

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



КУВШИНОВА ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ
ГЕНЕРАТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ЕГО ПРОГРАММНАЯ
РЕАЛИЗАЦИЯ**

Специальность 2.3.8. Информатика и информационные процессы

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Роганов В.Р.

Пенза, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНОВ ПОЛЕТОВ.	18
1.1. Основные понятия и определения.....	18
1.2 Теоретические основы разработки метода распределения информационных ресурсов с заданными целочисленными примитивами 3D- модели районов полетов.....	20
1.3. Анализ методов оптимизации для распределения примитивов в сегменте первого уровня	25
1.4. Обзор методов предварительного распределения информационных ресурсов ПА ГИ.....	29
1.4.1. Метод адаптивной сегментации на основе теории фракталов.....	29
1.4.2 Метод многоуровневой сегментации с динамическим перераспределением.....	30
1.4.3 Алгоритм семантической сегментации для навигационных задач.....	30
1.4.4 Алгоритм иерархического кодирования масштаба для изображения	31
1.4.5 Метод SIFT	31
1.5. Применение оптико–программно-аппаратных комплексов в авиационных тренажёрах для распределения информационных ресурсов в 3D- модели районов полетов.....	32
1.5 Выводы по главе1.....	39
ГЛАВА2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЗАДАННЫМИ ПРИМИТИВАМИ ПО ВСЕЙ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНА ПОЛЕТОВ ЛЮБОГО РАЗМЕРА	41
2.1. Основные понятия и определения.....	41
2.2. Выбор метода оптимизации для распределение информационных ресурсов в сегменте первого уровня	52
2.3 Оптимизированное представление ресурсов ПА ГИ для методов оптимизации	56
2.4 Отсечение сегментов, не попавшие в пирамиду видимости при положении наблюдателя.....	60
2.5 Выводы по главе 2.....	66

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЕЛЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНА ПОЛЕТА НА ОДНОТИПНЫЕ СЕГМЕНТЫ ПЕРВОГО УРОВНЯ	68
3.1. Основные понятия и определения.....	68
3.2 Обоснование необходимости решать задачу перераспределения информационных ресурсов ПА ГИ при разработке 3D-модели района полета для имитатора ИВО авиационного тренажера.....	70
3.3 Деление 3D-модели района полета на сегменты первого уровня с использованием алгоритма Гомори	74
3.4 Математический аппарат для деления 3D-модели района полетов на сегменты первого уровня и вычисления максимального времени обработки примитивов.	79
3.5. Выводы по главе 3.....	84
ГЛАВА 4. ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ДЕЛЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНА ПОЛЕТОВ НА СЕГМЕНТЫ ПЕРВОГО УРОВНЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОГО АЛГОРИТМА	85
4.1 Основные понятия и определения.....	85
4.2 Алгоритм деление 3D-района полетов на сегменты первого уровня для нахождения визуальных примитивов	86
4.3. Формирование когнитивной модели лётчика с учетом визуально наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов при тренировке на авиационном тренажере.	98
4.4. Исследование программной реализации в модели района полетов ...	102
4.5. Основные модули программной реализации «Расчет».....	104
4.6. Экспериментальная проверка эффективности распределения визуальных примитивов в модели района полетов	108
4.7 Результаты и выводы по главе 4.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	117
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Акты внедрения.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ	134

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АТ– авиационный тренажер;

ЛА– летательный аппарат;

ИВО– имитатор визуальной подготовки;

ПА ГИ – программно-аппаратный генератор изображения;

ВВП– взлетно-посадочная полоса;

ППМ – поворотный пункт маршрута;

S_0 – 3D-модель района полётов;

$S^{(v)}$ – след пирамиды видимости;

S_i – площадь i -го сегмента;

ВВЕДЕНИЕ

На основании приказа Министерства транспорта Российской Федерации от 12 июля 2019 года № 229 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к тренажерным устройствам имитации полета, применяемым для подготовки и контроля профессиональных навыков летчиков» предусмотрено увеличение числа учебных ситуаций. На сегодняшний день количество подобных ситуаций было ограничено обучением пилотов навыкам управления летательными аппаратами, однако ранее такие ситуации также имели место, но их применение не было столь интенсивным. В то же время обучение летчика навыкам навигационным задач с использованием визуализации реперных объектов разрешается только в процессе посадки. Это обусловлено необходимостью разработки новых методов и алгоритмов, направленных на оптимизацию информационных потоков, связанных с визуальными реперными объектами, расположенными по всей территории модели района полётов, в количестве достаточных для решения навигационных задач.

В настоящее время для обучения лётчиков активно используются авиационные тренажёры. Авиационный тренажёр — это обучающий комплекс, состоящий из объединённых имитаторов [1], каждый из которых синтезирует в режиме реального времени информационные процессы о поведении конкретного узла летательного аппарата [2], информационной модели атмосферы [3], положении информационной модели летательного аппарата над информационной моделью района полета [4]. В совокупности все информационные процессы воздействуют на лётчика, создавая у него ощущение изменения направления и скорости полёта [5].

На данный момент каждый имитатор авиационного тренажера разработан с целью обеспечения эффективного обучения летчиков навыкам управления летательного аппарата (ЛА). Заказчик определил подход, основанный на необходимости обучения летчиков навыкам управления летательными аппаратами в сложных ситуациях на земле [6].

Обучение летчиков на авиационном тренажере (АТ) началось в середине XX века. АТ разрабатывались с учетом программно-аппаратных характеристик в вычислительной технике [7]. Раньше уровень научных разработок и технологических возможностей программно-аппаратных систем не позволял в реальном времени во время полета на АТ обрабатывать информационные процессы, достаточные для создания большого количества 3D-моделей реперных объектов, распределенных по всей территории моделируемого района полетов. Такая возможность была нужна для навигации с визуальным ориентированием при движении в любом направлении.

Современные технологии позволяют создавать трёхмерные модели объектов, видимых лётчиком через остекление кабины, с использованием имитатора визуальной обстановки (ИВО). Этот комплекс состоит из: программно-аппаратного генератора изображений (ПА ГИ), базы данных и 3D-индикаторов. Основная задача ПА ГИ заключается в синтезе 2D-проекций 3D-моделей реперных объектов, попадающих в пирамиду видимости в режиме реального времени и отображении их на экране.

Тем не менее, из-за ограниченной мощности программно-аппаратного генератора изображений удавалось создавать лишь трёхмерную модель взлётно-посадочной полосы (ВПП) и модель аэродрома, площадь которого не превышала 15×15 км [8]. Подобные ограничения связаны с недостаточной изученностью вопросов, касающихся моделирования внешней среды для авиационных тренажёров, где требуется воссоздание территории размером не менее 400×400 км [10] с равномерным распределением моделей опорных объектов по всей площади моделей реперных объектов, которые используются для визуальной ориентировки [11,12] с целью определения места положения информационной модели ЛА в информационной модели внешней среды [13]. Экспериментально было установлено, что для синтеза узнаваемой 3D-модели ВПП требуется 800 монохромно окрашенных 3D-полигонов при производительности ПА ГИ от 1000 до 16000 3D-полигонов [14]. Такой

производительности достаточно для синтеза во время полёта на АТ узнаваемой 3D-модели ВПП с прилегающими к ней 3D-моделями реперных объектов на районе размером 15×15 км. Сосредоточив весь ресурс ПА ГИ для моделирования модели района полетов, лётчикам дало возможность обучаться пилотированию ЛА, включая обучение визуальной посадке на ВПП, при вылете за его пределы моделируется «вход в сплошную облачность». При полёте на АТ это позволяет обучать лётчика большинству навыков пилотирования ЛА и решению навигационных задач по информации, получаемой лётчиком от приборов размещённых в кабине ЛА и моделей радиомаяков размещённые на 3D-модели района полётов размер, которого задается до 1500×1500 км.

В настоящее время невозможно выполнить требования Заказчика относительно синтеза визуально наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов во время полета на АТ. Это касается не только области вокруг модели ВПП, но и всей информационной 3D-модели района полетов. Кроме того, не удастся обеспечить обучение летчиков как в области пилотирования летательных аппаратов, так и в решении навигационных задач во время полета по заданному маршруту.

Это предполагает, что лётчик сможет во время полёта ориентироваться в поворотных пунктах маршрута (ППМ) [15] по наблюдаемым 3D-моделям реперных объектов. Эффективное распределение информационных ресурсов ПА ГИ по 3D-моделям района полётов требует разработки соответствующего математического аппарата для создания достаточного количества 3D-моделей реперных объектов. Это позволит лётчику решать навигационные задачи [16], визуально ориентируясь на них, без нарушения режима реального времени при полёте в любом направлении.

Исследования показали, что при наличии высокой производительности ресурсов ПА ГИ недостаточно, чтобы без решения задачи распределение информационных ресурсов ПА ГИ [7] по всей информационной 3D-модели района полетов способствовало обучению летчиков в освоении навыков

навигации в различных условиях. Наличие визуальных 3D-моделей реперных объектов в достаточном количестве позволит летчикам эффективно ориентироваться при полетах на АТ в любом направлении.

Различным аспектам комплексной разработки АТ, в том числе моделирования информационного 3D-пространства для АТ, посвящены фундаментальные работы ведущих ученых советского периода: Шукшунова В. Е. (Новочеркасская научная школа), Годунова А. И. (Пензенская научная школа), Бабенко В. С., Иванченко А. Т. (Киевская научная школа), Пономарева В. А., Красовского А. А. (Московская научная школа), Ковалева А.М., Долговесова Б. С. (научная школа ИАиЭ СО АН РФ), а также представителей научных школ Санкт Петербурга, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону, Харькова. Такие же работы производились в известных крупных зарубежных центрах: *CAE* (Канада), *Tomson CSF* (Франция), *Indra* (Испания), *Ivan Sutherland* (Америка), *David G. Lowe* (Великобритания). Указанные научные школы создавали методы и алгоритмы, предназначенные для решения задач имитаторов в области АТ.

Изначально главной задачей было обучение летчиков управлению АТ [17]. Это соответствовало требованиям Заказчика и ограниченным возможностям существовавших программно-аппаратных устройств, лежащих в основе любого имитатора АТ. На этом этапе не ставилась задача разработки метода распределения ресурсов ПА ГИ с целью моделирования большого участка местности размером более 400×400 км для обучения решению навигационных задач [18]. Обучение летчика на АТ проводилось следующим образом: летчик управляет АТ, как реальным ЛА во время взлета и набирает высоту 50 м при скорости более чем 300 км/ч [19]. Далее моделировался полет в сплошную облачность с решением навигационных задач по показаниям имитаторов приборов радиотехнических средств самолетовождения (авиационный радиоконпас, радиостанция ближней навигации и т.д.) [20]. Перед пролетом в точку четвертого разворота появляется модель ВПП, позволяющая отрабатывать навыки визуальной посадки ВПП. Выполнение

навигационных задач во время полёта по маршруту требует визуального наблюдения за трёхмерными моделями опорных объектов, которые обозначены на картах и расположены в поворотных точках маршрута [21].

Исследования показали [22], что летчик во время полета на реальном ЛА может решать навигационные задачи, сверяя место положения летательного аппарата и ориентируясь по карте и наблюдаемым реперным объектам через остекление кабины или на экранах тепловизора и радиолокаторов. Летчик получает информацию от трех имитаторов во время обучения на тренажере: имитатора визуальной обстановки (ИВО) [23], имитатора радиолокатора (ИР) [24], имитатора тепловизора (ИТ) [25]. Исследования показали, что все три имитатора могут использовать одинаковые ПА ГИ и одну и ту же конструкцию 3D-модели района полетов [26], но с 3D-моделями реперных объектов. 3D-модели районов полётов, создаваемые различными имитаторами, имеют свои отличия, что сказывается на восприятии информации летчиком. Поэтому в дальнейшем будем решать задачи распределения ресурсов ПА ГИ отдельно для ИВО, ИТ и ИР [27].

1. Моделирование района полетов осуществляется с использованием 3D-моделей реперных объектов, интегрированных с имитатором визуальной обстановки. В результате формируется изображение, содержащее визуальные

$\bigcup_{j=1}^J P_j^{(v)}$ и управляющие $\bigcup_{j=1}^J P_j^{(y)}$ примитивы, которое проецируется на

дисплей, имитирующий остекление кабины тренажера. В отличие от альтернативных подходов, данная технология обеспечивает не только визуализацию, но и способствует формированию у летчика распознавания реперных объектов в различных условиях полета и точного пространственного восприятия.

2. Имитатор радиолокатора $I_t^{(r)}$ синтезирует 2D-проекции 3D-моделей, отображая их на экране с учетом заданной дальности и сектора наблюдения,

что создает визуально реалистичное изображение $\bigcup_{i=1}^n I_i^{(r)}$, близкое к тому, что

летчик видит в реальных полетах $\bigcup_{i=1}^{n'} I_i^{(r)}$ [28],

где i – количество изображений, попавших в имитатор радиолокатора;
 n – изображение $2D$ -проекции n' $3D$ -модели;

$I_i^{(r)}$ – визуально реалистичное изображение, близкое в реальных полетах.

3. Имитатор тепловизора $I_i^{(q)}$ синтезирует с учётом режима работы на экране имитатора тепловизора изображение, близко соответствующее изображению, получаемому лётчиком в полёте [29].

Информация необходимая для синтеза конкретного изображения участка модели района полетов, попавшего в пирамиду видимости конкретного имитатора, хранится в базе данных программно-аппаратного генератора изображений, конкретного имитатора, что в итоге синтезируется одна из возможных визуально наблюдаемых моделей: в зрительном диапазоне электромагнитного излучения, в ИК-диапазоне или в радиодиапазоне.

На рисунке В.1 представлена схема тренажера с имитаторами, которые отвечают за информационные потоки $3D$ -модели внешней среды [8]. Данные с карты местности $I_m^{(k)}$ и информационные потоки в сегментах разного уровня $3D$ -модели района полетов представляются подмножествами, изменяемыми от времени. Время в информационных потоках не должно превышать период

$$\text{времени } \sum_{i=1}^I t_i \leq t,$$

где t – цикл режима реального времени, мс;

t_i - время в информационных потоках, мс;

I – максимальное время, мс.

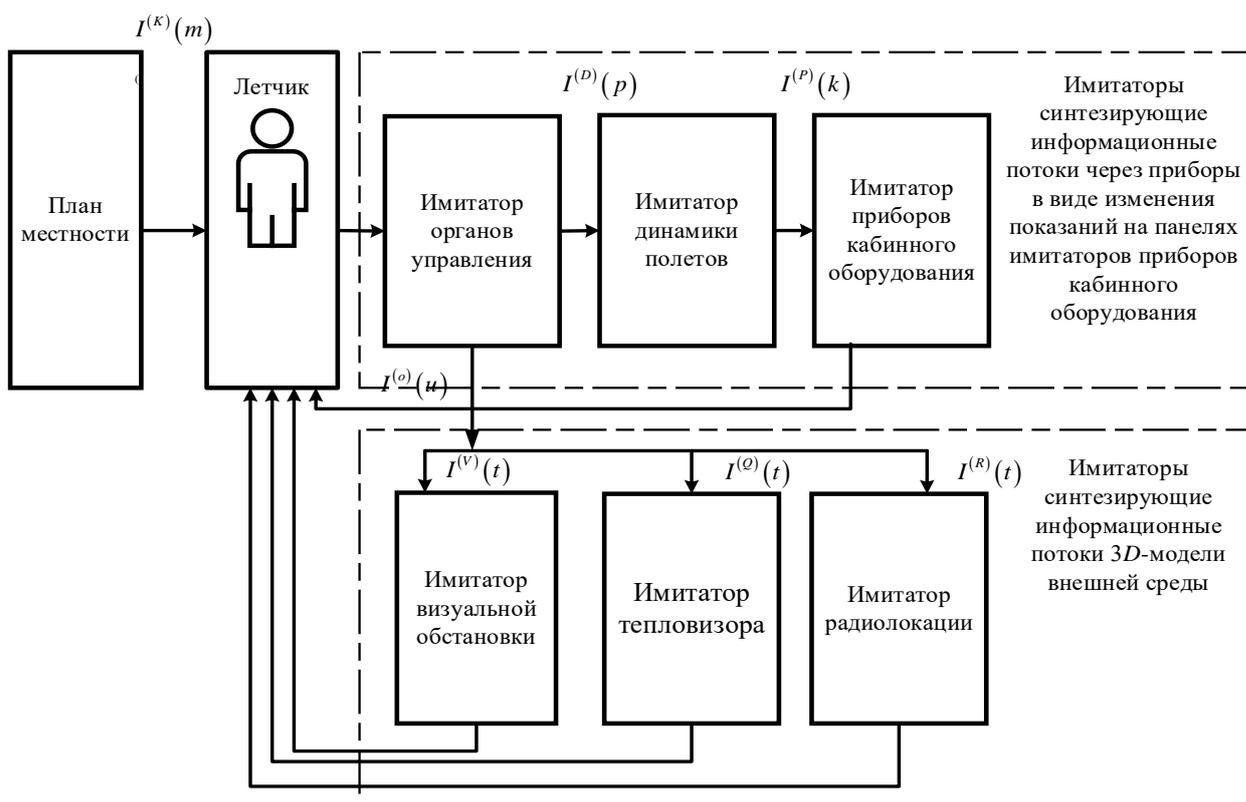


Рисунок В.1 – Схема авиационного тренажера

На первом этапе каждый имитатор $I^{(o)}(u) = I^{(V)}(t) \cup I^{(R)}(t) \cup I^{(Q)}(t)$ генерирует промежуточное изображение, преобразуя данные 3D-модели внешней среды в реальном времени. Этот процесс включает синтез 3D-моделей реперных объектов в 2D-проекции и их интеграцию в единый видеопоток [9]. В имитаторе радиолокатора $I^{(R)}(t)$ и в имитаторе тепловизора $I^{(Q)}(t)$ экран формирования промежуточного изображения является экраном соответствующего имитатора органа управления $I^{(o)}(u)$, установленного в кабине авиационного тренажера [10].

Имитатор приборов кабинного оборудования $I^{(P)}(k)$, имитатор динамики полета $I^{(D)}(p)$ и имитатор органов управления $I^{(o)}(u)$ и план местности $I^{(k)}(m)$ синтезируют информационные потоки через имитаторы приборов кабинного оборудования $I^{(k)}(m) \cup I^{(o)}(u) \cup I^{(D)}(p) \cup I^{(P)}(k)$.

Пересечение площади информационной модели рассматриваемого сегмента первого уровня с информационной площадью следа пирамиды видимости определяет выбор нужной записи ИВО для дальнейшего синтеза итогового изображения в рассматриваемый цикл режима реального времени.

Эффективное выполнение навигационных задач в условиях маршрутных полётов с визуальным наблюдением за реперными объектами требует наличия достаточного их числа. Это обеспечивает точное отображение местоположения информационной модели ЛА относительно 3D-модели района полётов. В процессе построения такой модели используется методика, предполагающая деление района полётов на сегменты первого уровня, с учётом типа геометрических фигур и их размеров.

Начиная с прошлого столетия, учёные и инженеры непрерывно ищут оптимальные методы и алгоритмы для распределения информационных ресурсов ПА ГИ. Основой для этого служит деление информационной модели района полётов, называемой нулевым сегментом, на сегменты первого уровня, что важно для эффективного решения навигационных задач при полёте модели ЛА. В данной работе будем считать, что необходимо распределить ресурсы ПА ГИ в сегменте первого уровня. На данный момент эти программы практически не используются из-за отсутствия разработок новых методов, которые могли бы обеспечить равномерное распределение информационных ресурсов по всей площади информационной модели района полётов. Разработка такого метода позволит расширить количество учебных ситуаций, добавив к уже существующим обучение решению навигационных задач при полетах на АТ в любых направлениях, что делает данную работу **актуальной**.

В настоящее время производительность ПА ГИ принято оценивать в 3D-полигонах и 3D-моделях огня, что создает сложность при решении задачи распределения ресурсов ПА ГИ. Было предложено [30] оптимизировать время обработки визуальных примитивов и всех 3D-моделей огня.

В эпоху СССР ведущую роль в разработке ПА ГИ играли сотрудники ИАиЭ [31]. Они предложили деление 3D-моделей района полётов на сегменты,

которая на начальном этапе синтеза изображений исключает из обработки все модели реперных объектов, расположенных в неактивных сегментах. Такой подход обеспечивает оптимальное распределение информационных ресурсов, вычисляя время обработки для каждого сегмента. Это позволяет конструкторам определить, сколько трёхмерных моделей реперных объектов может быть размещено в одном сегменте.

Целью диссертационной работы. Разработка новых методов и алгоритмов для синтеза 3D-модели района полётов большого размера, которая позволяет кроме обучения пилотированию решать навигационные задачи при полётах на АТ в любом направлении.

Объект исследования. Информационные ресурсы ПА ГИ, обеспечивающие разработку информационных процессов на всей площади заданной 3D-модели района полётов.

