \quad (3.3)$$

$$З_{разраб} = \frac{90 \text{ т.руб.}}{22 \text{ дн} \cdot 8 \text{ ч}} = 511,4 \text{ руб/ч}; \quad (3.4)$$

$$З_{тестир} = \frac{60 \text{ т.руб.}}{22 \text{ дн} \cdot 8 \text{ ч}} = 340,9 \text{ руб/ч}. \quad (3.5)$$

Суммируем итоговые расходы на заработную плату сотрудникам проекта, предварительно умножив их ставку на трудозатраты, приведённые на рисунке 3.4:

$$\begin{aligned} З_{з/п} &= \sum (З_{рук} \cdot 240 \text{ ч}; З_{разраб} \cdot 1345 \text{ ч}; З_{тестир} \cdot (1288 \text{ ч} + 1,5 \cdot 24 \text{ ч})) = \\ &= 397,7 \text{ руб/ч} \cdot 240 \text{ ч} + 511,4 \text{ руб/ч} \cdot 1345 \text{ ч} + \\ &\quad + 340,9 \text{ руб/ч} \cdot (1288 \text{ ч} + 1,5 \cdot 24 \text{ ч}) = \\ &= 1234632 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Как можно заметить, сверхурочные 24 часа работы тестировщика учтены в расчёте с повышенным коэффициентом в 1,5.

Рассчитаем затраты на страховые взносы по ставке 30%:

$$З_{с.в} = З_{з/п} \cdot 30\% = 1234632 \text{ руб} \cdot 30\% = 370389,6 \text{ руб.} \quad (3.7)$$

Согласно ресурсов на графике Ганта (см. рисунок 3.2), а также формулы 3.2, приведём затраты на нечеловеческие ресурсы.

Рассчитаем амортизацию на рабочие компьютеры персонала:

$$\begin{aligned} A_{\text{ПК}} &= \sum A_{\text{ПК.рук}}; A_{\text{ПК.разр}}; A_{\text{ПК.тест}} = \\ &= \sum \left( \frac{40 \text{ т.р}}{(365 \text{ дн} \cdot 3 \text{ г}) \cdot 247 \text{ дн}}; \frac{150 \text{ т.р}}{(365 \text{ дн} \cdot 3 \text{ г}) \cdot 247 \text{ дн}}; \frac{150 \text{ т.р}}{(365 \text{ дн} \cdot 3 \text{ г}) \cdot 247 \text{ дн}} \right) = \\ &= \sum (0,15 \text{ руб/д}; 0,55 \text{ руб/д}; 0,55 \text{ руб/д}) = 1,25 \text{ руб/д}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Для получения затрат умножим получившуюся амортизацию на общую продолжительность выполнения проекта: персонала:

$$З_{\text{ПК}} = A_{\text{ПК}} \cdot 230 \text{ дн} = 1,25 \text{ руб/д} \cdot 230 \text{ дн} = 287,5 \text{ руб}. \quad (3.9)$$

Для создания документации, презентаций, для переписке по почте использовался пакет Microsoft Office 365 Professional Plus 2019, цена для которого для трёх служебных компьютеров составляет:

$$З_{\text{MS Office}} = \Pi_{\text{лиц}} \cdot 3 \text{ ПК} = 1890 \text{ руб} \cdot 3 \text{ ПК} = 5670 \text{ руб}, \quad (3.10)$$

где  $\Pi_{\text{лиц}}$  — цена годовой лицензии.

ПО, которым пользуются разработчик и тестировщик, бесплатное.

Рассчитаем стоимость Интернета для используемых компьютеров. Тариф Мобильных ТелеСистем (МТС) Интернета со скоростью 1000 Мбит/сек стоит 890 рублей в месяц. Соответственно, для 11 месяцев работы стоимость составит:

$$З_{\text{Internet}} = 890 \text{ руб} \cdot 11 \text{ мес} = 9790 \text{ руб}. \quad (3.11)$$

Корпоративный тариф МТС на сотовые услуги «Умный бизнес Start» составляет 350 рублей в месяц. Таким образом, затраты на сотовую связь в рамках проекта составят:

$$З_{\text{Связь}} = (350 \text{ руб} \cdot 11 \text{ мес}) \cdot 3 \text{ чел} = 11500 \text{ руб}. \quad (3.12)$$



Рассчитаем накладные расходы (на освещение, отопление, уборку помещений, канцтовары и прочее). Как было отмечено ранее, данные затраты рассчитываются, как 10% от расходов на оплату труда, то есть:

$$З_{\text{НаклРасх}} = 10\% \cdot З_{\text{з/п}} = 10\% \cdot 1234632 \text{ руб} = 123463,2 \text{ руб.} \quad (3.13)$$