Предмет исследования – методы и алгоритмы распределения ресурсов ПА ГИ, позволяющие синтезировать в режиме реального времени максимальное число наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов при полете на АТ в любом направлении.

Для достижения поставленной цели необходимо решить актуальные научные задачи, связанные с разработкой метода распределения информационных ресурсов мультипроцессорных программно-аппаратных систем:

1. Провести сравнительный анализ методов подготовки исходной информации, обеспечивающих использование ПА ГИ для синтеза 3D-моделей реперных объектов.

2. Разработать метод распределения информационных ресурсов ПА ГИ, позволяющий за минимальное время отобрать сегменты первого уровня с описанием 3D-моделей реперных объектов, которые размещены на площади отобранных сегментов.

2. Разработать метод формирования структуры базы данных ПА ГИ, позволяющий в режиме реального времени отсекал сегменты первого уровня, не попавшие в след пирамиды видимости.

3. Разработать методику распределения ресурсов ПА ГИ по всей информационной модели района полётов, обеспечивающую синтез максимально возможного числа моделей реперных объектов в режиме реального времени.

4. Разработать обобщенный алгоритм деления информационной модели района полетов на одинаковые сегменты первого уровня для оптимального распределения информационных ресурсов ПА ГИ.

5. Разработать программную реализацию обобщенного алгоритма деления 3D-модели района полетов на одинаковые сегменты первого уровня с учетом производительности ПА ГИ, максимальной дальности видимости и размера заданной площади полета, обеспечивая при этом максимальное число видимых 3D-моделей реперных объектов при полетах на АТ в любом направлении.

Научная новизна полученных результатов:

1. Метод распределения информационных ресурсов ПА ГИ отличается тем, что модель района полётов делится на сегменты первого уровня, что позволяет на этапе формирования базы данных задать правило распределения ресурсов ПА ГИ.

2. Метод формирования структуры базы данных ПА ГИ, отличающийся тем, что задает правило задания структуры БД, позволяющее на первом этапе синтеза отсечь информацию о 3D-моделях реперных объектов, которые в данный момент не видны.

3. Методика расчёта ресурсов ПА ГИ отличается тем, что вместо ресурса «количество трёхмерных объектов» (в виде 3D-моделей реперных объектов) введено понятие ресурса как «время обработки примитивов», что позволяет, используя методы оптимизации не менее чем в 7,5 раз увеличить количество

обрабатываемых примитивов на всей 3D-модели района полётов размером не менее чем 400x400 км.

4. Обобщенный алгоритм деления информационной 3D-модели района полетов на одинаковые сегменты первого уровня отличается тем, что учитывает производительность ПА ГИ, размеры модели района полетов и максимальную дальность видимости, что позволяет применить алгоритм целочисленного программирования Гомори для расчета оптимального размера сегмента первого уровня и максимального числа размещаемых в нём 3D-моделей реперных объектов разной формы.

Соответствие паспорту научной специальности:

Область исследования, согласно паспорту специальности 2.3.8. «Информатика и информационные процессы»:

– Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения (п. 1).

– Обеспечение информационных систем и процессов, применение информационных технологий и систем в принятии решений на различных уровнях управления (п. 6).

Практическая значимость работы:

1. Метод формирования информационного процесса с видимыми в данный момент времени 3D-моделями реперных объектов отличается тем, что после первого этапа синтеза изображения на обработку выбираются модели объектов, размещённые в активных сегментах, что позволяет увеличить число реперных объектов, распределённых по всей модели района полётов.

2. Метод формирования базы данных ПА ГИ, отличающийся тем, что объекты одного сегмента принадлежат одной записи, позволяет после перебора записей ПА ГИ оставить на дальнейшую обработку только записи,

соответствующие сегменту, и обеспечивает удаление невидимой части *3D*-модели района полётов.

3. Методика описания ресурсов ПА ГИ, отличается тем, что размер каждого сегмента зависит от заданной дальности видимости, общего числа сегментов, на которые разделена *3D*-модель района полётов, и производительности ПА ГИ, что позволяет применять методы оптимизации для нахождения оптимального размера сегмента первого уровня и определения максимально допустимого времени его обработки.

4. Обобщенный алгоритм деления информационной *3D*-модели района полетов на одинаковые сегменты первого уровня, отличающийся реализацией алгоритма Гомори для расчета оптимальных параметров сегментов, позволяет оценить соответствие ПА ГИ предъявляемым требованиям на основе заданного числа *3D*-моделей реперных объектов.

Реализация и внедрение результатов работы:

Разработанные методы и алгоритмы были протестированы при выполнении грантов РФФИ № 23-21-10046, <https://rscf.ru/project/23-21-10046/>; в учебном процессе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»; в учебном процессе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» при обучении студентов по направлению 09.03.02. «Информационные системы и технологии». Результаты диссертационного исследования были использованы в АО «НПП «Рубин», г. Пенза для формирования оперативной *3D*-обстановки в тренажерах.

На защиту выносятся:

1. Метод распределения информационных ресурсов ПА ГИ, позволяющий решить задачу размещения информации по всей модели района полётов.

2. Метод формирования структуры базы данных ПА ГИ, позволяющий в режиме реального времени отсекал сегменты первого уровня, не попавшие

в след пирамиды видимости, обеспечивает получение более насыщенного изображения местности с моделями реперных объектов.

3. Методика описания ресурсов ПА ГИ, включающая размещённые примитивы сегментов первого уровня, позволяет определить оптимальный размер сегмента первого уровня и допустимое время его обработки

4. Обобщенный алгоритм деления 3D-модели района полетов на одинаковые сегменты первого уровня.

Публикации.

По итогам исследований опубликованы 22 работы, в том числе 7 статей в изданиях, входящих в рекомендуемый список ВАК РФ перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 4 статьи, цитируемые в международных базах данных *WoS* и *Scopus*. Опубликовано 9 материалов докладов на международных конференциях. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ.

Личный вклад автора. Все выводы и данные, приведённые в исследовании, основаны на авторских результатах. Заимствованные данные сопровождаются ссылками на соответствующие публикации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав и списков источников, которые содержат 102 наименования, и 2 приложения. Полный объем диссертации составляет 136 страниц. Основной текст работы включает 56 рисунков и 10 таблиц.

ГЛАВА 1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНОВ ПОЛЕТОВ

1.1. Основные понятия и определения

В сравнительном анализе метода распределения информационных ресурсов с заданными целочисленными примитивами необходимо, ввести понятия как **методы распределение информационных ресурсов** известные математические методы, позволяющие решать задачи оптимизации информационных процессов и ресурсов принятия решений на различных уровнях управления.

Теоретические принципы компьютерной графики основаны на использовании геометрических примитивов (точек, линий, полигонов) как базовых элементов для синтеза трёхмерных моделей визуализируемых объектов. Эти примитивы выступают в качестве информационных моделей компонентов, которые используются для построения либо отдельной 3D- модели реперного объекта, либо их совокупности, формирующей информационную трёхмерную модель района полётов.

При разработке первой в Советском Союзе системы компьютерного синтеза изображений специалисты ИАиЭ исследовали известные примитивы, активно работая над созданием первого программно-аппаратного комплекса для этой технологии (таблица 1.1) [32].

Таблица 1.1 – Показатели ПА ГИ

Наименование ПА ГИ	Производительность	Количество огней	Поверхностные текстуры в модели района полетов
«Акса́й»	3D-полигонов – 1000	4000	Нет

«Альбатрос»	3D-полигонов – 16000	64000	Монохромно
«MaxWue TM »	3D-полигонов – 16000	12000	Цветная
«Poligon TM »	3D-полигонов – 300000	1200000	Цветная

Кроме того, была поставлена задача создать 3D-модель района полетов большего размера. В этой связи был разработан вычислительный процесс, предназначенный для обработки сегмента, содержащие трехмерные реперные объекты, доступные для восприятия наблюдателем. Это потребовало убрать в начале каждого цикла режима реального времени сегменты содержащие невидимые в данный момент времени 3D-модели объектов, чтобы они не обрабатывались в программно-аппаратного генератора изображений.

Данное требование обусловило необходимость реализации алгоритма распределения ресурсов программно-аппаратного комплекса на этапе проектирования 3D-модели района полётов. Ключевая задача - обеспечить соблюдение временных ограничений при синтезе изображения: объём данных, запрашиваемых из базы данных не превышал допустимого времени обработки в режиме реального времени [33].

В синтезе метода распределения информационных ресурсов заданными целочисленными примитивами 3D-модели района введём понятие **3D-модель района полета**, понимается как визуально наблюдаемой информационный участок местности, над которой может летать информационная модель летательного аппарата, управляемая лётчиком, находящимся в кабине авиационного тренажёра.

Реальные полеты происходят над **районом полета** – участок земной поверхности, над которым производятся полеты по подготовке навигационных задач.

Современные **авиационные тренажеры** представляют собой специализированные обучающие системы, предназначенные для отработки навыков пилотирования летательного аппарата в штатных и нештатных ситуациях. Профессиональная подготовка летного состава в таких системах направлена на формирование ключевых компонентов когнитивной модели летчика: чтение специализированной литературы, предполетная подготовка, полет на летательном аппарате и авиационном тренажере.

Соединение различных элементов в единое целое (систему), которое осуществляется в процессе познания и в практической деятельности называется **синтез**.

Основным программным техническим средством, синтезирующий на экране изображения *2D*-проекции *3D*-объектов является **программно-аппаратный генератор изображения**, который должен за цикл времени 80 мс обработать и отобразить на экране необходимую информацию.

Решение задачи распределения ресурсов ПА ГИ в сегменте первого уровня является задачей исследования операций. Отличительной особенностью является распределение целого числа примитивов, соответственно, имеем дело с целочисленным программированием.

Следовательно, необходимо проанализировать метод описания, оценки и оптимизации информационных процессов, позволяющие распределять информационные ресурсы программно-аппаратного генератора изображения с учетом деления *3D*-модели района полета заданных в виде визуальных и управляющих примитивов

1.2 Теоретические основы разработки метода распределения информационных ресурсов с заданными целочисленными примитивами *3D*-модели районов полетов

Результаты исследований программно-аппаратных комплексов, которые создают для лётчика *3D*-модель окружающей обстановки в процессе полёта на авиационном тренажёре, показали, что основными элементами, на основе

которых формируется данная модель, являются элементы компьютерной графики — визуальные и управляющие примитивы. Из них набирается 3D- модель реперного объекта. Для выбора ПА ГИ рассматривались технические характеристики. Фирмы производителей в рекламных целях обозначали их производительность в 3D-огнях и 3D- полигонах (таблица 1.2).
Таблица 1.2 – Технические параметры ПА ГИ, предлагаемых разработчиками авиационных тренажеров

Марка генератора (фирма- производитель)	Количество граней- полигонов, обрабатываемых за кадр	Время обработки кадра, (мс)	Количество огней, обрабатываемых за кадр
«Горизонт» (НПП «Эра», СССР)	400	120	Огни реализованы в виде малых граней
«Аксай» (НПП «Эра», СССР)	1 000	120	4 000
«Альбатрос» (ОАО «ПКБМ», Россия)	4 000	80	16 000
«Сумерки» (НПП «Эра», СССР)	10	120	32 000
MaxWueTM (CAE, Канада)	16 000	80	12 000
CT5-A	18 000	80	12 000

(Ivan Sutherland, США)			
PoligonTM (CAE, Канада)	300 000	80	64 000

Авторы первых ПА ГИ, разработанные в ИАиЭ СО РАН, сформировали требования к примитивам, описывающие 3D-модель района полётов S_0 , которая делится на M сегментов первого уровня $S_m^{(1)}$.

$$S = \bigcup_{m=1}^M S_m^{(1)} \quad (1.1)$$

На первом этапе синтеза 2D-проекций 3D-моделей отбираются активные сегменты первого уровня «по направлению» $S_m^{(1,a)}$ или активные сегменты «по дальности» $S_m^{(2,a)}$.

Если m -ый сегмент первого уровня, заключённый в управляющий примитив «охватывающая сфера $(D_m^{(S_1)})$ » пересекается со следом пирамиды видимости $S^{(v)}$ он становится активным (ему будет присвоен индекс “1”) и заключённая внутри него информация будет обработана в i -ый цикл режима реального времени Δt_c :

$$I\left(S_m^{(1,a)}\right) = \begin{cases} 1, & \text{если } D_m^{(S_1)} \cap S^{(v)}(\Delta t_i) \neq \emptyset, \\ 0, & \text{если } D_m^{(S_1)} \cap S^{(v)}(\Delta t_i) = \emptyset. \end{cases} \quad (1.2)$$

где I – индикатор функции, принадлежащий сегментам первого уровня, 1 – признак активизации рассматриваемого сегмента $S_m^{(1,a)}$.

Если центр m -ого сегмента $S_m^{2,a}(x, y, z)$ первого уровня, заключённого в управляющий примитив «охватывающая сфера по дальности $(D_m^{(S_2)})$ » находится на заданной дистанции $\rho(S_m^{2,a}(x, y, z), G)$ от текущего положения G наблюдателя центру сегменту l_i он становится активным (ему будет присвоен индекс “2”):

$$I(S_m^{2,a}) = \begin{cases} 1, & \text{если } l_{\min} \leq \rho(S_m^{2,a}(x, y, z), G) \leq l_{\max}, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (1.3)$$

где 2 – признак активизации рассматриваемого сегмента $S_m^{(2,a)}$; $S_m^{2,a}(x, y, z)$ – координаты центра рассматриваемого сегмента; l_{\min} – дистанция активизации сегмента $S_m^{(2,a)}$ при попадании текущего значения расстояния от наблюдателя до центра рассматриваемого сегмента далее этой пороговой дистанции, но не далее l_{\max} , дистанции прекращения активизации $S_m^{(2,a)}$ при удалении от него.

Внешний вид модели района полетов синтезируется по алгоритмам компьютерной графики, извлекая необходимую информацию из структурированной базы данных. Из активных сегментов первого уровня извлекаются: 3D-полигоны (P_i), окрашенные монохромно или с помощью текстур, 3D-огни (F_j) и управляющие примитивы. Внешний вид 3D-моделей, размещённых на S зависит от количества визуальных примитивов:

$$S_0 = \{(P_i, F_j)\}, \quad i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J, \quad (1.4)$$

где I – максимальное количество полигонов, размещённых по всей площади модели района полетов S ; J – максимальное количество огней, размещённых по всей площади модели района полетов.

3D-полигоны (P_i) могут быть:

$$P_i = \left\{ P_i^{(3)}, P_i^{(4)}, \dots, P_i^{(n)} \right\}, \quad (1.5)$$

где $P_i^{(3)}, P_i^{(4)}, \dots, P_i^{(n)}$ – $3D$ -полигоны (трехвершинные, четырехвершинные, n -вершинные).

В процессе синтеза изображения участвуют также и невидимые управляющие примитивы D : разделяющая плоскость $\left(D^{(r)} \right)$, «охватывающая сфера по направлению $\left(D^{(S_1)} \right)$ »; «охватывающая сфера по дальности $\left(D^{(S_2)} \right)$ »:

$$D = \left\{ D^{(S_1)}; D^{(S_2)}; D^{(r)} \right\}. \quad (1.6)$$

Моделирование протяженных районов полетов до 1500×1500 км выходит за пределы вычислительных возможностей современных систем визуализации ПА ГИ, не обеспечивающих синтез даже схематичного изображения местности для модели ЛА. Физические ограничения атмосферной видимости 30 км возникла необходимость в делении $3D$ -модели района полётов на сегменты. Это необходимо для того, чтобы на начальном этапе компьютерного синтеза определить, какие сегменты будут активны, какие примитивы подлежат обработке, а какие сегменты останутся пассивными и не будут рассматриваться.

Разные фирмы пытались решить задачу по-разному [34]. Длительное время лидером среди авиационных тренажеров фирма «CAE» разрабатывала линейку ПА ГИ серии «MaxVueTM», где предлагали задачу активных сегментов решать аппаратно. Линейка отечественных ПА ГИ [35] разработки ИАиЭ предлагали эту задачу решать программно на уровне сценарного процессора. Во всех случаях неизвестно остается вид сегмента: квадрат или треугольник, размер стороны катета треугольника или размер стороны квадрата и сколько примитивов в первом сегменте, чтобы не превышать режим реального времени.

Проведённые исследования [36] показали, что необходимо отказаться от использования моделей полигонов и других ресурсов, применяемых в

сегментах первого уровня. В качестве базового критерия для распределения ресурсов ПА ГИ «Аксай» было принято максимальное время обработки примитивов, относящихся к одному сегменту первого уровня (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Время обработки примитивов, из которых набраны 3D-модели реперных объектов

Заданное время обработки, мс	Количество примитивов	Расчетное время, мс
120	1000	111
120	1005	112
120	1010	113
120	1016	115

Таким образом, применение методов оптимизации для сегментации района полётов формализует задачу распределения информационных ресурсов целочисленных примитивов 3D-модели как задачу целочисленного программирования.

1.3. Анализ методов оптимизации для распределения примитивов в сегменте первого уровня

Как показано в первой главе параграфа 1.2 методы компьютерной графики, позволяющие распределять ресурсы ПА ГИ, синтезирующие в режиме реального времени видимую часть 3D-модели района полетов, показало, что данная задача относится к подмножеству методов оптимизации, а именно к целочисленному программированию [37]. Проанализируем следующие математические методы:

1. Линейное программирование является одним из методов решений общих задач оптимизации, в которых учитывается максимальное число примитивов в сегменте при определенных ограничениях [38]. При решении задачи получаем оптимальные значения данных, при условии, что удовлетворяют поставленным задачам.

предпосылки для оптимального плана. Это дополнительное условие накладывается на исходное ограничение, исключая возможность дробных значений переменных.

В ходе разработки концептуальной модели выбор начальной экстремальной точки или определение допустимого базового решения выполняется на основании проанализированных исходных данных. Для работы алгоритма необходимо соблюдать правила:

- каждая следующая вершина обязана быть ближайшей с той, которая была предыдущей;
- обратные переходы не допускаются;
- возврат к исходной точке невозможен; это касается всех значений переменных в каждой конкретной вершине $n - m = 0$.

Таким образом, определение итерационной процедуры преобразований сегментов в первом уровне на заданном 3D-модели района полетов возможны различные варианты.

После определения порядка включения и исключения переменных выполняется общая процедура расчета для следующих операций, если известны эти параметры. Общий алгоритм вычислений включает в себя следующие шаги:

1. В первом столбце отображается значение целевой функции;
2. Выбирается первая строка, в которой базовой переменной должно быть присвоено нулевое значение;
3. Формируется симплекс-таблица, включающая новые нулевые и базисные переменные.

Этот процесс обеспечивает разрешение основных решений и действий, необходимых для дальнейших вычислений.

5. Метод ветвей и границ [41] считают разновидностью метода полного перебора. В этом подходе оптимальное решение достигается за счет поэтапного исключения неоптимальных сегментов.

Работа метода ограничена границами, задаваемыми целевыми функциями. На каждом шаге анализируется ветвь с текущим значением границы. Если её оценка перспективна (лучше известного решения), алгоритм углубляется в эту ветвь. Если нет — ветвь отсекается, что исключает огромное количество неперспективных вариантов из перебора.

Преимущество этого метода в том, что он позволяет найти наиболее подходящее решение. Самым большим недостатком этого метода является то, что решение требует длительного времени [43].

Проведённый анализ математических моделей, методов и алгоритмов для оптимального размещения позволил выявить ряд недостатков:

1. Широкое разнообразие моделей, применяемых для решения однотипных задач, затрудняет вычисление количества примитивов в сегменте первого уровня при создании 3D-модели района полётов.

2. Недостаток единых методов для решения задач оптимального деления района полета на сегменты. Модель района полетов описывается как совокупность вложенных сегментов. Геометрическая форма квадратного сегмента является единственным элементом авиационного тренажера, который позволяет моделировать полет модели летательного аппарата с помощью визуального наблюдения за реперными объектами. Для моделирования процессов деления 3D-модели района полетов использовалось линейное программирование.

В процессе решения задачи линейного программирования с полной реализацией стоит задача выявления максимальной линейной формы из множества неотрицательных переменных.

Результаты анализа подтверждают, что методы оптимизации—это основной способ решения задачи определения оптимальных визуальных и управляющих примитивов. При этом число визуальных примитивов должно быть максимально, а управляющих минимально, так визуальные примитивы синтезируют 3D-модели реперных объектов (3D-полигоны и модели огней), а управляющие примитивы (охватывающая сфера по дальности и по

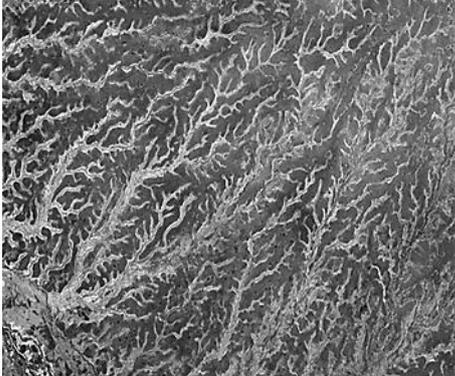
направлению) использующие для исключения на первом этапе часть модели района полета, которые не видны. При анализе математических методов, выбранный метод оптимизации требует наименьшего времени при большом числе ограничений.

1.4. Обзор методов предварительного распределения информационных ресурсов ПА ГИ

Как следует из анализа, приведённого в разделе 1.3 первой главы, использование методов оптимизации, позволяют рассмотреть методы и алгоритмы, применяемые для распределения информационных ресурсов ПА ГИ в сегменте первого уровня модели района полетов.

1.4.1. Метод адаптивной сегментации на основе теории фракталов

Метод [44] показывает деление пространственных данных на сегменты оптимального размера с учётом естественной неоднородности ландшафта. Ключевой идеей является использование фрактальной размерности как количественной меры сложности и структуры поверхности. В данном методе фрактальная размерность как индикатор сложности размерности, степень изрезанности рельефа, текстура поверхности (каменистая, лесистая, равнинная и т.п.) и масштаб. На рисунке (1.1 а,б) приведены изображения фрактальной сегментации.

	
<p>Рисунок 1.1,а) принцип сегментации изображения с использованием фрактальной размерности.</p>	<p>Рисунок 1.1,б) фрактальная сегментация ландшафта на космическом снимке</p>

1.4.2 Метод многоуровневой сегментации с динамическим перераспределением

Метод основан на принципе многоуровневого анализа для выделения смысловых областей на изображении [45]. Последовательное уточнение сегментов от общего к частному позволяет избежать излишней детализации, сохранить целостность объектов и учесть разнородность сцены. Ключевая особенность — динамическая адаптация: алгоритм оценивает качество разбиения и автоматически подстраивает параметры под специфику конкретного изображения.

1.4.3 Алгоритм семантической сегментации для навигационных задач

Семантическая сегментация [46] в навигационных задачах — это метод, который преобразует каждый пиксель изображения в метку конкретного объекта (дорога, здание, пешеход и т.д.). Это позволяет технике «видеть» и понимать окружающую среду в деталях (рисунок 1.2.). Цель метода — превратить необработанные данные с камер в структурированную карту, необходимую для точной локализации, планирования маршрута, обнаружения препятствий и принятия решений в режиме реального времени.

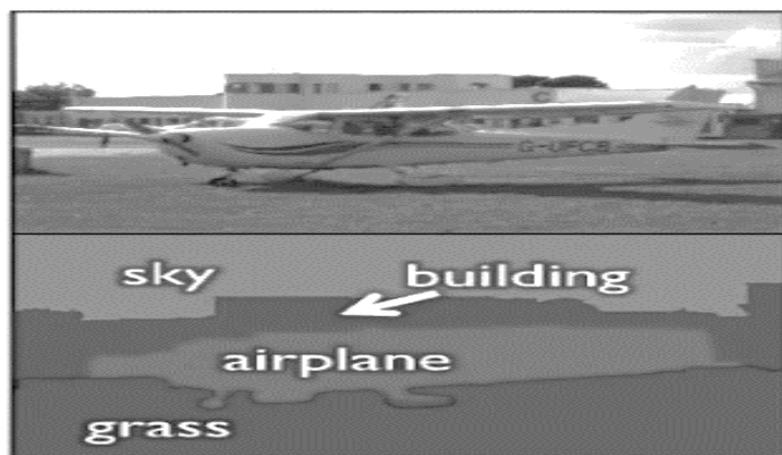


Рисунок 1. 2 - Семантическая сегментация [47]

1.4.4 Алгоритм иерархического кодирования масштаба для изображения

Это метод сжатия данных [48], при котором информация представляется в виде многоуровневой иерархической структуры. Его ключевое свойство — масштабируемость: данные можно декодировать с разным качеством или разрешением, используя лишь часть битового потока. Основная идея заключается в том, что изображение разбивается на масштабные слои. При декодировании, если достаточно данных верхнего уровня, вы получаете грубое, но узнаваемое изображение. Добавляя информацию следующих уровней, вы постепенно повышаете чёткость и детализацию. Такой подход позволяет гибко регулировать скорость передачи, обеспечивать быстрый предпросмотр видео и адаптивно передавать данные в сетях с переменной пропускной способностью.

1.4.5 Метод SIFT

Метод SIFT (Масштабно-инвариантная трансформация признаков) [49] основан на поиске ключевых точек объектов на изображении. На каждом изображении из набора осуществляется поиск особых точек. Сравниваются признаки и определяются точки с минимальным евклидовым расстоянием между вектором набора признаков. Выбираются те пары точек, которые наилучшим образом согласуются по инвариантным преобразованиям, таким как масштаб, поворот, сдвиг.

Для каждого из объектов на изображении можно извлечь ключевые точки, которые могут идентифицировать конкретный объект. Подобный набор признаков может быть использован для поиска объекта на другом изображении и определения его места на нем. Для точного распознавания необходимо, чтобы эти дескрипторы были обнаружены даже с различными искажениями, такими как изменение масштаба, ориентации, освещения и шума.

Таким образом, методы охватывают полный технологический цикл: от извлечения устойчивых признаков (SIFT) и структурного разделения

изображения на регионы (адаптивная, многоуровневая сегментация) до эффективного представления информации (иерархическое кодирование) и её конечной смысловой интерпретации (семантическая сегментация). Выбор конкретного метода или их комбинации определяется спецификой задачи: от незаменимого для сопоставления, до методов адаптивной сегментации и иерархического кодирования, эффективных для работы со сложными, зашумленными данными или в случаях, когда требуется контроль над процессом на разных уровнях детализации.

1.5. Применение оптико–программно-аппаратных комплексов в авиационных тренажёрах для распределения информационных ресурсов в 3D-модели районов полетов

Как показано в параграфе 1.4 выявлено, что при анализе методов предварительного распределения информационных ресурсов необходимо проанализировать оптико-программно-аппаратные комплексы, называемыми «Имитаторы визуальной обстановка» для авиационных тренажёров. Имитатор визуальной обстановки – это эргатические программно-аппаратные комплексы, позволяющие человеку видеть 3D-объект [50] и при этом профессионально тренировать свой глазомер (рисунок 1.1).



Рисунок 1.3 – Вид из кабины тренажёра: 3D-модель ВПП с реалистичной перспективой и возможностью визуальной оценки дистанции [51].

В состав авиационного тренажера входит как минимум три имитатора, которые синтезируют для лётчика изображение внешней среды для того,

чтобы он мог визуально определить место нахождения модели летательного аппарата в модели внешней среды.

Все три имитатора используют [52] – мультипроцессорную программно-аппаратную систему, назначение которой — синтезировать по правилам компьютерной графики [53] 2D-проекции 3D-объектов на экранной плоскости, называемой экраном формирования промежуточного изображения рисунок 1.2 [54].

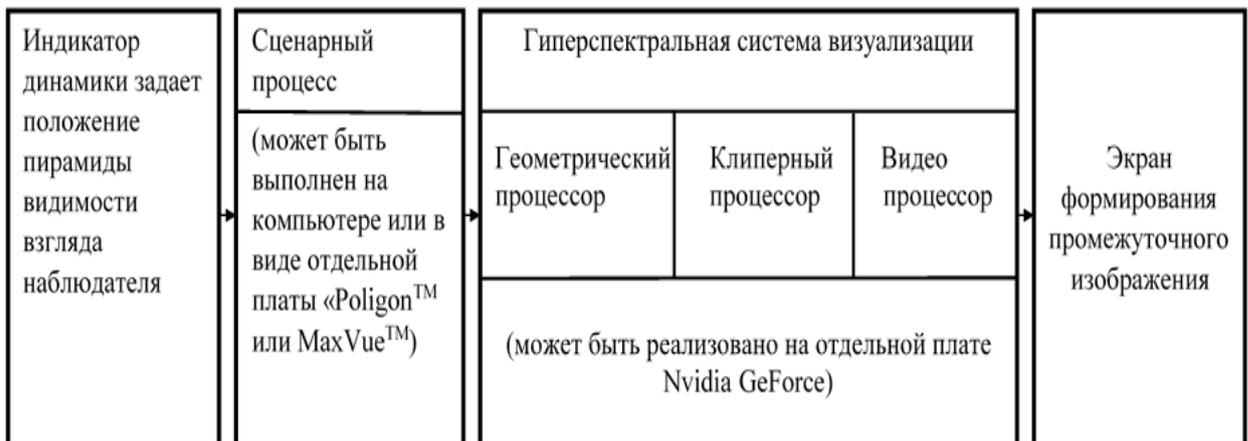


Рисунок 1.4 – Синтез гиперспектральной системы визуализации в графическом изображении

1. Сценарный процессор определяет, какую часть модели района полета необходимо обработать в текущий момент [55]. В качестве исходных данных используются структурированная база данных, а также координаты положения наблюдателя в модели местности, направление его взгляда и параметры пирамиды видимости [56].

2. Геометрический процессор — мультипроцессорная система, которая за счёт параллельной обработки поступающей информации строит 2D-проекции моделей 3D-объектов района полета, отобранных ранее сценарным процессором, на двухмерную плоскость экрана формирования промежуточного изображения [57].

3. Клиппирующий процессор — мультипроцессорная система, которая за счёт параллельной обработки информации, поступившей от сценарного и геометрического процессоров, отсекает невидимые части граней,

которые выходят за след пирамиды видимости, формируя математическую модель изображения, которое будет высвечено на плоскости экрана формирования промежуточного изображения [58].

4. Видеопроцессор выполняет математическую модель, преобразуя расчетные данные в видеосигналы стандартного формата для последующего вывода на дисплейные модули с формированием промежуточного изображения [59].

Управляющая программа синтеза изображения в реальном масштабе времени организует работу сценарного, геометрического, клиппирующего и видеопроцессора. Разрабатывается она параллельно с технической частью программно-аппаратного генератора изображения и определяет его производительность и возможности синтеза изображения. Как правило, разработчики программно-аппаратного генератора изображения несмотря на то, что алгоритмы компьютерной графики известны [54,28], не раскрывают особенности её работы. Исследования показывают, что единственным узлом рассматриваемой мультипроцессорной программно-аппаратной системы, работой которого можно управлять разработчику имитатора визуальной обстановки, является сценарный процессор. А именно за счёт применения методов обработки информации, заносимой в базы данных ПА ГИ, увеличивают число обрабатываемых 3D-моделей реперных объектов [60], но не игнорируя, как будет проводиться обработка информации в геометрическом и в клиппирующем процессорах.

Развитие ПА ГИ связано с развитием микроэлектроники [61,62] Новая элементная база позволяет уменьшить габариты всего программно-аппаратного генератора изображения одновременно конструируя новые технологические цепочки, реализующие старые и новые алгоритмы компьютерной графики. Это позволяет как использовать хорошо известные алгоритмы синтеза 2D-проекций 3D-моделей, так и принципиально новые решения (в частности возможности использования дополнительных источников освещения, 3D-текстур, подвижных текстур и т.д.). Это, в свою

очередь позволяет разрабатывать новые технологические процессы создания баз данных для ПА ГИ, оптимизирующих некоторые процессы переработки информации, в частности новые решения задач закрытия дальних *3D*-моделей ближними *3D*-моделями при подвижном наблюдателе, что связано с разработкой новых структур баз данных и конструкций *3D*-моделей реперных объектов.

Каждый программно-аппаратный генератор изображения оценивается по числу *3D*-полигонов (а также других примитивов – моделей огней и управляющих примитивов типа «разделяющие плоскости» и «охватывающие сферы»).

Так ПА ГИ “Аксай” имитатора визуальной обстановки для серийно выпускавшегося в СССР авиационного тренажёра обучения лётчиков посадке на укороченную полосу авиационного крейсера имел производительность 1000 *3D*-полигонов или 4000 моделей огней. Он состоял из четырёх мини ЭВМ. Две из них типа «Электроника79» – для выполнения уникальных операций компьютерного синтеза изображения. Первая мини-ЭВМ выполняла процесс, названный “сценарным” из следующих действий:

- выбор тех *3D*-моделей, которые попали в пирамиду видимости;
- решение задачи правильного закрытия дальней *3D*-модели ближней *3D*-моделью при заданном положении подвижном наблюдателе;
- решение задачи окрашивания *3D*-полигонов текстурами.

Вторая мини-ЭВМ (и четвёртая согласно технологическому процессу переработки информации) анализировала информацию о цветовой палитре трехмерных полигонов, попавших в область видимости, создавая *RGB* значения для каждого пикселя на экране.

Две мини-ЭВМ типа «Электроника МТ» были задействованы для выполнения параллельных вычислений:

- Для создания реалистичной *3D*-модели выполнялись *2D*-проекции трёхмерных объектов на экран, попадающих в зону пирамиды видимости;

- на третьем этапе «обрезание» частей $2D$ -проекций, которые не полностью попали в пирамиду видимости.

Следующее поколение программно-аппаратных генераторов изображения «Альбатрос» (рисунок 1.3) имело производительность 16000 примитивов (визуальные примитивы $3D$ -полигоны и модели огней, и управляющие примитивы разделяющие плоскости и охватывающие сферы). По производительности «Альбатрос» был аналогичен ПА ГИ «MaxWueTM» устанавливающегося в ИВО канадской фирмы CAE, являвшейся в то время мировым лидером авиационного и космического тренажёростроения.

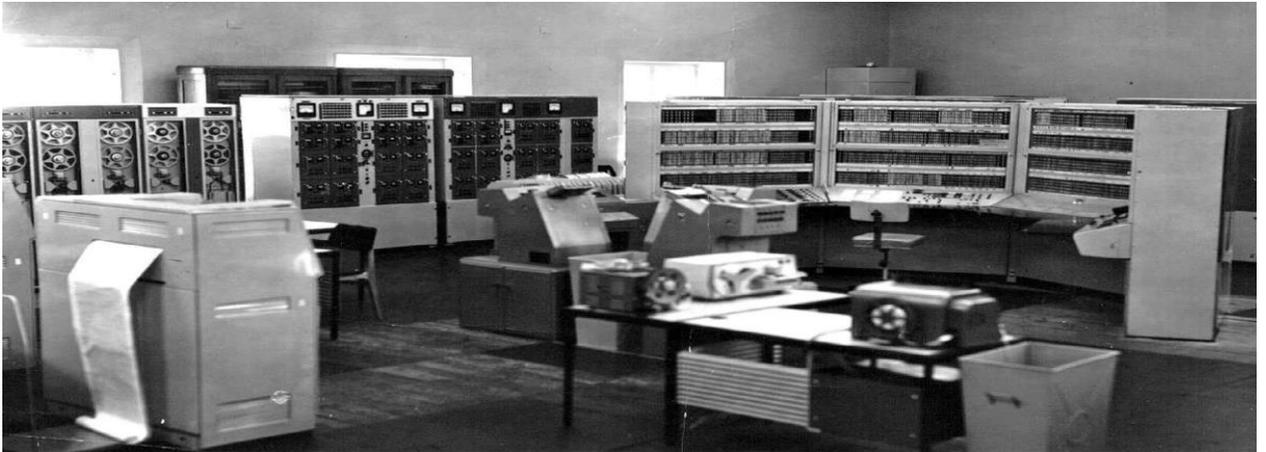


Рисунок 1.5 – Внешний вид одной из четырёх мини-ЭВМ входящих в состав ПА ГИ «Альбатрос» [63]

Как показали результаты исследования все ПА ГИ в настоящее время реализуют алгоритмы компьютерной графики. Итоговое качество $2D$ - проекции $3D$ -моделей можно описать множеством $\{F_1, F_2, F_3\}$,

где F_1 – алгоритмы для компьютерного синтеза в реальном времени $2D$ - проекции $3D$ -объектов, которые на текущий момент оказываются внутри пирамиды видимости.

F_2 – конструкция $3D$ -моделей, описанная с помощью визуальных примитивов (моделей огней и окрашенных $3D$ -полигонов);

F_3 – технические характеристики экрана, на который проецируется $2D$ - проекции $3D$ -моделей.

Существенным фактором выступает уменьшение размеров программно-аппаратных генераторов изображений. Если «Аксай» занимал площадь большой комнаты, «Альбатрос» и «*MaxWueTM*» – одну большую стойку, то фирма *NVIDIA* – лидер в настоящее время по созданию программно-аппаратных систем компьютерной графики [64] размещает все необходимые на одной видеокарте типа *INNO3D GeForce GT 710 Silent LP [N710-1SDV-D3BX]* (при этом используют СБИС высокой степени интеграции). Такая видеокарта позволяет модернизировать современный персональный компьютер обеспечив производительность до 2500000 $3D$ -полигонов за один цикл режима реального времени. Такие видеокарты позволяют разрабатывать $3D$ -модели, используя разное программное обеспечение.

Рассматривая F_1 заметим, что его решаемые задачи компьютерной графики можно описать зависимостью $F_1 = (c_1, c_2, c_3)$,

где c_1 – программа, обеспечивающая работы сценарного процессора, описывается $c_1 = (k_1, k_2)$, где k_1 – система программного выбора для фильтрации из общего множества $3D$ -моделей реперных объектов лишь тех, которые видны в данный момент, k_2 – набор программных средств для корректного завершения ближней $3D$ -модели реперного объекта на основе удалённых $3D$ -моделей объектов при условии перемещения наблюдателя;

c_2 – комплекс программ синтеза $2D$ -проекций $3D$ -моделей на экранную плоскость;

c_3 – комплекс программ синтеза сигналов в виде *RGB* для каждого пикселя экрана, подключённого к программно-аппаратному генератору изображения.

Комплекс программ k_1 должен обеспечить минимально необходимую плотность 3D-моделей реперных объектов на единицу площади 3D-модели района полётов.

В настоящее время при моделировании 3D-модели района полетов, прилегающего к аэродрому, возможности управлять процессом синтеза изображения через сценарный процессор не используются. Это объясняется значительным объёмом работы, которую надо выполнить. Создаваемая модель района должна обладать размерами более 400×400 км, обеспечивать реалистичное визуальное окружение для АТ и позволять определять местоположение летательного аппарата по визуально наблюдаемым реперным объектам, что было необходимо для отработки навыков навигации в модели внешней среды [62,65].

Обучение навигационным задачам с ориентацией по визуально наблюдаемым реперным объектам требуют решений, позволяющих по всей 3D-модели района разместить достаточное число реперных объектов, обеспечивающих визуальную ориентацию по моделям реперных объектов в любой точке 3D-модели района полета.

Таким образом, эволюция оптико-программно-аппаратных систем движется в направлении миниатюризации аппаратной составляющей, одновременно с этим увеличивая производительность задействованных процессоров. Это открывает новые горизонты для создания технологий виртуальной реальности, которые способны объединить в одной информационной среде все существующие форматы данных, включая вербальные, иконографические, идеографические, фонографические и другие.

Такой подход не только позволяет моделировать на компьютере разнообразные процессы и объекты из реального мира, но и создает объемное познавательное пространство, имитирующее чувства и восприятие окружающей реальности. При этом пользователь получает активную роль, поскольку он вовлечен в «события», предлагаемые информационной

системой, что усиливает эффект присутствия и взаимодействия в созданной среде.

1.5 Выводы по главе1

1. Исследования показали, что синтез *3D*-моделей реперных объектов в режиме реального времени с качеством, позволяющим тренировать глазомер летчика во время полета на АТ, осуществляет эргатическая оптико-программная аппаратная система, названная ИВО и формирующая у летчика составляющие его когнитивные модели, позволяющие ему ориентироваться во внешней среде. ИВО обрабатывает информационные ресурсы, описывающие *3D*-конструкцию районов полетов взятые из *3D*-моделей реперных объектов.

2. В результате синтеза на экране ИВО отражается *2D*-проекции *3D*-моделей реперных объектов. Каждая *3D*-модель реперного объекта определяется в определенной системе координат с применением следующих примитивов: *3D*-полигон (окрашено монохромно или текстурировано), *3D*-модель огня, *3D*-разделяющая плоскость.

4. Разработчики ИВО в настоящее время сталкиваются с требованиями Заказчика по обеспечению полетов на АТ над *3D*-моделью района полетов размером от 400×400 до 1500×1500 км.

4. Исследование эргатических оптико-аппаратных систем, обладающих возможностью синтезирования *3D*-моделей в режиме реального времени для авиационных тренажеров, позволило выявить два ключевых компонента в их архитектуре. Оба этих компонента имеют критическое значение для создания условий, максимально приближающих тренировочный процесс к реальному полету, а также для совершенствования навыков пилотирования. Эти важные аспекты способствуют повышению эффективности тренировки глазомера авиационного специалиста и включают:

–*3D*-индикатор представляет собой устройство, которое использует специальные алгоритмы для синтеза видеопотока из *2D*-проекций *3D*-модели. Эти проекции высвечиваются на плоском экране, а индикатор активирует

определенные зрительные механизмы, что позволяет человеку воспринимать изображение как объемное;

– ПА ГИ синтезирующий каждый цикл режима реального времени на экране, специально сгенерированный по требованиям выбранного индикатора видео ряд из $2D$ -проекции $3D$ -модели.