Суммируя рассчитанные затраты, получим приблизительную стоимость проекта:

$$\begin{aligned} C_{\text{Тпроект}} &= \sum (З_{\text{з/п}}; З_{\text{с.в}}; З_{\text{ПК}}; З_{\text{MS Office}}; З_{\text{Internet}}; З_{\text{Связь}}; З_{\text{НаклРасх}}) = \\ &= (1234632 + 370389,6 + 287,5 + \\ &+ 5670 + 9790 + 11500 + 123463,2) \text{ руб} = 1755732,3 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (3.14)$$

### 3.5 Сравнительная экономическая эффективность

Расчеты сравнительной экономической эффективности капитальных вложений (инвестиций) применяются при сопоставлении нескольких возможных для осуществления вариантов инженерных решений: при решении задач по выбору взаимозаменяемых материалов, внедрению новых видов техники, модернизации оборудования, способов организации производственных процессов и т. п. То есть для оценки решений, которые являются альтернативными для обеспечения одинаковых конечных результатов деятельности. При этом конечные результаты (производство конкретной продукции с определенными характеристиками в заданном объеме) уже известны, есть необходимость определить, какой способ ее изготовления на том или ином этапе деятельности предприятия является более выгодным.

#### 3.5.1 Исходные данные

Станкостроительное предприятие рассматривает заказ на создание программного обеспечения для своего оборудования (токарных станков с

ЧПУ). Это ПО автоматизирует процесс создания управляющих программ для станков с ЧПУ, взамен работе инженера-технолога-программиста, который, обычно, берёт чертёж детали и либо вручную пишет УП, либо использует иностранные САМ-системы, предварительно создавая чертёж или эскиз. В рамках данной (третьей) части ВКР будет рассматриваться инвестиционный проект (ИП) с точки зрения покупателя оборудования у предприятия, которое привлекло силы университета для создания описанного ПО. Сравниваются два варианта – покупка станков без ПО и, соответственно, с ним.

**Сравнительная характеристика вариантов.** Рассмотрим ситуацию с точки зрения покупателя оборудования рассматриваемого станко-строительного предприятия. Соберём основные данные в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 — Сравнительная характеристика вариантов ИП

Вариант 1	Вариант 2
Покупка станка без ПО	Покупка станка вместе с ПО (САМ-системой) за большую цену
Наём во время этапа подготовки производства инженеров-технологов-программистов для написания УП	Привлекаются технологи из имеющегося штата сотрудников для выполнения дополнительных обязанностей по контролю создания УП с помощью купленного ПО
Время написания УП в три раза больше, чем во втором варианте	Время написания УП в течение одного часа (в среднем)

Варианты рассматриваются с точки зрения потребителя оборудования. За сопоставляемые характеристики принимаются следующие:

- Объём производства (серийное),
- Частота создания УП в год (200 новых УП в среднем).

**Выбор единичного периода времени.** В качестве единичного периода времени для расчётов примем один год, так как на рассматриваемом предприятии-клиенте ситуация с производством каждый месяц практически не меняется. Также, большинство справочных величин ссылаются именно на годовой период, что тоже является подтверждением равномерной распределённости экономических характеристик внутри отдельно взятых месяцев.

### **Состав и описание капитальных вложений по вариантам**

В капитальные вложения входят следующие величины:

- Цена станка с без ПО – 2 750 000 руб.,
- Цена встроенной САМ-системы на единицу оборудования – 70 000 руб.,
- Наладка полной группы станков – 20 000 руб.

**Принятие решения по нормативному сроку окупаемости и его обоснование.** Нормативный срок окупаемости соответствует требованиям к сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений, в данном случае – в токарный станок с ЧПУ.

Срок полезного использования оборудования – 10 лет.

Срок контракта на выпуск продукции с использованием данного оборудования – в рассматриваемой ситуации нет ограничений, токарная обработка постоянно проводится на предприятии.

Требования собственника, инвестора – предприятие установило желаемый срок окупаемости – 5 лет.

Следовательно, задаём  $T_n$  (нормативный срок окупаемости) равным 5 лет, так как временные рамки требований инвестора меньше срока полезного использования оборудования.

**Определение состава затрат по вариантам (результат – перечень затрат).** Корректировка затрат в соответствии с возможностями Методики сравнительной эффективности (включаем в расчет только различающиеся по альтернативам затраты). Деление затрат на переменные и постоянные. Формирование списка исходных данных для выполнения расчетов (см. таблицу 3.4).

Таблица 3.4 — Исходные данные для расчётов текущих затрат

	Вариант 1	Вариант 2
Переменные затраты (на единицу объема деятельности (одну УП))		
Зарплата технолога, руб	1500	1500
Время на написание одной УП, час	3	1
Постоянные затраты (на единицу оборудования)		
Цена годовой лицензии/контракта обслуживания САМ-системы, руб	50000	55000

### 3.5.2 Расчёты и анализ

Так как выбран нормативный срок окупаемости, равный одному году, то к нему будут приведены расчёты по приведённым затратам.