5. Анализ $3D$ -индикаторов показал, что это является наиболее консервативной частью ИВО и задается Заказчиком исходя из дальности видимости до минимально расположенного $3D$ -объекта и углов обзора виртуального пространства.

6. Анализ показал ПА ГИ, который ранее собирался из множества процессоров в настоящее время может быть реализован на персональном компьютере с специальной видео карты типа “*GeForce*” однако методы компьютерной графики реального времени изменились незначительно. Считается, что берется два последовательных процесса синтеза $2D$ -проекции $3D$ -модели:

1). Подготовка исходного файла на обработку с учетом текущего положения наблюдателя, направлению его взгляда и фиксированных углов пирамиды видимости;

2). Для усовершенствования модели синтезируется на экране подключенный к ПА ГИ $2D$ -проекции $3D$ -моделей, включающий процесс синтеза $2D$ -проекции $3D$ -модели, исходя из ракурса их наблюдения.

7. Анализ математических методов, позволяющих решить задачу распределение ресурсов ПА ГИ по всей площади, выявил, что это задачи принадлежат к классу задач решаемых с помощью методов исследований операций с уточнением, что это методы целочисленного программирования.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЗАДАНЫМИ ПРИМИТИВАМИ ПО ВСЕЙ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНА ПОЛЕТОВ ЛЮБОГО РАЗМЕРА

2.1. Основные понятия и определения

В первой главе было показано, что для реализации метода распределения ресурсов по 3D-модели района полетов необходимо ввести определенные понятия, как **ресурс программно-аппаратного генератора изображения** – число примитивов, которые он может обработать за заданный цикл режима реального времени.

Под **пирамидой видимости** понимается геометрическая фигура в виде пирамиды без основания, задающаяся вершиной и телесными углами по вертикали и горизонтали.

След пирамиды видимости – подстилающая поверхность в 3D-модели района, на котором отображается информация.

Реперный объект – объекты местности, которые характеризуются известными географическими координатами и используются для определения местоположения различных объектов.

3D-модель реперного объекта – 3D-модель объектов, которые находятся в модели района полетов.

Примитив 3D-полигон – абсолютно плоская выпуклая фигура, окрашенная монохромно или монохромно с интерполяцией, или текстурой.

Примитив 3D-модель огня – точечный примитив с характерным ярким свечением с заданным значением *RGB*, направлением видимости и длительностью свечения.

Примитив 3D-управляющий примитив типа «охватывающая сфера по дальности» условный оператор, который включает сегменты при условии, что их центральная точка находится на установленном расстоянии наблюдения.

Примитив 3D- управляющий примитив типа «охватывающая сфера по направлению» условный оператор, активизирующий сегменты попавшие в след пирамиды видимости.

Примитив 3D-разделяющая плоскость – невидимая плоскость, расставленная между группами 3D-примитивов, обрабатывая их в порядке записи при переносе ее порядок вызов меняется на противоположный.

Максимальный цикл режима реального времени (при увеличении непрерывное движение подвижного объекта заменяется скачкообразным перемещением по экрану) 80-120 мс.

Время обработки примитива – экспериментально определенное время обработки в программно-техническом генераторе изображения (для каждого типа ПА ГИ с заданным программным обеспечением — это разное время)

Максимальная дальность видимости реперных объектов – экспериментально определённая дальность видимости при полётах над районом полетов в авиационной тренажерной системе составляет:

- 30 км – стандартные условия для центрального региона РФ;
- 60 км – условия северных территорий Канады;
- 100 км – линейные объекты типа автомагистралей шириной ≥ 50 м;

Сегмент первого уровня математическая выпуклая фигура, наложенная на абсолютно ровную подстилающую поверхность. На практике используются сегменты в виде квадратов или прямоугольных треугольников.

Как показано в первой главе в процессе синтеза изображения сценарный процессор оптимизирует вычисления, он «отсекает» часть 3D-модели района полетов, которая в данный момент не видна. Начальная стадия проверки предполагает исследование каждого сегмента первого уровня. Основная задача заключается в выяснении, попадает ли его площадь в область видимости, ограниченную пирамидой видимости. При этом учитывается лишь расстояние, не превышающее 30 км от движущегося наблюдателя.

Для этого необходимо всю 3D-модель района полетов (S_0) разбить на сегменты первого уровня рисунок 2.1.

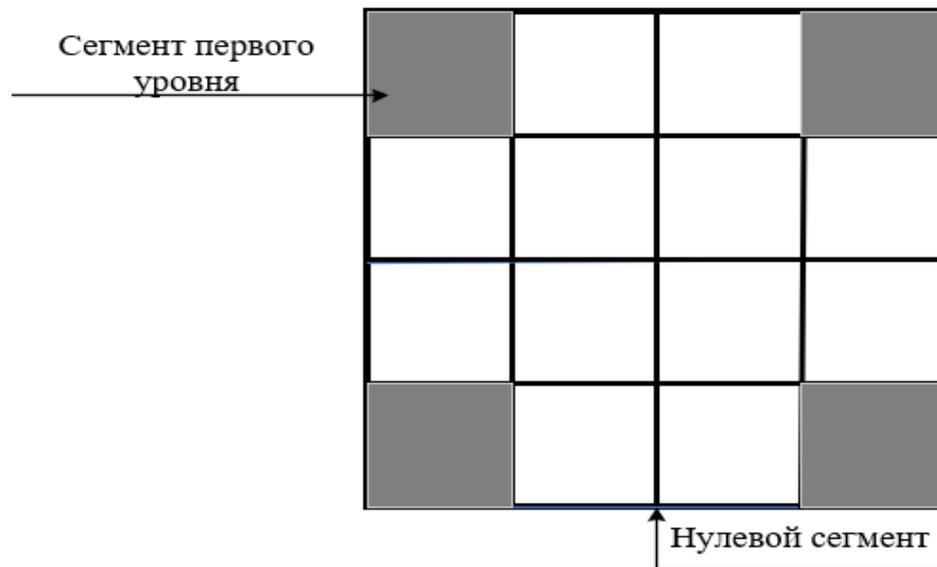


Рисунок 2.1 – Деление 3D-района полетов на сегменты

Оптимизация процесса генерации изображений является важным шагом для повышения эффективности обработки информации. На начальном этапе производится отбор сегментов, включающих примитивы для трехмерных моделей реперных объектов, которые могут быть видимы в данный момент времени.

Это позволяет ускорить процесс синтеза и сократить количество обрабатываемых данных. В связи с этим возникает задача определения оптимального размера сегментов первого уровня, которые задаются в виде одинаковых квадратов. До недавнего времени, при обучении летчиков на авиационном тренажере в особых условиях полетов, визуальный имитатор создавал только трехмерную модель ВПП с разметкой. Это позволяло летчикам тренироваться в освоении профессиональных навыков управления информационной моделью ЛА в особых условиях полета.

Современные ПА ГИ с увеличенной производительностью расширяют возможности обучения летчиков, обеспечивая отработку навигации по визуальным ориентирам. Это реализуется за счёт 3D-моделей реперных объектов, расположенных в поворотных пунктах маршрута

В этом контексте невозможно использовать ранее разработанные методы создания 3D-моделей района полетов, которые сосредоточены на расходовании всех ресурсов ПА ГИ для синтеза модели ВПП и окружающей местности. Необходимо разработать метод распределения всех ресурсов ПА ГИ по всей 3D-модели района полётов. В основе лежит комбинация методов компьютерной графики и математический аппарат, позволяющая эффективно отображать сложные 3D-модели в реальном времени.

Результаты исследований показали [66], в настоящее время Заказчик ставит задачу перед разработчиками авиационных тренажёров моделировать 3D-модель район полетов от 400×400 до 1500×1500 км [4]. В то же время ПА ГИ имеет производительность от 1000 до 300000 примитивов (управляющих задающих структура база данных ПА ГИ (охватывающие сферы и разделяющие плоскости) и визуальных примитивов (3D-полигоны, огни и звёзды) [67]. Равномерное распределение примитивов по всей модели района полетов означает, что на площади в 1×1 км² будет находиться недостаточное количество примитивов для синтеза хотя бы одного 3D- полигона. Следовательно, необходимо задать время обработки ресурсов в сегменте первого уровня (рисунок 2.2).

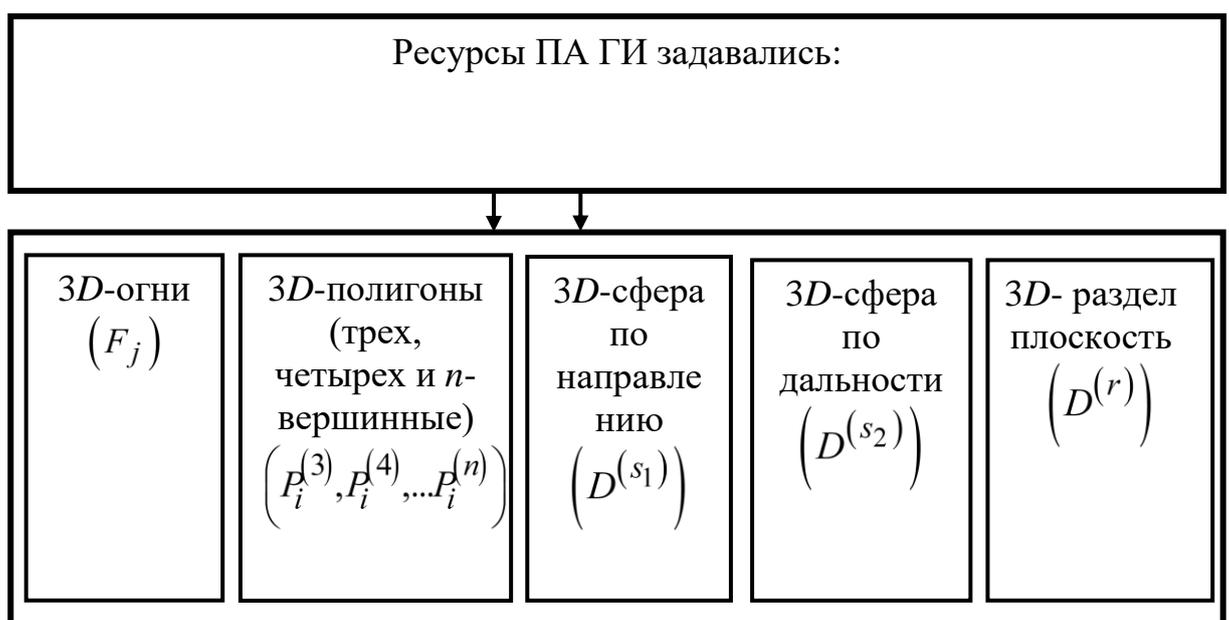


Рисунок 2.2 – Информационные ресурсы в сегменте первого уровня

На рисунке 2.3. и 2.4 показан алгоритм определения количество видимых и управляющих трехвершинных(G_3) 3D-примитивов в зависимости от производительности ПА ГИ

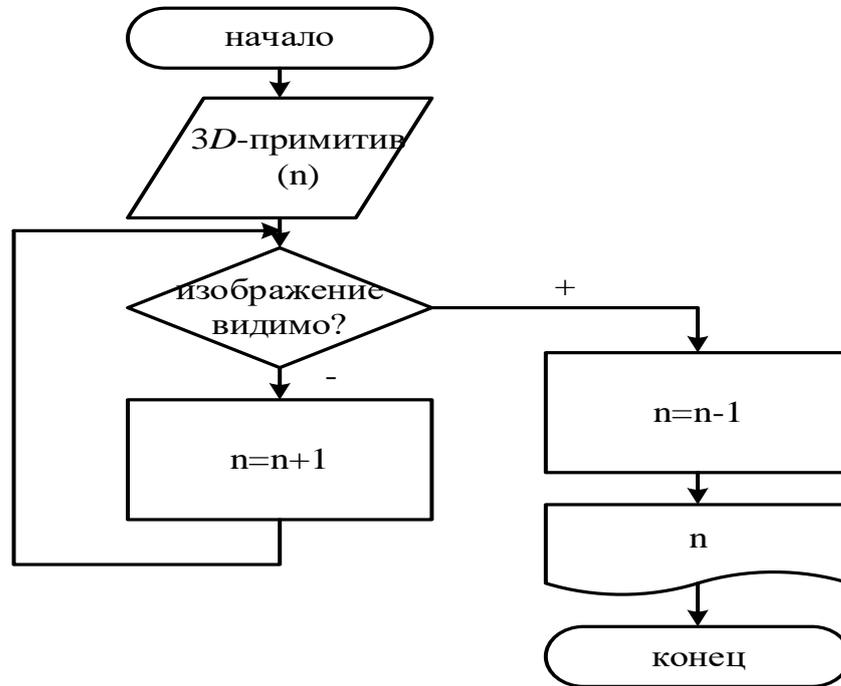


Рисунок 2.3 – Определение количества визуальных примитивов в режиме реального времени

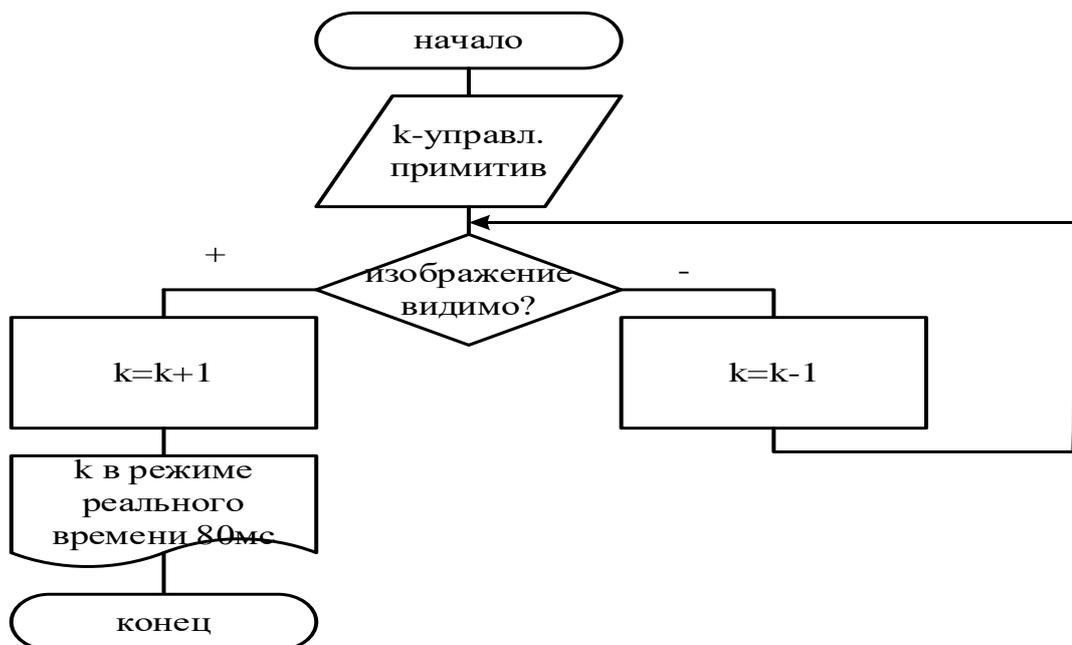


Рисунок 2.4 – Определение количества управляющих примитивов в режиме реального времени

На рисунке 2.5 показан алгоритм определение количество видимых примитивов в сегменте первого района при пересечении площади сегмента S_j со следом пирамиды видимости $S^{(v)}$. На рисунке 2.6 показан алгоритм запоминания процесса нахождения примитивов, которые попали в след пирамиды видимости.

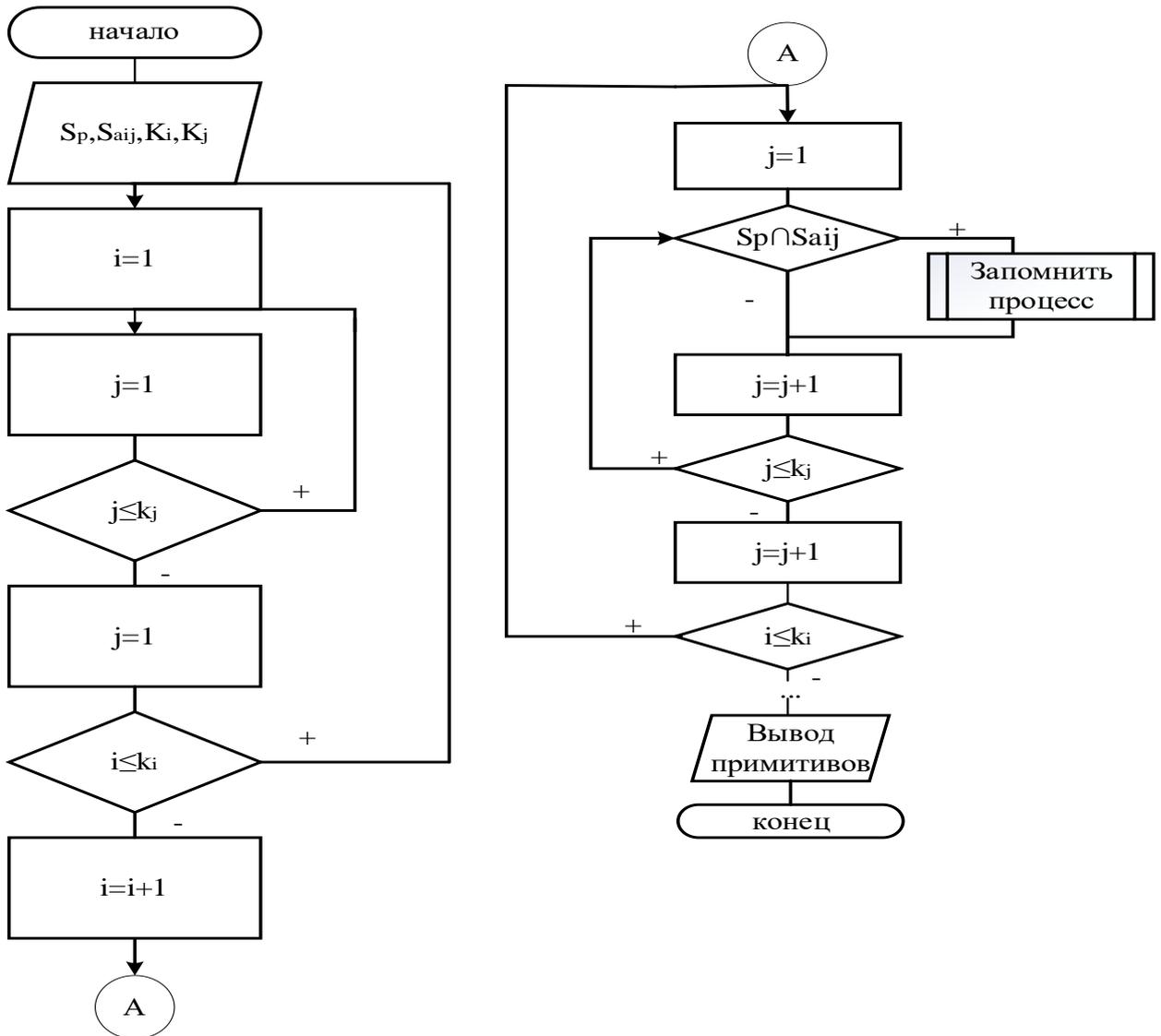


Рисунок 2.5 – Определение примитивов при пересечении сегментов первого уровня со следом пирамиды видимости

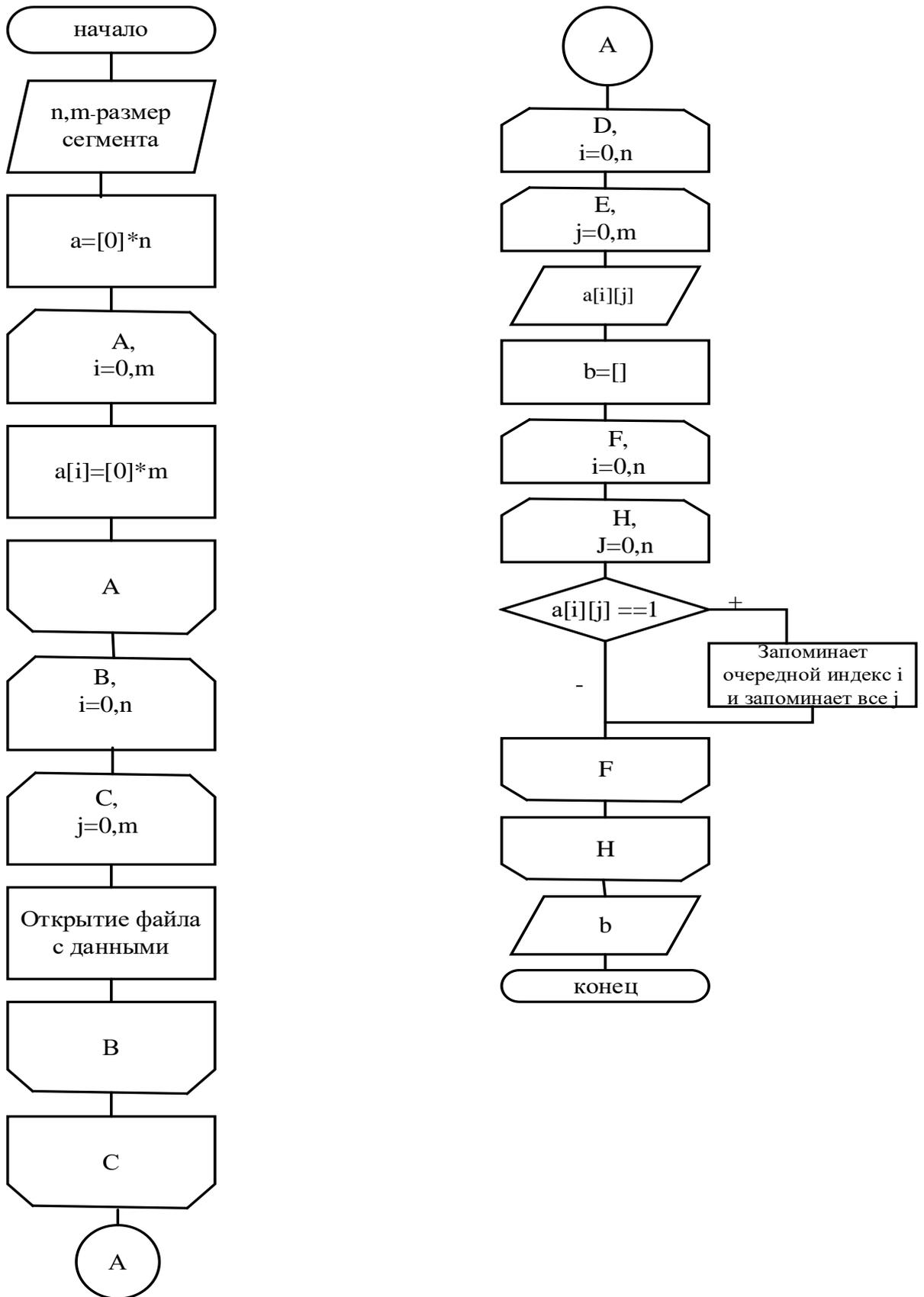


Рисунок 2.6 – Алгоритм запоминания процесса нахождения примитивов при попадании в след пирамиды видимости

Исследования показали, что ПА ГИ «Аксай» производительностью 1000 полигонов необходимо 116 примитивов для получения точного расчетного время для обработки примитивов попавшие в след пирамиды видимости. Полученные результаты расчетного времени для ПА ГИ «MaxVuev» 64000 полигонов приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Время для определения примитивов в зависимости от производительности ПА ГИ

Заданное время обработки, мс	Количество примитивов	Расчетное время, мс
120	64000	111
120	64005	114
120	64010	116
120	64015	118

Анализ литературы показал [45], что время обработки трехвершинных 3D-полигонов почти равен времени разделяющей плоскости и почти совпадает с управляющими примитивами по «дальности» и по «направлению».

В процессе синтеза изображения в режиме реального времени важно определить общее время обработки примитивов в процессе синтеза изображения. Время, затраченное на синтез изображения в сегменте первого уровня:

$$t_{ob} = t_1^{(c)} + t_{a'ij} + t_3^{(v)}, \quad (2.1)$$

где $t_1^{(c)}$ – время работы сценарного процессора;

$t_{a'ij}$ – время работы геометрического и клиппирующего процессора, мс;

$t_3^{(v)}$ – время видеопроцессора, которое постоянное, мс.

Время геометрического и клиппирующего процессора $t_{a'ij}$ определяется как время параллельной обработки примитивов в активных сегментах:

$$t_{a'_{ij}} = \sum_{z=1}^{Z(a_{ij})} t_z^{(y)} + \sum_{o=1}^{O(a_{ij})} t_o^{(v)} \quad (2.2)$$

где $t_z^{(y)}$ – время управляющих примитивов в сегменте первого уровня, мс;

$t_o^{(v)}$ – время визуальных примитивов в сегменте первого уровня, мс;

$Z(a_{ij}), O(a_{ij})$ – примитивы в активных сегментах a_{ij} .

Время обработки визуальных t_v и управляющих t_y примитивов, из которых набираются 3D-модели реперных объектов одинаковое, (t_4 – время обработки сегмента, мс; t_5 – время обработки огня, мс; t_6 – время обработки разделяющей плоскости, мс: $t_4 = t_5 = t_6$).

Время сценарного процессора $t_1^{(c)}$ определяется:

$$t_1^{(c)} = t_{ocp} \cdot (K_i + K_j) \quad (2.3)$$

где t_{ocp} – время охватывающей сферы, мс;

K_i, K_j – число активных примитивов в a'_{ij} .

Время охватывающей сферы зависит от 3D-полигонов (трехвершинные, четырехвершинные, пятивершинные). Время, необходимое для обработки трехвершинного полигона в экспериментальных условиях, определяется следующим образом: выбирается один трехвершинный полигон, на который накладывается другой трехвершинный полигон, после чего устанавливается, виден ли он. Для оценки видимости трехвершинных 3D-полигонов и с большим числом вершин время t_{vn} определяется как:

$$t_{vn}^{(3)} = \text{const}_{(3v)}; \quad (2.4)$$

$$t_{vn}^{(4)} = \text{const}_{(3v)} + \Delta t; \quad (2.5)$$

$$t_{vn}^{(5)} = \text{const}_{(3v)} + 2\Delta t, \quad (2.6)$$

где $\text{const}_{(3v)}$ – время обработки трехвершинного полигона, мс;

Δt – время обработки каждой дополнительной вершины полигона, мс.

Учтём, что Заказчик задаёт размеры района полётов больших размеров. Для обеспечения реалистичной визуализации реперных объектов в режиме реального времени необходимо иметь достаточную производительность ПА ГИ. Практика показала, что для деления площади 400×400 км на участки размером 1×1 км, необходимы 160000 примитивов, чтобы охватить одну сферу типа «обхватывающая сфера». При этом система ПА ГИ способна обрабатывать лишь 16000 примитивов в реальном времени, тогда все доступные ресурсы тратятся на проверку активности примитивов, попадающих в след пирамиды видимости. В результате не остается мощности для синтеза визуализации реперных объектов. Это свидетельствует о том, что при такой производительности системы ПА ГИ синтезировать визуальные реперные объекты в режиме реального времени невозможно.

На рисунке (2.7-2.9) приведены графики распределения числа примитивов в сегментах первого уровня, где размер стороны предполагаемого квадратного сегмента от 1 км и далее.

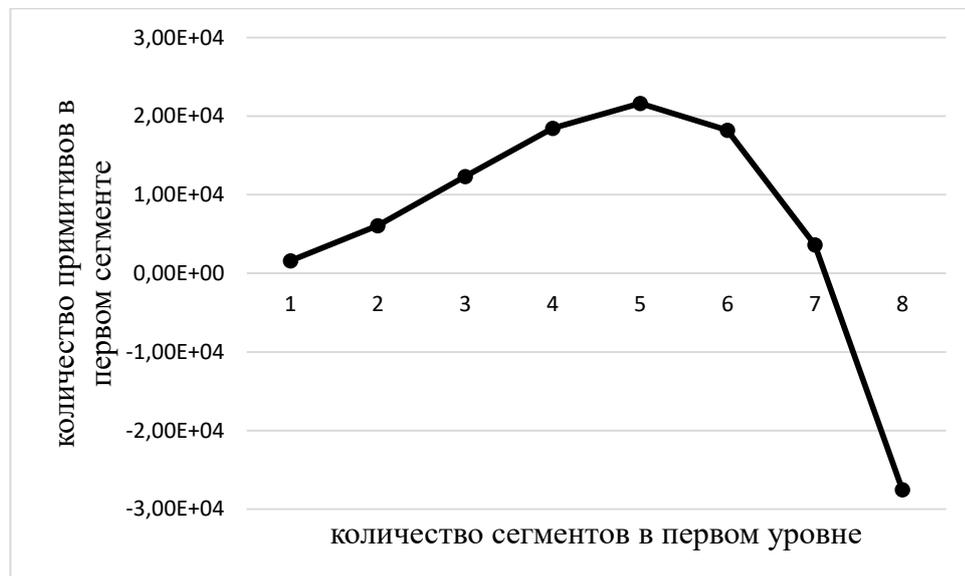


Рисунок 2.7 – Распределение количество примитивов в сегменте первого уровня при рассмотрении ПА ГИ «Альбатрос 16000»

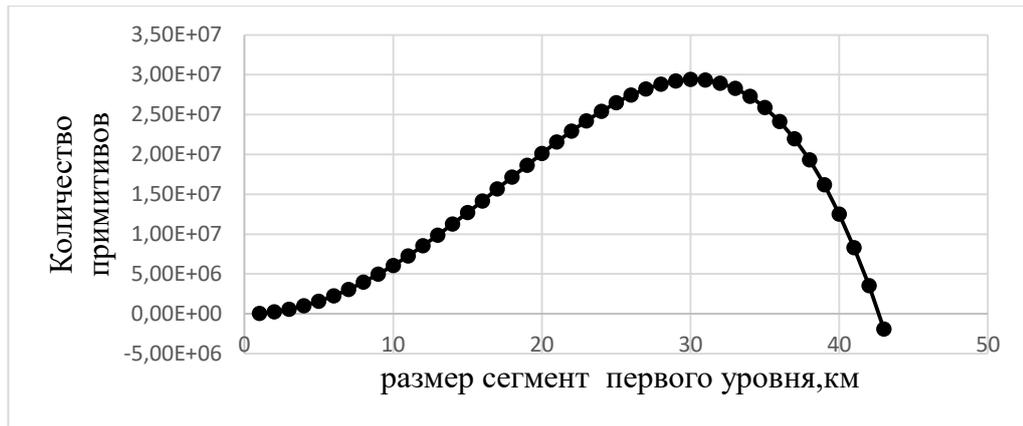


Рисунок 2.8 – Распределение количество примитивов в сегменте первого уровня при рассмотрении ПА ГИ «MaxVuev 64000»



Рисунок 2.9 – Распределение количество примитивов в сегменте первого уровня при рассмотрении ПА ГИ «Poligon™64000»

Как видно из графиков, изменение размера сегмента первого уровня от 1 до 50 км влияет на количество примитивов, которые могут быть использованы для конструирования 3D-моделей реперных объектов. Это связано с тем, что каждый сегмент содержит определенное количество примитивов.

Известно, что некоторые разработчики [31] авиационных тренажеров использовали симплекс метод для поиска оптимального размера квадрата сегмента первого уровня. Однако, симплекс метод предполагает использование и получения дробных переменных и результатов. В нашем случае невозможно использовать часть 3D-полигона или часть 3D-модели

огня. Для определения целочисленных моделей реперных объектов, рассмотрим отдельный раздел –метод оптимизации.

Алгоритмы Гомори и ветвей и границ являются известными способами решения задач целочисленного программирования. В данном контексте мы остановимся на алгоритме Гомори.

Анализ показал, что решение задачи распределения ресурсов является методом оптимизации, где отдельно разбираются методы для решения с целочисленными задачами, несмотря на то что на практике уже были применен симплекс-метод – не относящийся к целочисленному программированию, которые дают приблизительные результаты.

Таким образом, требуется разработать метод распределения информационных ресурсов программно-аппаратного генератора изображения в удобном формате для применения методов исследования операций.

2.2. Выбор метода оптимизации для распределение информационных ресурсов в сегменте первого уровня

В результате проведенного сравнительного анализа в первой главе в параграфе 1.3 показана необходимость синтеза метода оптимизации.

В прошлом использование авиационных тренажёров ограничивалось тренировками летчиков, которые отрабатывали на них навигационные навыки и учились управлять летательным аппаратом в особых условиях полёта. Современные авиационные тренажерные комплексы требуют оптимизации распределения информационных ресурсов при синтезе 3D-моделей реперных объектов. Критически важной задачей становится управление плотностью геометрических примитивов в сегментах первого уровня в 3D-модели района полетов. Для решения этой проблемы предлагается использовать методы целочисленного программирования, в частности алгоритм Гомори.

В настоящее время существует потребность в решении навигационных задач, связанных с визуальной ориентацией по трехмерной модели реперных объектов, находящихся в точке поворота маршрута, и стал вопрос о выборе

математического метода, позволяющая решить задачи распределение информационных ресурсов по всей модели [68]. Задача распределения информационных ресурсов является исследованием операций, где отдельно разбираются методы для решения с целочисленными задачами и задачи с нелинейными значениями аргументов.

В рамках исследования операций задача ставится следующим образом: найти максимальное число визуальных примитивов, которые могут быть размещены в сегменте первого уровня.

Пусть:

- D – множество сегментов $3D$ -модели района полетов.
- x_i – количество визуальных примитивов в i -м сегменте.
- W – целевая функция, которую необходимо максимизировать (общее количество примитивов в выбранных сегментах). Записывается целевая функция и система ограничений.

Метод отсекающих плоскостей относится к группе алгоритмов оптимизации, которые поэтапно улучшают область поиска решения, используя линейные неравенства, известные как отсечения [69]. Такие отсечения постепенно устраняют неперспективные зоны, приближая алгоритм к оптимальному решению. Этот метод широко применяется как для поиска целочисленных решений, так и для оптимизации выпуклых функций, которые не обязательно дифференцируемы.

Алгоритм Гомори основан на методе отсечения плоскостей и последовательно устраняет нецелочисленные решения из допустимого множества. Процесс решения задачи начинается с определения начального допустимого базисного решения и включает в себя следующие действия:

1. Задача решается без учета целочисленности (например, симплекс-методом). Если решение целочисленное, процесс завершается.

2. Если решение нецелочисленное, строится дополнительное линейное ограничение (отсечение), исключающее текущее нецелочисленное решение, но сохраняющее все целочисленные точки.

3. Процесс продолжается, пока не будет найдено целочисленное решение.

С геометрической точки зрения наблюдается интересная связь между ограничениями в n -мерном пространстве и гиперплоскостями. Каждое новое ограничение ассоциируется с определённой гиперплоскостью, которая отсекает часть многогранника решений, включая оптимальную нецелочисленную вершину.

Учитывая, что множество целых точек в усечённом многограннике совпадает с множеством целых точек в исходном многограннике, оптимальное решение, полученное для усечённого варианта, остаётся оптимальным и для исходной постановки задачи.

Так как множество целых точек в усечённом многограннике совпадает с множеством целых точек в первоначальном многограннике, оптимальное решение, полученное для усечённого варианта и соответствующее условию целочисленности, остаётся также оптимальным целочисленным решением для исходной задачи. Рассмотрим следующие условия для целочисленности:

Если $x^* \notin Z^n$, строим отсечение Гомори.

Условие отсечения Гомори:

$$\sum_{j \in N} (a_{rj} - [a_{rj}])x_j \geq (b_r - [b_r]), \quad (2.7)$$

где r – индекс строки с наибольшей дробной части.

a_{rj} и b_r – коэффициенты из симплекс-метода

Тогда для критерия визуальных примитивов, чтоб выполнялось условие целочисленности вектора X_d :

$$\{X_d\} = 0.$$

Оптимальное распределение 3D-моделей реперных объектов в модели района полетов:

$$\exists X(D) \in Z^n : W(X(D)) \geq W(X), \forall X \in D \quad (2.8)$$

Следовательно, неравенство (2.8) служит корректным отсечением Гомори, как это иллюстрируется на рисунке 2.10.

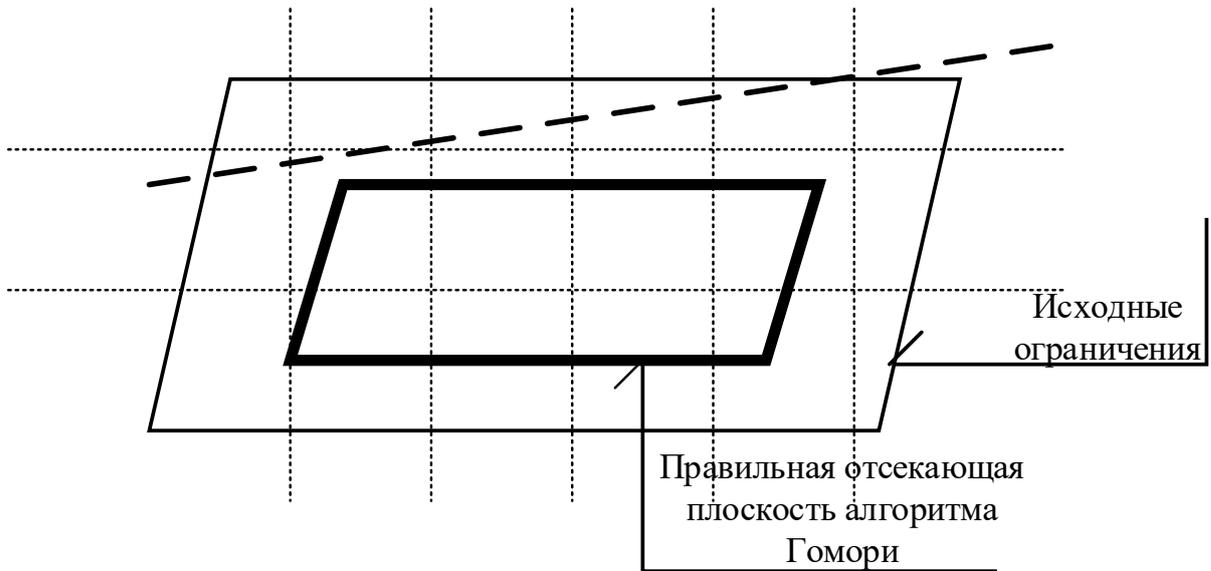


Рисунок 2.10 –Правильная отсекающая плоскость Гомори

Если оптимальное решение P_k, W не является допустимым для исходной задачи (2.6)–(2.7), оно не соответствует условиям отсечения.

Тогда выражение (2.8) примет вид:

$$c = -\tau_0 + \sum_{j \in N_k} \tau_j x_j = -\tau_0 + \sum_{j \in N_k} \tau_j \cdot 0 = -\tau_0 = -\{a_{i_0}^k\}. \quad (2.9)$$

Так как $0 < \{a_{i_0}^k\} < 1, c < 0$, то условие выполнено.

Алгоритм Гомори позволяет определить оптимальный размер сегмента первого уровня в 3D-модели района полетов, и обеспечить максимальное время на обработку всех примитивов в данном сегменте, включая 3D-полигоны, модели огней и другие геометрические объекты. Этот подход обеспечивает:

- Максимальную детализацию всех сегментов в 3D-модели района полетов;

- Минимальные вычислительные затраты за счет исключения избыточных данных.
- Автоматизированное принятие решений при распределении моделей реперных объектов.

2.3 Оптимизированное представление ресурсов ПА ГИ для методов оптимизации

Анализ, выполненный в первой главе параграф 1.3, продемонстрировал, что метод оптимизации представляет собой инструмент для распределения информационных ресурсов в сегментах первого уровня.

Выявлено, что недостатком метода является требование целых чисел: как основных, так и для дополнительных, выражающих величину неиспользованных ресурсов, которые могут быть и дробными. Положительной стороной метода является, что задача разрешима в целых числах, то после итераций оптимальная целочисленная задача будет решена.

При разработке 3D-моделей для АТ используются визуальные и управляющие примитивы [60]. Для реализации требуется: точное расположение всех элементов в соответствии с координатами в виртуальном пространстве, использование единых графических шаблонов для однотипных объектов с индивидуальными координатными параметрами, организация хранения данных в базе данных ПА ГИ с пространственной привязкой. В большинстве случаев авиационные тренажёры моделируют только территорию аэродрома, размеры которой ограничены 15×15 км (рисунки 2.11 и 2.12). Для достижения максимальной реалистичности в АТ моделируется территория площадью от 160 000 (400×400 км) до 2 250 000 км² (1500×1500 км), что подтверждено исследованиями [70]. Для упрощения дальнейшего анализа будем считать, что все рассматриваемые 3D-полигоны имеют три вершины. Это допущение не влияет на результаты исследований, так как на практике чаще всего применяются трёхвершинные 3D-полигоны [66].