**Исходные данные.** Среднее годовое количество УП на предприятии-покупателе станков

$$N = 200 \text{ шт};$$

Срок полезного использования оборудования:

$$T_{machinery} = 10 \text{ лет};$$

Требования инвестора по окупаемости ИП:

$$T_{inv} = 5 \text{ лет};$$

Принятая норма окупаемости:

$$T_n = T_{inv} = 5 \text{ лет};$$

Наладка полной группы станков:

$$CAM_{Term} = 20000 \text{ руб};$$

Цена встроенной САМ-системы на единицу оборудования:

$$CAM_2 = 70000 \text{ руб};$$

Цена станка без встроенной САМ-системы:

$$M = 2750000 \text{ руб};$$

Цена годовой лицензии/контракта обслуживания САМ-системы на единицу оборудования для вариантов 1 и 2, соответственно:

$$CAM_{1Perm} = 50000 \text{ руб};$$

$$CAM_{2Perm} = 55000 \text{ руб};$$

Среднее время написания одной УП:

$$t_1 = 3 \text{ часа};$$

$$t_2 = 1 \text{ час};$$

Почасовая оплата технолога:

$$Sal = 1500 \text{ руб};$$

Страховые сборы от заработной платы:

$$fees = 30\%$$

Количество покупаемых станков:

$$N_M = 5 \text{ шт};$$

**Расчёт.** Себестоимость использования оборудования и ПО:

$$\begin{aligned} C_1 &= Sal \cdot t_1 \cdot N \cdot (100\% + fees) + N_M \cdot CAM_{1Perm} = \\ &= 1500 \cdot 3 \cdot 200 \cdot (100\% + 30\%) + 5 \cdot 50000 = 1420000 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} C_2 &= Sal \cdot t_2 \cdot N \cdot (100\% + fees) + N_M \cdot CAM_{2Perm} = \\ &= 1500 \cdot 1 \cdot 200 \cdot (100\% + 30\%) + 5 \cdot 55000 = 665000 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (3.16)$$

Условно-годовая экономия (на себестоимости):

$$E = |C_1 - C_2| = |1420000 - 665000| = 755000 \text{ руб}; \quad (3.17)$$

Капитальные вложения предприятия-покупателя станков:

$$K_1 = M \cdot N_M + CAM_{Term} = 2750000 \cdot 5 + 20000 = 13770000 \text{ руб}; \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} K_2 &= N_M \cdot (M + CAM_2) + CAM_{Term} = \\ &= 5 \cdot (2750000 + 70000) + 20000 = 14120000 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (3.19)$$

Дополнительные капитальные вложения:

$$K_{extr} = |K_1 - K_2| = |13770000 - 14120000| = 350000 \text{ руб}; \quad (3.20)$$

$$K_{extr} = N_M \cdot CAM_2 = 5 \cdot 70000 = 350000 \text{ руб. (проверка);} \quad (3.21)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений:

$$T_{payback} = \frac{K_{extr}}{E} = \frac{350000}{755000} = 0,464 \text{ лет;} \quad (3.22)$$

Приведённые затраты по вариантам:

$$Z_1 = C_1 + \frac{1}{T_n} \cdot K_1 = 1420000 + \frac{1}{5} \cdot 13770000 = 4174000 \text{ руб;} \quad (3.23)$$

$$Z_2 = C_2 + \frac{1}{T_n} \cdot K_2 = 665000 + \frac{1}{5} \cdot 14120000 = 3489000 \text{ руб;} \quad (3.24)$$

Годовой экономический эффект:

$$E_{annual} = |Z_1 - Z_2| = |4174000 - 3489000| = 685000 \text{ руб;} \quad (3.25)$$

Минимальный годовой объём деятельности, при котором обеспечивается приведённый годовой экономический эффект:

$$\begin{aligned} N_{cr} &= \frac{N_M \cdot CAM_{1Perm} - N_M \cdot CAM_{2Perm} - \frac{K_{extr}}{T_n}}{S \cdot t_2 \cdot (100\% + fees) - Sal \cdot t_1 \cdot (100\% + fees)} = \\ &= \frac{5 \cdot 50000 - 5 \cdot 55000 - \frac{350000}{5}}{1500 \cdot 1 \cdot 100\% + 30\% - 1500 \cdot 3 \cdot 100\% + 30\%} = 24,359 \text{ шт;} \end{aligned} \quad (3.26)$$

По вычисленным в формулах 3.23, 3.24 затратам изобразим на графике (см. рисунок 3.5) границы целесообразности рассматриваемых вариантов.