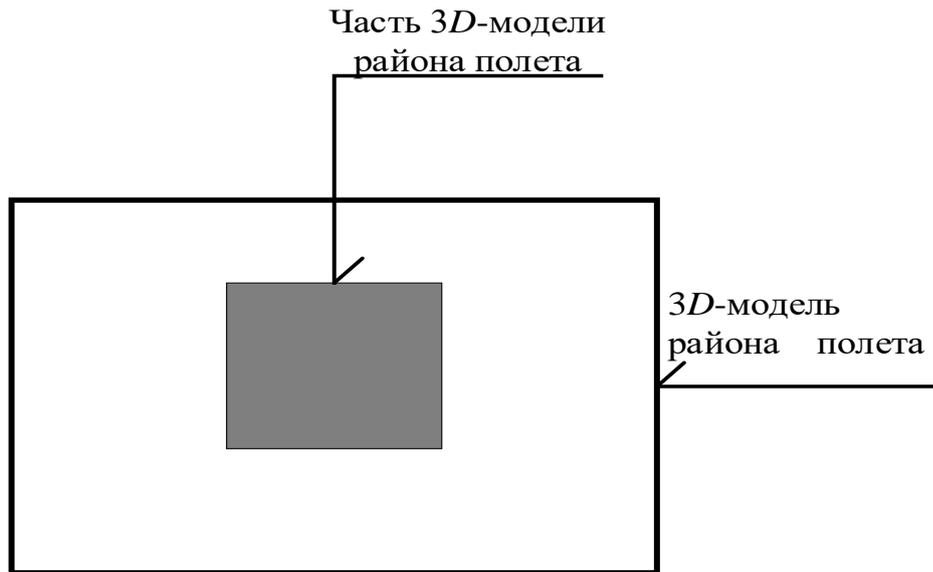


Рисунок 2.11 – Конструкция 3D-модели района полётов в центре модель участка 3D-модель аэродрома



Рисунок 2.12 – 3D-модель международного аэропорта Шереметьево в центральном сегменте 3D-модели района полета.

Представленный подход, изложенный в работах [71], является революционным методом визуализации 3D-моделей в режиме реального времени, который позволяет максимально эффективно использовать ресурсы программно-аппаратного генератора изображения. Основным элементом этого метода выступает принцип центральных 2D-проекций. Его суть заключается в том, что вместо создания полной 3D-модели, которая требует производительность генератора изображения, формируется серия двумерных изображений, представляющих собой проекции 3D-объектов на экран. Эти

проекции содержат всю необходимую информацию о геометрии и цвете объектов, находящихся в пирамиде видимости [71,72].

Нулевой сегмент S_0 , который представляет собой квадрат со стороной от 400 до 1500 км, представляет полное трехмерное представление района полета, включая модели Солнца, неба, боковых трехмерных многоугольников общего параллелепипеда и подстилающей поверхности. На первом уровне сегмент разделён на квадратные участки, где каждая сторона квадрата имеет длину «а», рисунок 2.13.

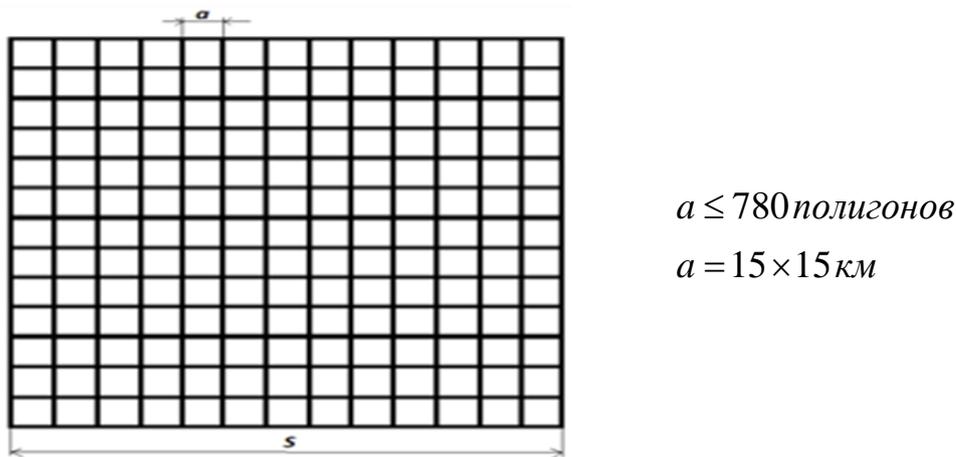


Рис.2.13 – Схема деления всей 3D-модели района полётов на сегменты первого уровня

Для предотвращения обработки 3D-моделей реперных объектов, находящихся в других сегментах, сегменты первого уровня должны быть расположены на определённом расстоянии друг от друга, включая 3D-модели реперных объектов. График 2.14 показывает возможность увеличение числа обрабатываемых примитивов, размещенные по всей информационной модели района полетов в зависимости от ее размера и вида сегмента первого уровня. Поскольку задача ограничена целыми числами примитивов, она рассматривается как задача целочисленного программирования. Основой для оценки возможностей ПА ГИ «Аксай» стала его производительность, составляющая 1000 примитивов или 4000 моделей огней, что и определило предмет исследования операций.

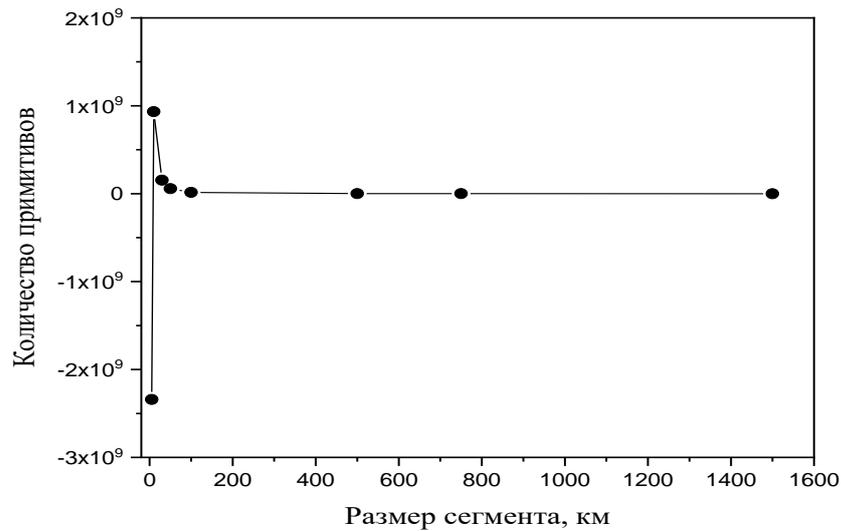


Рисунок 2.14– Распределение примитивов в сегменте первого уровня, разнесённых по площади 3D-модели района полётов

Количество доступных графических элементов для построения моделей реперных объектов прямо пропорционально числу сегментов, в которых возможно их размещение с использованием ПАГИ и базы данных. Математически это выражается формулой:

$$P_s = \left(P - \sum_{n=1}^N S_n^{(2)} \right) \cdot S_n, \quad (2.10)$$

где P_s – общее число примитивов, доступных для размещения в 3D-модели района полетов;

P – производительность выбранного программно-аппаратного генератора изображения;

N – число сегментов первого уровня;

$S_n^{(2)}$ – число сегментов второго уровня в сегменте первого уровня, по умолчанию берётся за «1»;

S_n – число сегментов, где размещены 3D-модели реперных объектов

Разработка трёхмерной модели района полётов для авиационного тренажёра требует оптимизации распределения ресурсов генератора

изображений. Это позволит создать детализированную модель местности, которая станет важным ориентиром для летчика.

Используемый в тренажере алгоритм отображения 3D-модели района полетов учитывает производительность ПАГИ и временные параметры обработки данных. Это обеспечивает максимально насыщенное и качественное изображение 3D-модели района полётов при полёте в любом направлении.

2.4 Отсечение сегментов, не попавшие в пирамиду видимости при положении наблюдателя

Проведённый анализ в первой главе, в параграфе 1.5, показал, что авиационный тренажёр оснащён оптико-программными средствами, которые в режиме реального времени формируют двумерные проекции трёхмерных моделей на подключённом экране. Эти модели, попавшие в зону пирамиды видимости, а также 3D-индикаторы, созданные с использованием принципов компьютерной графики, обеспечивают реалистичное отображение окружающей обстановки.

В компьютерной графике модель пирамиды видимости [72] имитирует человеческое зрение. Процесс визуализации в графических системах заключается в формировании изображения объектов сцены, которые попадают в пирамиду видимости показан на рисунке 2.15.

С целью удаления невидимых участков 3D-модели района полета нужно исключить из проекции пирамиды видимости элементы, не относящиеся к самой модели [73]. Это сводится к задаче определения сегментов, которые должны быть видны в реальном времени.

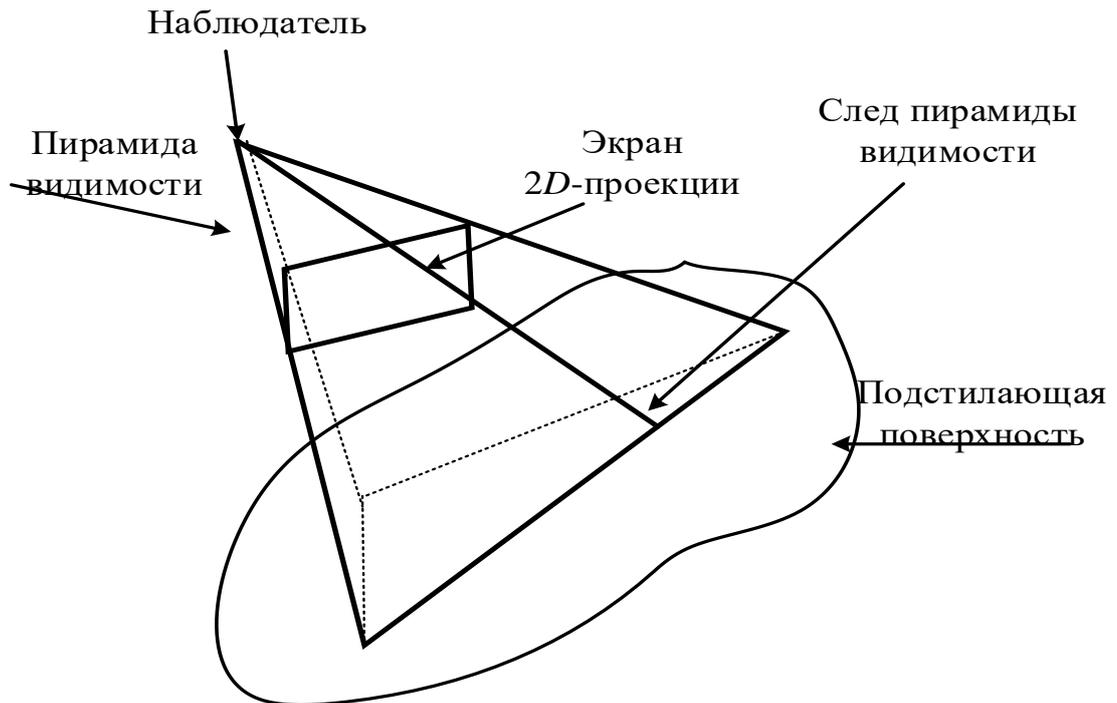


Рисунок 2.15 – Пирамида видимости в 3D-модели района полетов

В данное время распространён подход, при котором 3D-модель района полётов делится на сегменты. Чаще всего пространство равномерно разделяется на однотипные сегменты S одного уровня $S_1 \subseteq S_2 \subseteq S_3, \dots, S_n$, что облегчает процесс создания 3D-моделей отдельных участков района полётов для конструкторов.

В этом случае объекты в след пирамиды видимости может:

- полностью попадать в один сегмент;
- попадать на границы двух и более сегментов.

При расчетах проекция пирамиды видимости на плоскость визуальной обстановки будет представлять собой геометрическую фигуру, например, трапецию. Чтобы определить, какие сегменты видимы, следует выявить те, что пересекаются с этой трапецией в текущий момент. Координаты трапеции видимости, указанные на рисунке 2.16, зависят от положения наблюдателя, направления его взгляда, расстояний до ближайшей и дальней плоскостей отсечения, а также угла горизонтального обзора.

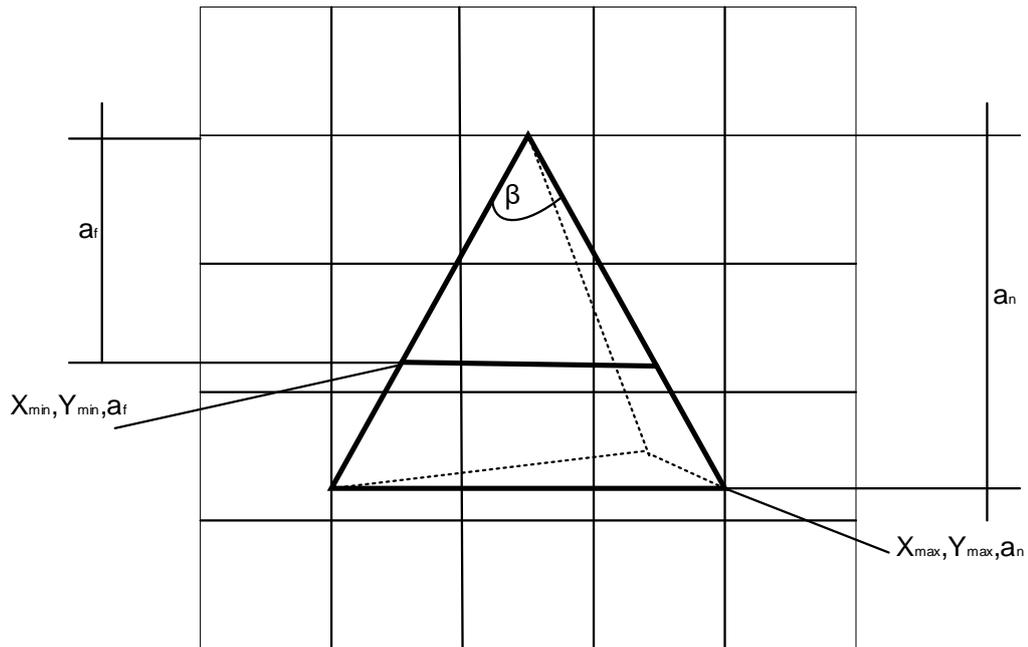


Рисунок 2.16 – Определение координат точек попавшие в пирамиду
ВИДИМОСТИ

Тогда:

$$KR = KQ = \frac{a_n}{\cos(\frac{\beta}{2})}, KS = KT = \frac{a_f}{\cos(\frac{\beta}{2})} \quad (2.11)$$

где a_n – расстояние до дальней плоскости отсечения;

a_f – расстояние до ближней плоскости отсечения;

β - угол обзора по горизонтали.

Тогда координаты вершин призмы RSTQ находятся следующим образом:

$$X_R = X_p + KQ \cos(\alpha - \frac{\beta}{2}); Y_R = Y_p = KQ \sin(\alpha - \frac{\beta}{2}), \quad (2.12)$$

$$X_Q = X_p + KQ \cos(\alpha + \frac{\beta}{2}); Y_Q = Y_p + KQ \sin(\alpha + \frac{\beta}{2}), \quad (2.13)$$

$$X_S = X_p + KT \cos(\alpha - \frac{\beta}{2}); Y_S = Y_p + KT \sin(\alpha - \frac{\beta}{2}), \quad (2.14)$$

$$X_T = X_p + KT \cos\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right); Y_T = Y_p + KT \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right), \quad (2.15)$$

где α - угол, определяющий направление пирамиды видимости.

Пусть S_0 представляет собой модель района полетов, тогда при делении на сегменты первого уровня имеем:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i, \quad (2.16)$$

где S_i - площадь, занимаемая i -м сегментом;

N - количество i -х сегментов.

Область, покрываемую пирамидой видимости (следом пирамиды наблюдения на подстилающей поверхности), обозначим S . Задача состоит в том, чтобы найти пересечение области видимости $S^{(v)}$ и S_i с i -ми сегментами в области S_0 . Эта величина представляет собой объединение элементарных составляющих $S_i \cap S^{(v)}$.

Видимый сегмент разбивается на четыре части, затем каждая из этих частей снова делится на четыре, и так продолжается, пока степень деления не достигнет эквивалентного значения рисунок 2.17.

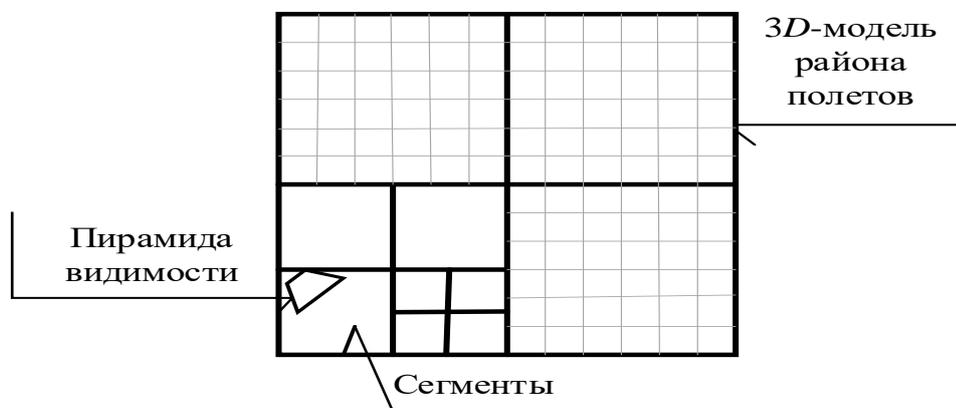


Рисунок 2.17 – Деление 3D-модели района полетов на сегменты

Отбор сегментов осуществляется путем сравнения их координат с минимальными и максимальными координатами вершин пирамиды видимости.

$$X_{\min} = \min(X_T, X_S, X_R, X_Q), Y_{\min} = \min(Y_T, Y_S, Y_R, Y_Q) \quad (2.17)$$

$$X_{\max} = \max(X_T, X_S, X_R, X_Q), Y_{\max} = \max(Y_T, Y_S, Y_R, Y_Q) \quad (2.18)$$

Деление пирамиды видимости ограничивается сегментом. При этом в пирамиду видимости могут попасть сегменты, которые не пересекаются с положением наблюдателя. Пересечение сегментов с пирамидой видимости может быть определено в двух случаях:

Область вокруг пирамиды видимости содержит хотя бы одну вершину сегмента, как показано на рисунке 2.18,а;

Хотя бы одна из четырёх вершин сегмента попадает в пирамиду видимости, как показано на рисунке 2.18,б.

Если ни одно из этих условий не выполняется, сегмент не попадает в область пирамиды видимости и, следовательно, не подлежит обработке.

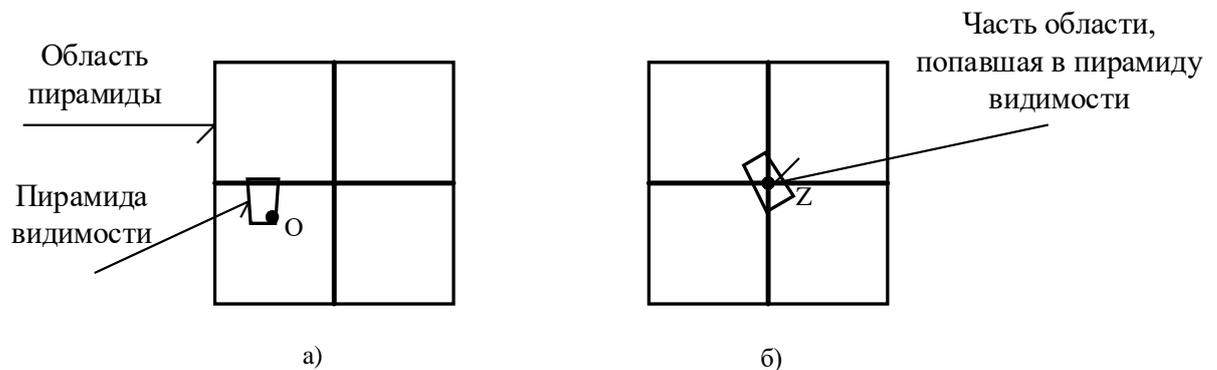


Рисунок 2.18 – Расположение пирамиды видимости в сегментах района полета

Проверяются условия алгоритма, которое показано на рисунке 2.18,а и 2.18,б путем сравнения координаты точки O с двумя наибольшими и наименьшими координатами точек клетки [74].

Пирамиду видимости (рис. 2.15) можно определить с помощью точки U , вектора \overline{UQ} , направленного вдоль основания, вектора \overline{US} , направленного вдоль бокового ребра, и коэффициента уменьшения L , определяющего отношение длин оснований. Для точки $F(\alpha, \beta)$, принадлежащей трапеции, будут выполняться следующие условия:

$$F(\alpha, \beta) = U + \alpha \overline{UQ} + \beta \overline{US}, 0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \alpha + \beta(1 - L) \leq 1 \quad (2.19)$$

Запись в координатах x и y выражение:

$$(\alpha, \beta)^T = \begin{bmatrix} \overline{UQ}_x & \overline{US}_x \\ \overline{UQ}_y & \overline{US}_y \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F(\alpha, \beta)_x - U_x \\ F(\alpha, \beta)_y - U_y \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Когда рассчитанные значения (2.20) соответствуют условиям $0 \leq \alpha, \beta \leq 1, \alpha + \beta(1 - L) \leq 1$, точка оказывается внутри области пирамиды видимости. Поэтому сегменты, которые попадают в пирамиду, можно увидеть на рисунке 2.19.

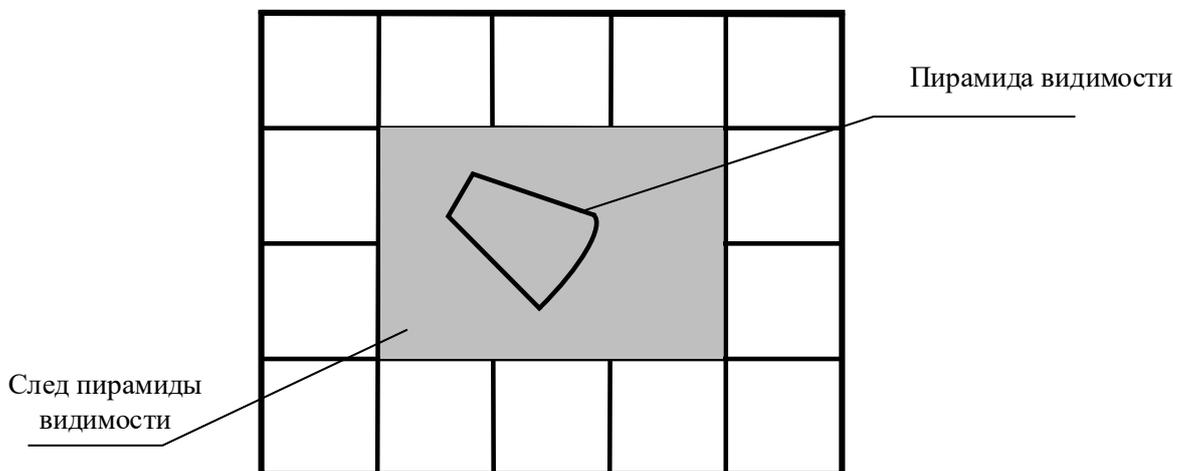


Рисунок 2.19 – Определение сегментов, попадающие в след пирамиды видимости

Тогда, зная положение наблюдателя, определяем исключение из обработки сегмента в режиме реального времени:

$$N_a = \sum_{i=1}^I \delta_i, \quad (2.21)$$

где

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{если } S_i \cap S^{(v)} \neq \emptyset, \\ 0, & \text{если } S_i \cap S^{(v)} = \emptyset, \end{cases} \quad (2.22)$$

где $S^{(v)}$ – след пирамиды видимости;

S_i – площадь сегмента первого уровня;

I – максимальное количество сегментов первого уровня, попавшие в пирамиду видимости.

Исходя из данной методики, сегменты, не попадающие в пирамиду видимости при данном положении наблюдателя, отсекаются. В режиме реального времени проводится анализ сегментов первого уровня и удаляются невидимые части 3D-модели района полетов, оставляя только фрагменты, находящиеся внутри пирамиды видимости. Это значительно упрощает процесс создания конструкторами отдельных частей 3D-модели района полетов.

2.5 Выводы по главе 2

Таким образом, в основу синтеза метода распределение информационных ресурсов был выбран алгоритм Гомори для определения размера сегмента первого уровня с выделением ему максимального возможного времени на обработку всех примитивов.

Использование методов оптимизации обеспечит более эффективное разделение района полётов на сегменты первого уровня, что позволит увеличить скорость обработки данных. Задача оптимизации характеризуется большой размерностью, что требует применения дополнительных отсечений, позволяющих упростить алгоритмы и ускорить вычисления.

Деление 3D-модели района полетов на сегменты первого уровня позволяет убрать невидимые реперные объекты и на этом этапе ПАГИ перебирает все сегменты первого уровня с использованием управляющих

примитивов и определяет, какие активные при данном положении наблюдателя.

Метод распределения информационных ресурсов ПА ГИ отличается тем, что формирование структуры базы данных ПА ГИ отражает схему деления заданной площади 3D-модели района полетов на однотипные сегменты первого уровня. Данный подход дает возможность использовать методы оптимизации для расчета предельного времени обработки первичных сегментов, попадающих в область видимости пирамиды видимости. Кроме того, на начальном этапе синтеза изображения в реальном времени исключаются все остальные сегменты первого уровня, которые не требуют обработки в текущий момент.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЕЛЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНА ПОЛЕТА НА ОДНОТИПНЫЕ СЕГМЕНТЫ ПЕРВОГО УРОВНЯ

3.1. Основные понятия и определения

Как показано во второй главе, ключевой проблемой синтеза изображений средствами компьютерной графики выступает оптимальное распределение графических примитивов в структуре 3D-модели района полетов. Это необходимо для формирования детализированного изображения реперных объектов. Решение данной задачи требует пространственного деления модели на сегменты первого уровня основанная на принципах целочисленного программирования.

Для реализации процесса деления 3D-модели района полетов необходимо разработать соответствующую методику, которая включает:

1. Определение размера трёхмерной модели района полётов с учётом производительности ПА ГИ, выраженной в условных примитивах.

2. Исходную 3D-модель района полётов следует интерпретировать как нулевой сегмент, подлежащий делению на сегменты первого уровня. Данная процедура выполняется на этапе предварительной обработки с целью исключения обработки сегментов, находящихся за пределами 30 км зоны видимости.

3. Время обработки визуальных и управляющих примитивов одинаково.

4. Для классификации задачи как исследования операций или задачи целочисленного программирования необходимо проанализировать её условия, а также сформулировать целевую функцию и систему ограничений.

5. Определить оптимальный размер сегмента первого уровня.

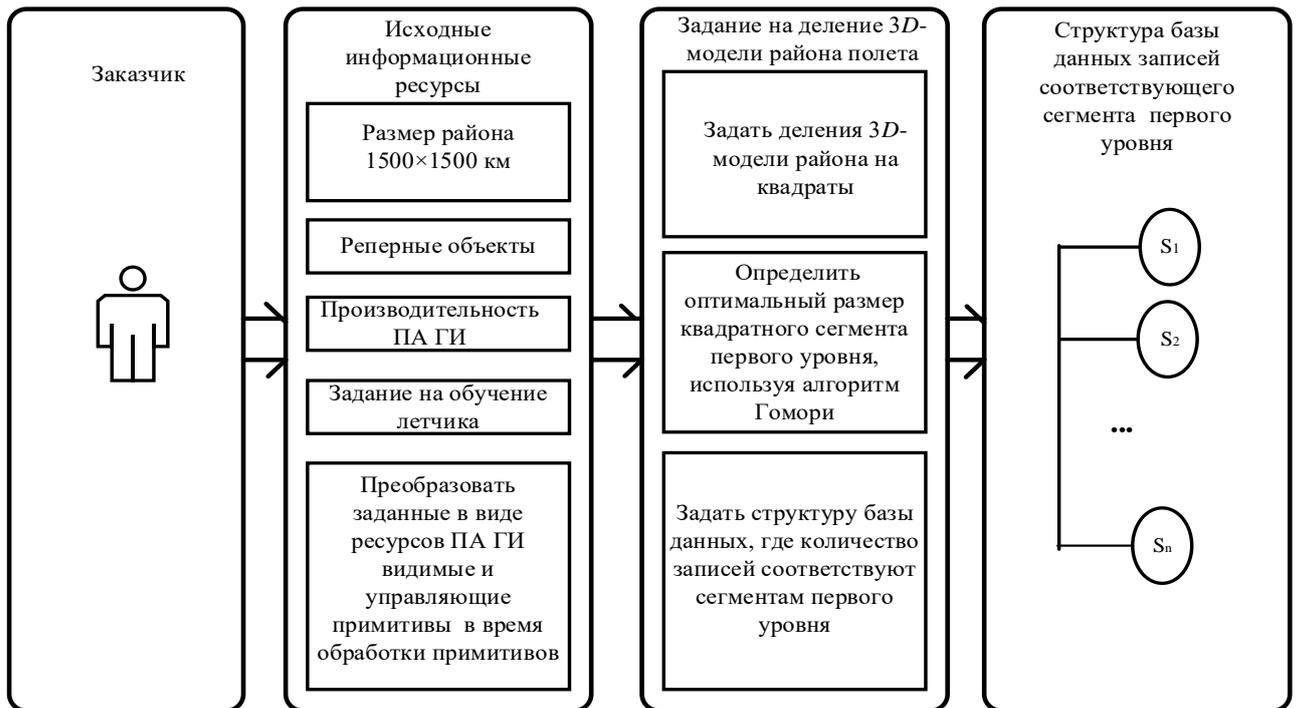


Рисунок 3.1– Методика описания ресурсов ПА ГИ, позволяющая решать задачу деление районов полетов на оптимальное число сегментов первого уровня

Для эффективного расчета геометрических параметров сегментов нулевого и первого уровней требуется специализированный эргатический программно-аппаратный комплекс – **имитатор визуальной обстановки**. Данная система обеспечивает синтез видеоряда в реальном времени путем преобразования трехмерной модели района полетов в двумерную проекцию с последующим выводом на подключенные экраны. Ключевой особенностью комплекса является динамическая обработка только тех 3D-объектов, которые попадают в текущую пирамиду видимости, связанный с подвижным наблюдателем. Такой подход позволяет исключить из обработки сегменты, находящиеся за пределами зоны видимости, что существенно оптимизирует вычислительные ресурсы системы при сохранении высокой детализации изображения.

Основная задача при разработке методики деления трёхмерной модели района полётов на сегменты первого уровня заключается в обеспечении

соответствия структуре базы данных ПА ГИ, а также в разрешении двух противоречащих требований:

1. Определение минимальных размеров сегментов первого уровня позволяет более точно описать пирамиду видимости на 3D-модели района полётов. Это способствует сокращению количества видимых примитивов, уменьшению числа наблюдаемых моделей опорных объектов и снижению уровня их детализации.

2. Для обеспечения выделения реперных объектов на модели района полётов и их точного распознавания в качестве реальных трёхмерных объектов с вероятностью не менее 89%, необходимо синтезировать максимальное количество таких моделей с максимально возможной детализацией.

3.2 Обоснование необходимости решать задачу перераспределения информационных ресурсов ПА ГИ при разработке 3D-модели района полета для имитатора ИВО авиационного тренажера

Современные АТ позволяют значительно расширить перечень учебных задач за счёт увеличения количества навигации. Благодаря возможностям современных ПА ГИ стало возможным реалистичное отображение моделей реперных объектов на всей модели района полётов. Для эффективного использования этой технологии создается детализированная карты района полётов с точной привязкой объектов по координатам. Важным аспектом является перераспределение информационных ресурсов ПА ГИ в режиме реального времени. Этот процесс должен учитывать физическое ограничение видимости реперных объектов, что требует оптимизации алгоритмов синтеза для обеспечения стабильной работы системы при максимальной нагрузке.

Таким образом, интеграция современных технологий визуализации с методикой обучения позволяет существенно повысить эффективность

подготовки летчиков, обеспечивая отработку широкого спектра навигационных задач в условиях, максимально приближенных к реальным.

Анализ, проведенный во второй главе в параграфе 2.2, показал, что применение методов оптимизации для распределения ресурсов ПА ГИ эффективно для создания 3D-модели района полетов с реперными объектами, распределенными по разным сегментам первого уровня.

Аспектом разработки авиационных тренажеров является создание детализированной 3D-модели района полетов размером 1500×1500 км [75,76], обеспечивающей реалистичные условия для отработки навигационных задач в подготовке летчиков ЛА. Визуальное качество синтезируемого изображения [77] напрямую определяется плотностью распределения реперных объектов в моделируемом районе полетов пространстве и степенью детализации трехмерных моделей реперных объектов $N_{p_m} \geq N_k$,

где N_{p_m} – число моделей реперных объектов в S_0 ;

N_k – минимальное число реперных объектов, встретившихся по маршруту полета.

Разработка системы навигации для авиационных тренажеров требует комплексного подхода, сочетающего точное моделирование трёхмерного пространства и реалистичное отображение реперных объектов $R_i^{(v)}$. Основой для решения навигационных задач выступает возможность визуального распознавания детализированных 3D-моделей реперных объектов [78], что предполагает предварительное определение их точного расположения как на цифровой карте местности, так и в данных, поступающих от имитаторов кабинного оборудования. Ключевая задача проектирования заключается в создании масштабной 3D-модели района полётов с оптимальной насыщенностью реперными объектами при максимально эффективном использовании примитивов. При этом важным становится точный расчёт количества реперных объектов, который осуществляется на основе методики,

учитывающей технические характеристики системы визуализации, требования к реалистичности изображения и ограничения по вычислительным ресурсам. Реализация данного подхода обеспечивает необходимый уровень детализации для качественной подготовки летчиков, сохраняя при этом стабильную производительность тренажёрного комплекса в режиме реального времени. В этом случае количество реперных объектов определяется следующим образом:

$$R_i^{(v)} \geq M_r \left(S_0^{(1)} \right), \quad (3.1)$$

$$M_r = \sum_{v=1}^V R_v \quad (3.2)$$

где $\left(S_0^{(1)} \right)$ - 3D-модель района полетов с сегментами первого уровня;

M_r - сумма всех видимых реперных объектов в 3D-модели района полета;

V – число реперных объектов в реалистичном изображении.

В авиационных тренажёрах применяется трёхмерные модели, которые помогают летчика совершенствовать глазомер [79]. Одной из ключевых особенностей является формирование структуры базы данных ПА ГИ, а также общие этапы технологического процесса, включая создание моделей реперных объектов и вывод на экран промежуточных изображений в виде 2D-проекций трёхмерных объектов. На рисунке 3.2 представлен экран авиационного тренажёра с промежуточным изображением, сформированным с учетом характеристик оптической информационной системы. Специальные оптические компоненты [80] обеспечивают передачу визуальных данных в зрительную систему человека [81], активируя определенные механизмы зрительного восприятия [82]. При наблюдении через оптическую систему специально разработанных двумерных проекций трехмерных объектов у пользователя создается реалистичное ощущение объемного пространства, что

существенно повышает эффективность тренировки навыков визуальной оценки расстояний и пространственной ориентации [83].

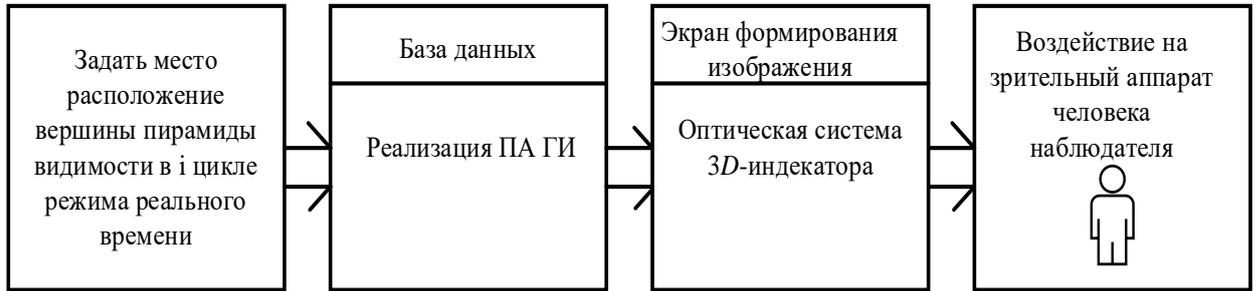


Рисунок 3.2 – Технологическая цепочка синтеза 3D-изображений

3D-объектов в АТ

Современные подходы к синтезу визуально наблюдаемых изображений для авиационных тренажеров, равно как и для других типов обучающих симуляторов, находят свое выражение методиках построения трехмерных моделей района полетов и последующей обработки графической информации [84]. Основным критерием качества синтеза трёхмерной модели района полётов выступает количество распознаваемых реперных объектов и их составляющих. Важной задачей также является маскировка отдельных реперных объектов, что создаёт условия для их поиска, приближенные к реальным полётам [85], и помогает в решении навигационных задач.

В процессе формирования 3D-объектов для авиационных тренажеров применяется визуальные и управляющие примитивы, которые организуют сам процесс синтеза. При разработке 3D-моделей реперных объектов для базы данных ПА ГИ создается специальная структура, обеспечивающая синтез в реальном времени с учетом решения задач взаимозакрываемости [86].

В данной системе выступает примитив «разделяющая плоскость», который определяет порядок визуализации 3D-моделей и их объектов внутри одного сегмента базы данных при движении наблюдателя. Этот подход позволяет представить 3D-модель района полетов как нулевой сегмент, представляющий собой квадратную область нулевого уровня S_0 или как

сегмент, который может быть разделён на сегменты первого уровня S_i^1 . Каждый сегмент первого уровня может быть разделён на сегменты второго уровня, которые, в свою очередь, могут делиться на сегменты третьего уровня S_{ijk}^3 и так далее. Для упрощения вычислений, сегменты одного уровня имеют одинаковую площадь:

$$\begin{aligned}
 S_i^1 &= S_{i+1}^1 \dots, \\
 S_{i,j}^2 &= S_{i,j+1}^2 = S_{i,j+2}^2 = \dots, \\
 S_{i,j,k}^3 &= S_{i,j,k+1}^3 = S_{i,j,k+2}^3 = S_{i,j,k+3}^3 = \dots, \\
 S_{i,j,k,p}^4 &= S_{i,j,k,p+1}^4 = S_{i,j,k,p+2}^4 = S_{i,j,k,p+3}^4 = S_{i,j,k,p+4}^4 = \dots
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Таким образом, деление района полетов на сегменты обеспечивает эффективное управление процессом визуализации, позволяя адаптировать уровень детализации в зависимости от положения летательного аппарата и условий наблюдения реперных объектов.

3.3 Деление 3D-модели района полета на сегменты первого уровня с использованием алгоритма Гомори

В результате анализа метода целочисленного программирования (глава 2, параграф 2.3) было разработано правило деления 3D-модели района полётов на определённое количество сегментов первого уровня с оптимальным распределением информационных ресурсов."

Анализ структуры базы данных [87] позволил создать множество $F = \{X_1; X_2; X_3; X_4; X_5; X_6; X_7\}$, обеспечивающий эффективное извлечение информации из базы данных для синтеза части 3D-модели района полетов в рамках пирамиды видимости в текущий такт режима реального времени:

где X_1 – размер 3D-модели района полётов (нулевой сегмент), заданный Заказчиком;

X_2 – деление нулевого сегмента на сегменты первого уровня;

X_3 – размещение $3D$ -моделей реперных объектов в сегменте нулевого уровня;

X_4 – деление сегмента первого уровня на сегменты второго уровня;

X_5 – размещение $3D$ -моделей реперных объектов в сегментах второго уровня;

X_6 – деление сегмента уровня $n-1$ на сегменты n -го уровня;

X_7 – размещение $3D$ -моделей реперных объектов в сегментах n -го уровня.

При делении сегмента нулевого уровня на сегменты первого уровня, которые могут делиться на сегменты второго уровня, каждый из которых может делиться на сегменты третьего уровня и т.д. Тогда (3.3) запишем:

$$X_1 = \bigcup_{i=1}^4 X_2, \quad (3.4)$$

$$X_2 = \bigcup_{i=1}^4 X_3, \quad (3.5)$$

$$X_3 = \bigcup_{i=1}^4 X_4, \quad (3.6)$$

$$X_4 = \bigcup_{i=1}^4 X_5. \quad (3.7)$$

Появление серийных систем АТ с имитаторами визуальной обстановки, которые в реальном времени синтезируют на экранах $2D$ - проекции $3D$ - модели реперных объектов, размещенных на подстилающей поверхности, вызвало необходимость деления $3D$ -модели района полетов на сегменты первого уровня. Это создавало предпосылки полета на авиационном тренажёре от модели одного поворотного пункта маршрута к другому при постоянной видимости земли.

Экспериментально установлено [88], что для описания $3D$ -полигонов, распознаваемым лётчиком как реальная $3D$ -модель ВПП, большинство аэродромов (отдельные ВПП аэродромов Внуково, Шереметьево, Быково и др.) необходимо 780 $3D$ -полигонов, раскрашенных монохромно.

В результате АТ с такими ИВО были достижениями в области подготовки лётчиков и, по словам министра гражданской авиации СССР «в последний год существования СССР позволил повысить безопасность полётов до 8 предпосылок к лётчикам прошедшие по всей гражданской и военной авиации СССР» [89].

Существуют технологические обработки информационных потоков от имитаторов с целью синтезировать изображения модель района полета. Такое происходит за счёт расположения модели реперного объекта независимо от его наблюдения через один из трёх имитаторов в заданном месте модели внешней среды и от выбора производительности ПА ГИ (Рисунок 3.3) [90].