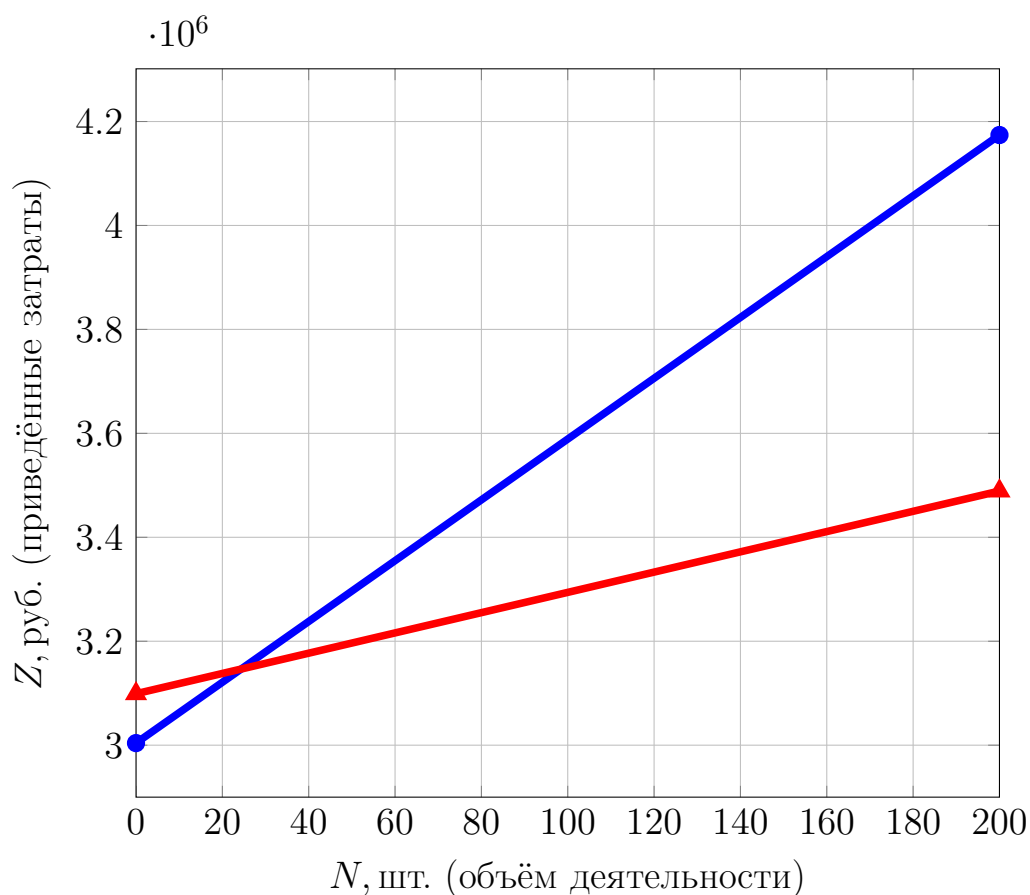


Рисунок 3.5 — Границы целесообразности рассматриваемых вариантов

Получив необходимые значения по критериям сравнения, сведём результаты в таблицу 3.5).

Таблица 3.5 — Сравнительная характеристика рассматриваемых вариантов по показателям эффективности

Наименование показателя	Ед. изм.	По вариантам:		Отклонения показателей
		Вариант без ПО	Вариант с ПО	
Годовой объем деятельности	шт.	200	200	-
Капитальные вложения, всего	руб.	13770000	14120000	350000
в том числе:				
Наладка станков	руб.	20000	20000	-



Продолжение таблицы 3.5

Наименование показателя	Ед. изм.	По вариантам:		Отклонения показателей
		Вариант без ПО	Вариант с ПО	
Цена станка (Вар. 2 + ПО)	руб.	13750000	665000	755000
Срок окупаемости дополнительных кап. вложений		0,464		
Приведённые затраты по вариантам	руб.	4174000	3489000	658000
Годовой экономический эффект			685000	

### 3.5.3 Выводы по результатам расчётов.

Так как на первых этапах расчёта по методу сравнительной эффективности ИП нельзя было сделать конкретный вывод по поводу целесообразности одного из предлагаемых вариантов по причине того, что по первому варианту себестоимость ИП была больше в сравнении со вторым, а капитальные вложения, соответственно, меньше, то расчёт был продолжен до момента вычисления расчётного срока окупаемости дополнительных капитальных вложений, а также расчёта приведённых затрат по каждому из вариантов.

Исходя из расчётов и построенного по ним графика, сделаем вывод, что, производя уже 25 УП за год, выгоднее становится вариант с ПО, так как приведённые затраты для соответствующего количество производимых УП для этого варианта оказываются меньше.

Анализируя итоговые данные, выбираем для реализации второй вариант, то есть покупка оборудования вместе со встроенным ПО (САМ-системой), объясняя выбор тем, что расчётный срок окупаемости оказался

намного меньше рассматриваемого нормативного срока окупаемости (0,4 и 5 лет, соответственно), а приведённые затраты по первому варианту оказались больше, чем по второму.

Действительно, экономия времени на создании УП нивелирует большие капитальные вложения на этапе инвестиционного периода УП.

### **3.6 Выводы по главе 3**

- 1) Разработана экономическая модель проекта;
- 2) Построено дерево задач, необходимых для выполнения целей проекта. На верхнем уровне иерархии — 4 задачи: формирование ТЗ, разработка алгоритмов, разработка ПО и сдача ПО;
- 3) Построена диаграмма Ганта и сетевой график, в результате которых проект спланирован для реализации за 230 календарных дней. Наименьшая длительность проекта: 223 дня;
- 4) Проведён анализ сравнительной экономической эффективности проекта. Было установлено, что при производстве 25 УП в год с помощью разработанного ПО, приведённые затраты по варианту с внедрением этого ПО становятся меньше по сравнению с вариантом без него. Из этого следует выгодность внедрения приложения при заданных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с целью и задачами выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

1) Проверены, сведены в одной работе, а также, в целях, возникших при разработке алгоритмов и кода ПО, выведены математические зависимости между параметром выпуклости (*bulge*) и радиусом, углом раствора, координатами концов, координатами центра, и другими геометрическими параметрами дуги окружности;

2) Разработаны алгоритмы конвертации формата DXF в форматы TXT(DXF-type), TXT(x,y,r), SVG, JSON по определённым правилам;

3) Разработаны алгоритмы по нахождению геометрических параметров чертежа в DXF (список всех координат, габариты чертежа, наименьшие координаты), а также объектов DXF (радиус сегмента полилинии, центр дуги, радиус дуги по параметру *bulge*);

4) Разработаны конвертеры из формата DXF в форматы TXT(DXF-type), TXT(x,y,r), SVG, JSON в виде программного обеспечения «primiview» на ЯП Python:

4.1) Разработана архитектура внутренней репрезентации примитивов DXF в программе «primiview»;

4.2) Разработаны модули визуализации поддерживаемый объектов DXF, конвертации форматов;

4.3) Разработан пользовательский интерфейс с помощью библиотеки PyQt;

4.4) Проведено ручное тестирование программного обеспечения, в ходе которого была подтверждена корректность конвертации выбранных типов объектов DXF в указанные форматы.

5) Проведён экономический расчёт:

- 5.1) Разработана экономическая модель проекта;
- 5.2) Построено дерево задач, необходимых для выполнения целей проекта;
- 5.3) Построена диаграмма Ганта и сетевой график, в результате которых проект спланирован для реализации за 230 календарных дней;
- 5.4) Проведён анализ сравнительной экономической эффективности проекта.

**Перспективы дальнейшей работы над проектом.** Можно выделить следующие направления дальнейшего развития и совершенствования программного обеспечения «primiview» по конвертации форматов для обработки геометрической информации 2D-объектов:

- 1) Расширение поддерживаемых для чтения и конвертации объектов DXF-файлов, например поддержка сплайнов, эллипсов, надписей;
- 2) Создание поддержки распознавания и конвертации приложением типов, толщины и цветов линий;
- 3) Разработка алгоритма сцепления линий в полилинии;
- 4) Расширение поддерживаемых входных форматов для конвертации, например Autodesk-форматов: DWG, DWS, DWT; Компас3D-форматов: FRW, FRT, CDW, CDT; DSS SolidWorks-форматов: DRW, SLDDRW, DRWDOT;
- 5) Создание новых конвертеров для преобразования DXF, например в формат языка разметки YAML. Полезным и пока ещё нереализованным может быть конвертация во фрагменты формата TEX на языке создания графики в TEX-среде — Tikz. Также, удобными для дальнейшей работы форматами, в которые необходима конвертация DXF могут быть форматы векторной и растровой графики: PDF, GIF, PNG, JPEG.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Murray, James D.* Encyclopedia of graphics file formats / James D Murray, William VanRyper // *Sebastopol: O'Reilly*. — 1996.
2. Scalable Vector Graphics (SVG) Tiny 1.2 Specification / Ola Andersson, Robin Berjon, Jon Ferraiolo et al. // *World Wide Web Consortium (W3C) recommendation*. — 2008. — Vol. 22.
3. *AutoCAD, Autodesk.* DXF Reference. — 2012.
4. *Уколов, Станислав Сергеевич.* Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.13.12: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. — 2021.
5. *Петунин, Александр Александрович.* Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскроя листовых материалов на машинах с числовым программным управлением: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.13.12: Уфимский государственный авиационно-технический университет. — 2010.
6. *Ascher, David.* Learning Python / David Ascher, Mark Lutz. — O'Reilly, 2004.
7. *Lutz, Mark.* Programming Python / Mark Lutz. — O'Reilly, 2001.
8. Elements of Reusable Object-Oriented Software / Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson et al. // *Design Patterns*. — 1995.
9. *Костин, Л.А.* Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих / Л.А. Костин //

*М: ЮРИТИ-ДАНА. — 2014.*

10. *Кларк, У.* Графики Ганта. Учёт и планирование работы. 5-е издание / У. Кларк // *Москва: «Техника управления».* — 1931.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ТЕКСТОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОНВЕРТАЦИИ

Листинг А.1 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в TXT(DXF-type)

```
1 ARC(#2A9)
2 165.00 0.00 5.00
3 ARC(#2AB)
4 170.00 0.00 5.00
5 ARC(#2AC)
6 195.00 0.00 20.00
7 ARC(#2AD)
8 210.00 0.00 20.00
9 ARC(#2B7)
10 160.00 50.00 20.00
11 ARC(#2B9)
12 210.00 50.00 20.00
13 ARC(#2BA)
14 260.00 50.00 20.00
15 ARC(#2BB)
16 310.00 50.00 20.00
17 ARC(#2F8)
18 -50.00 70.00 20.00
19 ARC(#2F9)
20 0.00 70.00 20.00
21 ARC(#2FA)
22 50.00 70.00 20.00
23 ARC(#2FB)
24 100.00 70.00 20.00
25 ARC(#300)
26 -50.00 20.00 20.00
27 ARC(#301)
28 0.00 20.00 20.00
29 ARC(#302)
30 50.00 20.00 20.00
31 ARC(#303)
32 100.00 20.00 20.00
33 ARC(#308)
34 -50.00 -30.00 20.00
35 ARC(#309)
```

```

36 0.00 -30.00 20.00
37 ARC(#30A)
38 50.00 -30.00 20.00
39 ARC(#30B)
40 100.00 -30.00 20.00
41 ARC(#39A)
42 -50.00 -80.00 20.00
43 ARC(#39B)
44 0.00 -80.00 20.00
45 ARC(#39C)
46 50.00 -80.00 20.00
47 ARC(#39D)
48 100.00 -80.00 20.00
49 CIRCLE(#2F3)
50 260.00 50.00 20.00

```

#### Листинг А.2 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в TXT(хуг)

```

1 160.00 0.00 0
2 170.00 0.00 5.00
3 175.00 0.00 0
4 165.00 0.00 5.00
5 175.00 0.00 0
6 195.00 -20.00 20.00
7 210.00 -20.00 0
8 190.00 0.00 20.00
9 141.21 43.16 0
10 153.16 31.21 20.00
11 228.77 56.91 0
12 216.84 68.79 20.00
13 266.84 68.79 0
14 278.79 56.84 20.00
15 303.16 31.21 0
16 291.26 43.00 20.00
17 -31.21 76.84 0
18 -43.16 88.79 20.00
19 -6.84 88.79 0
20 -18.79 76.84 20.00
21 31.21 63.16 0
22 43.16 51.21 20.00
23 106.84 51.21 0
24 118.79 63.16 20.00

```



```

25 -31.21 26.84 0
26 -68.79 26.84 20.00
27 -6.84 38.79 0
28 -6.84 1.21 20.00
29 31.21 13.16 0
30 68.79 13.16 20.00
31 106.84 1.21 0
32 106.84 38.79 20.00
33 -31.21 -23.16 0
34 -56.84 -48.79 20.00
35 -6.84 -11.21 0
36 18.79 -36.84 20.00
37 31.21 -36.84 0
38 56.84 -11.21 20.00
39 106.84 -48.79 0
40 81.21 -23.16 20.00
41 -31.21 -73.16 0
42 -31.21 -86.84 20.00
43 -6.84 -61.21 0
44 6.84 -61.21 20.00
45 31.21 -86.84 0
46 31.21 -73.16 20.00
47 106.84 -98.79 0
48 93.16 -98.79 20.00
49 280.00 50.00 0
50 240.00 50.00 20.00
51 240.00 50.00 0
52 280.00 50.00 20.00

```

### Листинг А.3 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в SVG

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
2 <svg version="1.1" width="100%" height="100%"
3     viewBox="-69.99999999999999 -90.0 400.0 190.0"
4     baseProfile="full"
5     xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
6     xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
7     xmlns:ev="http://www.w3.org/2001/xml-events">
8
9     <g transform="scale(1,-1)">

```

```

10
11 <path d="M 160.0,1.3512323399573678e-14 A5.0,5.0
12 0 0,1 170.0,1.29e-14"
13 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
14
15 <path d="M 175.0,1.316179938779915e-14 A5.0,5.0
16 0 0,1 165.0,1.3512323399573678e-14"
17 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
18
19 <path d="M 175.0,1.5549293598294708e-14 A20.0,20.0
20 0 0,1 195.0,-19.999999999999986"
21 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
22
23 <path d="M 210.0,-19.999999999999999 A20.0,20.0
24 0 1,1 190.0,1.4449293598294705e-14"
25 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
26
27 <path d="M 141.20614758428178,43.15959713348677 A20.0,20.0
28 0 0,1 153.15959713348659,31.206147584281858"
29 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
30
31 <path d="M 228.76766729974,56.91192188369268 A20.0,20.0
32 0 0,1 216.8404028665134,68.79385241571816"
33 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
34
35 <path d="M 266.8404028665134,68.79385241571816
36 A19.999999999999999,19.999999999999999
37 0 1,1 278.7938524157182,56.84040286651325"
38 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
39
40 <path d="M 303.15959713348656,31.206147584281847
41 A20.000000000000001,20.000000000000001
42 0 1,1 291.26446566874,43.001446340694486"
fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>

```

```

43 <path d="M -31.20614758428184,76.84040286651337
    A19.999999999999999,19.999999999999999
44 0 0,1 -43.15959713348663,88.79385241571816"
45 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
46
47 <path d="M -6.840402866513374,88.79385241571816 A20.0,20.0
48 0 0,1 -18.793852415718167,76.84040286651337"
49 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
50
51 <path d="M 31.20614758428184,63.15959713348663
    A19.999999999999999,19.999999999999999
52 0 0,1 43.159597133486635,51.20614758428184"
53 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
54
55 <path d="M 106.84040286651337,51.206147584281844
    A19.999999999999999,19.999999999999999
56 0 0,1 118.79385241571816,63.15959713348663"
57 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
58
59 <path d="M -31.206147584281847,26.84040286651338
    A19.999999999999999,19.999999999999999
60 0 0,1 -68.79385241571816,26.840402866513372"
61 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
62
63 <path d="M -6.840402866513374,38.79385241571817 A20.0,20.0
64 0 0,1 -6.8404028665133705,1.2061475842818297"
65 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
66
67 <path d="M 31.20614758428184,13.159597133486631
    A19.999999999999999,19.999999999999999
68 0 0,1 68.79385241571816,13.159597133486631"
69 fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
70
71 <path d="M 106.84040286651341,1.206147584281858
    A19.999999999999999,19.999999999999999
72 0 0,1 106.84040286651337,38.793852415718156"

```

```

73     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
74
75     <path d="M -31.206147584281847,-23.15959713348662
76         A19.999999999999999,19.999999999999999
77     0 1,1 -56.840402866513365,-48.79385241571816"
78     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
79
80     <path d="M -6.840402866513374,-11.20614758428183
81         A20.0,20.0
82     0 1,1 18.79385241571817,-36.84040286651337"
83     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
84
85     <path d="M 31.20614758428184,-36.84040286651337
86         A19.999999999999999,19.999999999999999
87     0 1,1 56.84040286651337,-11.206147584281844"
88     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
89
90     <path d="M 106.84040286651341,-48.79385241571814
91         A19.999999999999999,19.999999999999999
92     0 1,1 81.20614758428184,-23.159597133486628"
93     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
94
95     <path d="M -31.206147584281847,-73.15959713348661
96         A19.999999999999999,19.999999999999999
97     0 1,1 -31.20614758428184,-86.84040286651337"
98     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
99
100     <path d="M -6.840402866513408,-61.206147584281844
101         A20.0,20.0
102     0 1,1 6.840402866513377,-61.20614758428184"
103     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
104
105     <path d="M 31.20614758428184,-86.84040286651337
106         A19.999999999999999,19.999999999999999
107     0 1,1 31.206147584281844,-73.15959713348663"
108     fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>

```

```

102
103     <path d="M 106.84040286651341,-98.79385241571813
104           A19.99999999999999,19.99999999999999
105           0 1,1 93.15959713348663,-98.79385241571816"
106           fill="none" stroke="red" stroke-width="1"/>
107
108     <circle cx="260.0" cy="50.000000000000001"
109           r="19.99999999999999" fill="none" stroke="red"
110           stroke-width="1"/>

```

Листинг А.4 — Результат конвертации тестового DXF с дугами в JSON

```

1  [
2    {
3      "part_id": "dummy",
4      "paths": [
5        [
6          [
7            160.0,
8            1.3512323399573678e-14,
9            -1
10           ],
11           [
12             170.0,
13             1.29e-14,
14             0
15           ]
16         ],
17         [
18           [
19             175.0,
20             1.316179938779915e-14,
21             1
22           ],

```

```

23      [
24          165.0,
25          1.3512323399573678e-14,
26          0
27      ]
28  ],
29  [
30      [
31          175.0,
32          1.5549293598294708e-14,
33          0.41421356237309515
34      ],
35      [
36          195.0,
37          -19.999999999999986,
38          0
39      ]
40  ],
41  [
42      [
43          210.0,
44          -19.99999999999999,
45          2.414213562373095
46      ],
47      [
48          190.0,
49          1.4449293598294705e-14,
50          0
51      ]
52  ],
53  [
54      [
55          141.20614758428178,
56          43.15959713348677,
57          0.2216946626429412
58      ],

```

```

59      [
60          153.15959713348659,
61          31.206147584281858,
62          0
63      ]
64  ],
65  [
66      [
67          228.76766729974,
68          56.91192188369268,
69          0.22069605861151895
70      ],
71      [
72          216.8404028665134,
73          68.79385241571816,
74          0
75      ]
76  ],
77  [
78      [
79          266.8404028665134,
80          68.79385241571816,
81          4.510708503662023
82      ],
83      [
84          278.7938524157182,
85          56.84040286651325,
86          0
87      ]
88  ],
89  [
90      [
91          303.15959713348656,
92          31.206147584281847,
93          4.556117490819433
94      ],

```

```

95      [
96          291.26446566874,
97          43.001446340694486,
98          0
99      ]
100  ],
101  [
102      [
103          -31.20614758428184,
104          76.84040286651337,
105          0.22169466264293988
106      ],
107      [
108          -43.15959713348663,
109          88.79385241571816,
110          0
111      ]
112  ],
113  [
114      [
115          -6.840402866513374,
116          88.79385241571816,
117          0.22169466264293988
118      ],
119      [
120          -18.793852415718167,
121          76.84040286651337,
122          0
123      ]
124  ],
125  [
126      [
127          31.20614758428184,
128          63.15959713348663,
129          0.22169466264293988
130      ],

```



```

131      [
132          43.159597133486635,
133          51.20614758428184,
134          0
135      ]
136  ],
137  [
138      [
139          106.84040286651337,
140          51.206147584281844,
141          0.22169466264293988
142      ],
143      [
144          118.79385241571816,
145          63.15959713348663,
146          0
147      ]
148  ],
149  [
150      [
151          -31.206147584281847,
152          26.84040286651338,
153          0.7002075382097095
154      ],
155      [
156          -68.79385241571816,
157          26.840402866513372,
158          0
159      ]
160  ],
161  [
162      [
163          -6.840402866513374,
164          38.79385241571817,
165          0.7002075382097097
166      ],

```

```

167      [
168          -6.8404028665133705,
169          1.2061475842818297,
170          0
171      ]
172  ],
173  [
174      [
175          31.20614758428184,
176          13.159597133486631,
177          0.7002075382097097
178      ],
179      [
180          68.79385241571816,
181          13.159597133486631,
182          0
183      ]
184  ],
185  [
186      [
187          106.84040286651341,
188          1.206147584281858,
189          0.700207538209709
190      ],
191      [
192          106.84040286651337,
193          38.793852415718156,
194          0
195      ]
196  ],
197  [
198      [
199          -31.206147584281847,
200          -23.15959713348662,
201          1.5696855771174902
202      ],

```

```

203      [
204          -56.840402866513365,
205          -48.79385241571816,
206          0
207      ]
208  ],
209  [
210      [
211          -6.840402866513374,
212          -11.20614758428183,
213          1.5696855771174902
214      ],
215      [
216          18.79385241571817,
217          -36.84040286651337,
218          0
219      ]
220  ],
221  [
222      [
223          31.20614758428184,
224          -36.84040286651337,
225          1.5696855771174902
226      ],
227      [
228          56.84040286651337,
229          -11.206147584281844,
230          0
231      ]
232  ],
233  [
234      [
235          106.84040286651341,
236          -48.79385241571814,
237          1.5696855771174887
238      ],

```

```

239      [
240          81.20614758428184,
241          -23.159597133486628,
242          0
243      ]
244  ],
245  [
246      [
247          -31.206147584281847,
248          -73.15959713348661,
249          5.671281819617707
250      ],
251      [
252          -31.20614758428184,
253          -86.84040286651337,
254          0
255      ]
256  ],
257  [
258      [
259          -6.840402866513408,
260          -61.206147584281844,
261          5.671281819617692
262      ],
263      [
264          6.840402866513377,
265          -61.20614758428184,
266          0
267      ]
268  ],
269  [
270      [
271          31.20614758428184,
272          -86.84040286651337,
273          5.671281819617707
274      ],

```

```

275     [
276         31.206147584281844,
277         -73.15959713348663,
278         0
279     ]
280 ],
281 [
282     [
283         106.84040286651341,
284         -98.79385241571813,
285         5.671281819617692
286     ],
287     [
288         93.15959713348663,
289         -98.79385241571816,
290         0
291     ]
292 ],
293 [
294     [
295         280.0,
296         50.000000000000001,
297         1
298     ],
299     [
300         240.0,
301         50.000000000000001,
302         0
303     ],
304     [
305         240.0,
306         50.000000000000001,
307         1
308     ],
309     [
310         280.0,

```