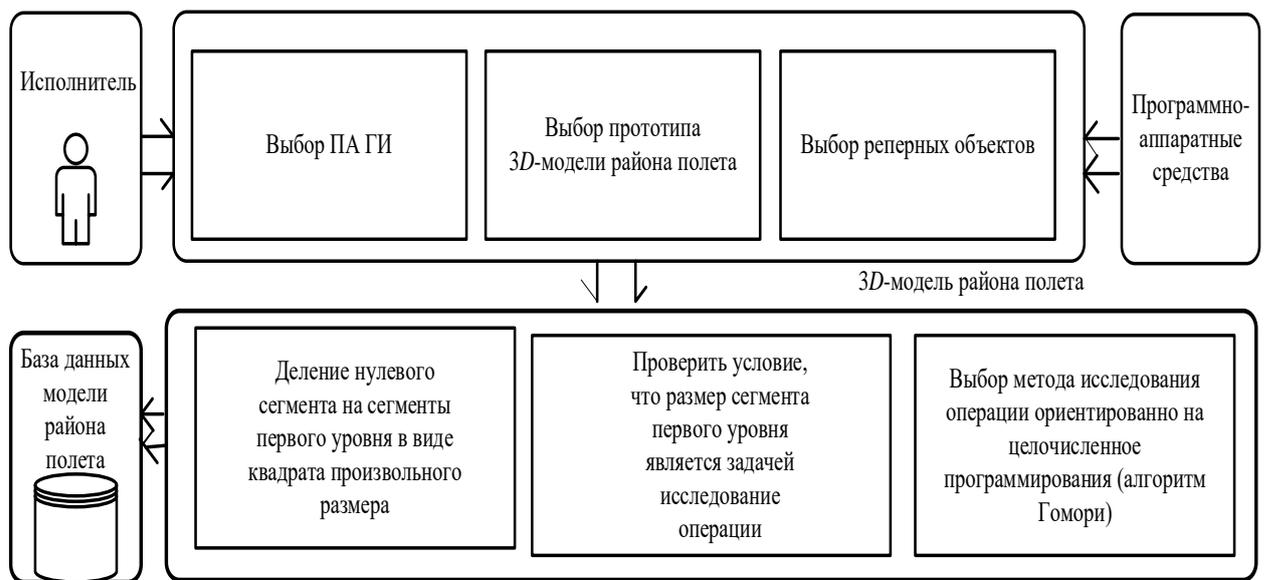


Рисунок 3.3 – Выбор информационных ресурсов в 3D-района полетов

Синтез изображений с помощью одних и тех же алгоритмов компьютерной графики и аппаратных средств представляет собой один из способов обработки информационных потоков. Полученная информация затем заносится в однотипную структуру соответствующей базы данных [91]. Разрабатываемая база данных имеет иерархическую структуру, основанную на многоуровневом делении 3D-модели района полетов [92]. Модель делится

на сегменты, которые в свою очередь делятся на подсегменты, и так далее, создавая структуру базы данных.

Каждый имитатор использует свою базу данных для синтеза визуальной информации для летчика. Эта база данных ξ содержит все необходимые данные для создания моделей реперных объектов в виде примитивов $P^{(v)}$:

$$\xi_i = \sum_{i=1}^I P_i^{(v)}, \quad (3.8)$$

где I – максимальное количество сегментов в базе данных;

$P^{(v)}$ -визуальные примитивы.

Каждый визуальный примитив описывается с учётом возможных вариантов его окраски. Каждый процесс синтеза отличается уникальным расположением и цветовым решением визуальных примитивов. Структура базы данных должна быть оптимизирована для обеспечения быстрого доступа к информации [93]., необходимой для синтеза визуальных данных на экране, подключённом к ПА ГИ. Эти данные должны отличаться от информации, создаваемой другими имитаторами, но при этом точно отображать 3D-модели реперных объектов. Чтобы гарантировать точность визуального восприятия трёхмерных моделей опорных объектов, которые должны быть видимыми как через окно кабины летательного аппарата, так и на экранах радиолокатора и тепловизора, их следует разместить в виртуальном пространстве в одном и том же положении.

Для составления математической модели, позволяющей оценить время формирования базы данных, рассмотрены на рисунке 3.5.(а,б)

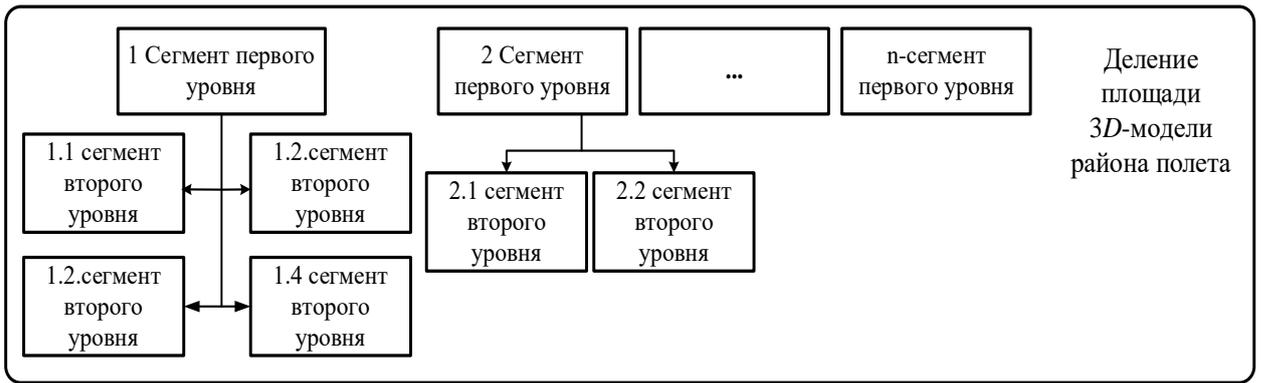


Рисунок 3.4(а) –Схема деления площади 3D-модели района полетов

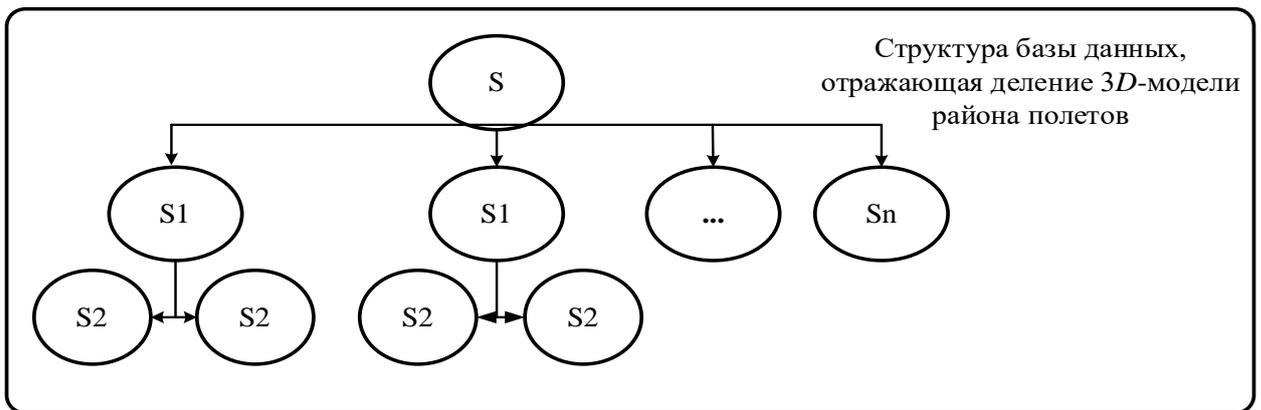


Рисунок 3.4(б) –Структура базы данных, отражающая деление 3D-модели района полетов

Нулевой сегмент, представляющий собой полную 3D-модель района полетов (включая модель неба), разбивается на два сегмента первого уровня. При этом некоторые области нулевого сегмента могут не входить в состав сегментов первого уровня. Если в этих сегментах имеются модели реперных объектов, они будут обрабатываться в каждом цикле режима реального времени [94]. Для обеспечения точного совпадения модели реперного объекта во внешней среде для всех имитаторов, необходимо чтобы описания этой модели в базе данных программно-технического генератора изображения были расположены в одном и том же сегменте.

Таким образом, показана структура базы данных ПА ГИ, позволяющая разделить 3D-модель района полетов на сегменты разного уровня. Обработку базы данных происходит в цикле режима реального времени. Анализ методов

оптимизации, показал, что для расчета оптимального размера сегмента, необходимо использовать алгоритм Гомори.

3.4 Математический аппарат для деления 3D-модели района полетов на сегменты первого уровня и вычисления максимального времени обработки примитивов.

Анализ сравнительных методов оптимизации, проведенный в первой главе в параграфе 1.3, показал, что универсальных методов и алгоритмов для решения задачи оптимального деления на сегменты не существует. Каждый математический метод обладает уникальным алгоритмом и методикой реализации [95, 96]. Все подходы к решению задач целочисленного линейного программирования [97] сводятся к выполнению серии задач линейного программирования [98], что влечет за собой выполнение n -й итерации в каждой n -й задаче. Кроме того, существует вероятность отсутствия допустимых решений.

Разработка математической модели задачи деление 3D-модели района полетов на сегменты первого уровня и определение максимального времени обработки примитивов является актуальной задачей, которая позволит повысить эффективность работы системы и оптимизировать процесс обработки данных.

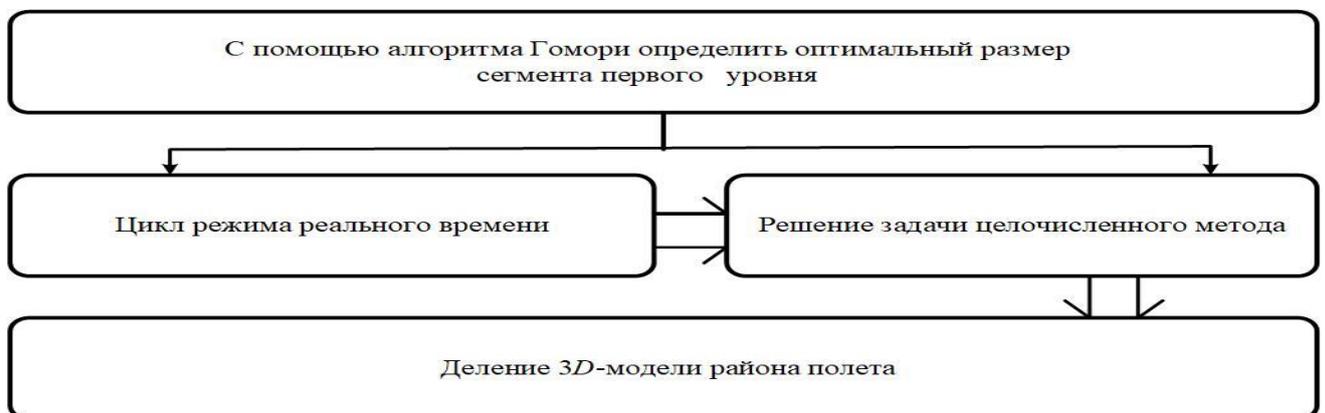


Рисунок 3.5 – Применение алгоритма Гомори для нахождения оптимального размера сегмента первого уровня

Распределять информационные ресурсы целесообразно по сегментам первого уровня в виде максимально разрешенного времени на их обработку. При условии, что время обработки должно быть меньше, чтоб успеть обработать 780 примитивов. Активные примитивы должны находится от центра сегмента не менее 45 км от наблюдателя. (Существует прямая зависимость между размером сегмента первого уровня и расстоянием от его центра. При увеличении размера сегмента расстояние также увеличивается. Например, при размере сегмента 10 км расстояние составляет 30 км, а при размере 30 км расстояние увеличивается до 45 км).

Район полета, фиксированный от 400×400 до 1500×1500 км. Количество примитивов – целое число. Обработка активных примитивов в сегменте происходит в режиме реального времени за один такт со скоростью не более 80-120 мс. Время обработки примитива кратно Δt [99,100] (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Время для каждого примитива

Примитив	Время, Δt
3D-грань трехвершинная	$4\Delta t$
Разделяющая плоскость	$4\Delta t$
Охватывающие сферы	$2\Delta t$
3D-огонь обработки	Δt

Применение целевой функции W и системы ограничений позволяет оптимизировать время обработки активных примитивов в сегменте первого уровня:

Целевая функция выглядит так:

$$W = (\mathbf{c}, \mathbf{x}) \rightarrow \max_{\mathbf{x}} \quad (3.9)$$

где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, при этом x_1 – число активных примитивов за один такт реального времени; x_2 – время обработки примитивов в одном сегменте первого уровня, мс; x_3 – время, затраченное на выбор активных сегментов

первого уровня при полном переборе всех сегментов, мс; x_4 – размер сегмента первого уровня, км; x_5 – размер нулевого сегмента, км; $\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_5)$ – вектор весовых коэффициентов.

Система ограничений $ax - b \leq 0$ имеет следующий вид:

$$\begin{cases} 780x_2 - x_4 \leq 0, \\ x_5 - 5.5x_4 \leq 0, \\ x_1x_3 - 11x_4 \leq 0. \end{cases} \quad (3.10)$$

Целочисленность целевой функции является необходимым условием применения алгоритма Гомори для оптимизации времени обработки визуальных примитивов извлечения примитивов в сегменте первого уровня.

1. Решаем задачу (3.9) — (3.10) без требования целочисленности;
2. Если задача (3.9) — (3.10) не имеет решения, то не имеет решения и исходная задача (3.9) — (3.10);
3. Если решение задачи (3.9)–(3.10) удовлетворяет условию целочисленности (3.10), то оно является одновременно и решением исходной задачи (3.9) — (3.10);

Таблица 3.2 – Применение симплекс-метод для целочисленности

Базис	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	b_i
x_3	780	00	0	-1	1	0
x_4	0	0	1	-5.5	0	0
x_5	0	1	0	-11	0	0
W	-3	-2	-1	-4	0	0

Решение показало, что условие (3.9) – (3.11) не целочисленное, вводим Q – множество индексов небазисных переменных, соответствующее решению задачи (3.9) – (3.11). Создаем развернутую симплекс-таблицу, т. е. выразим все переменные $t_{1j}, j = 1 \dots n$, и целевую функцию W через переменные, входящие в множество Q :

$$x_2 = x_1 \sum_{j \in Q} x_4 x_3, \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (3.11)$$

Приведем систему к единичной матрице методом Жордана Гаусса:

1. В качестве базовой переменной можно выбрать x_3 .

-10	-2	1	0	0	-780
9	8	0	-1	0	30
15	914	0	0	-1	80

2. В качестве базовой переменной можно выбрать x_4 .

Получаем новую матрицу:

-10	-2	1	0	0	-780
9	8	0	1	0	-30
15	914	0	0	-1	80

3. В качестве базовой переменной можно выбрать x_5 .

Получаем новую матрицу:

-10	-2	1	0	0	-780
-9	-8	0	-1	0	-30
-15	-914	0	0	-1	-80

Поскольку в системе имеется единичная матрица, то в качестве базисных переменных принимается x_3, x_4, x_5 . Среди свободных членов b_i есть отрицательные значения, поэтому текущий базисный план не является оптимальным. Вместо переменной x_3 введем переменную x_2 . Применим метод Жордана Гаусса для преобразования симплексной таблицы (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Метод Жордана Гаусса для симплексной таблицы

Базис	b_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_2	390	5	1	-0.5	0	0
x_4	3090	31	0	-4.75	0	0
x_5	356380	4555	0	-457	0	1
W	383760	3920	0	492	0	0

Количество визуальных примитивов получают нецелочисленное значение.

Вводим переменную $[\alpha]$ и через $\{\alpha\}$ дробную часть произвольного числа α .

$$\alpha = [\alpha] + \{\alpha\}, \quad (3.12)$$

где $[\alpha]$ — целое число и:

$$0 \leq \{\alpha\} < 1, \quad (3.13)$$

Вставим эти данные в уравнение (3.10), получим:

$$x_{2i} + \sum_{j \in Q} x_{1j} = \{x_{2j}\} - \sum_{j \in Q} \{x_{1j}\}(t_{1j}). \quad (3.14)$$

Как видно в (3.14) левая часть должна быть целым числом и обозначим через $(-c_i)$. Тогда $\sum_{j \in Q} \{x_{1j}\}, x_{2i} = \{x_{10}\} + c_{i_1}$ и $i = i_1$ получаем:

$$\sum_{j \in Q} \{x_{1ij}\}, (x_{2j}) = \{x_{10}\} + c_{i_1}. \quad (3.15)$$

Подбирая соответствующим образом целые числа b_j в (3.15), получаем отсечение алгоритма Гомори:

$$\sum_{i \in Q} x'_{1i_1j} x_{2j} \geq \{x_{2i_10}\}, \quad (3.16)$$

Таким образом, показано эффективное применение методов целочисленного программирования, в частности алгоритма Гомори, для решения актуальной задачи оптимального деления модели района полетов на сегменты первого уровня, состоящие из неподвижных 3D-моделей реперных объектов, наблюдаемых в зрительном диапазоне электромагнитного излучения, объединённых в сегменты первого уровня. Позволяет ПАГИ синтезировать на плоском экране в режиме реального времени изображения проекции 3D-моделей реперных объектов, попавших в пирамиду видимости, рассчитать время на их синтез:

- Разработанная математическая модель обеспечивает минимальное время обработки визуальных примитивов 65 мс при соблюдении всех технологических ограничений;
- Пространственное ограничение от центра сегмента, не превышая 45 км, обеспечивает корректное отображение в системах навигации;
- Предложенная система проверки коэффициентов предотвращает накопление вычислительных ошибок;
- Модель реализуема для задач с большей размерностью;

- Возможна адаптация для параллельных вычислений в реальном времени;

3.5. Выводы по главе 3

1. Деление *3D*-модели района полетов на сегменты первого уровня определяет структуру дерева базы данных ПА ГИ.

2. Структура базы данных ПА ГИ представляет собой иерархическое дерево, где каждый сегмент первого уровня содержит свои сегменты, а каждая запись в базе данных описывает визуальные и управляющие примитивы в соответствующем сегменте первого уровня. При делении сегмента на под сегменты второго уровня сохраняется описание примитивов в локальной системе координат в той системе координат сегмента первого уровня, где размещены рассматриваемые примитивы.

3. Определив максимальное время, доступное для обработки сегмента первого уровня, можно вычислить максимальное количество визуальных и управляющих примитивов, которое возможно задействовать для создания *3D*-моделей реперных объектов. Это, в свою очередь, устанавливает предельную насыщенность *3D*-моделей реперных объектов в *3D*-моделях района полетов при заданной производительности ПА ГИ.

4. Методика описания ресурсов ПА ГИ, отличается тем, что размер каждого сегмента определяется на основе заданной дальности видимости, общего числа сегментов, на которые разделена *3D*-модель района полётов, и производительности ПА ГИ, что позволяет применять методы оптимизации для нахождения оптимального размера сегмента первого уровня и определения максимально допустимого времени его обработки, что позволяет конструировать *3D*-модель района полётов с максимальным числом размещённых реперных объектов, при полётах на АТ в любом направлении

ГЛАВА 4. ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ДЕЛЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ РАЙОНА ПОЛЕТОВ НА СЕГМЕНТЫ ПЕРВОГО УРОВНЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОГО АЛГОРИТМА

4.1 Основные понятия и определения

В третьей главе обосновывается важность подготовки летчика к решению навигационных задач при полетах над заданным районом с использованием трехмерных визуальных моделей реперных объектов, что требует разработки обобщенного алгоритма деления 3D-модели района полетов на сегменты первого уровня. Для реализации данной задачи необходимо последовательно решить три взаимосвязанные проблемы: идентификацию и отбор реперных объектов, служащих навигационными ориентирами на заданной территории; разработать алгоритм распределения информационных ресурсов ПА ГИ в сегментах первого уровня; оптимизацию загрузки системы визуализации на всей площади моделируемого района полетов. Решение этих задач в комплексе позволит обеспечить стабильный синтез необходимого количества трехмерных объектов в реальном времени, что особенно актуально при работе с 3D-моделями района полетов размером до 1500×1500 км, где значение приобретает учет характеристик используемого ПА ГИ.

Таким образом, создание обобщенного алгоритма деления 3D-модели района полетов, способного распределять вычислительную нагрузку при сохранении однотипной сегменты первого уровня, что обеспечит как требуемое качество визуализации, так и стабильность работы тренажерной системы в различных условиях эксплуатации. Этот алгоритм необходимо реализовать в виде программной реализации.

4.2 Алгоритм деление 3D-района полетов на сегменты первого уровня для нахождения визуальных примитивов

В рамках разработки 3D-модели района полетов для авиационного тренажера была проведена работа по анализу и обоснованию выбора информационных ресурсов. Результаты этой работы представлены в третьей главе. Показана методика описания распределения ресурсов ПА ГИ для деления района полетов на сегменты первого уровня. Как показали результаты исследований, в настоящее время Заказчик ставит задачу перед разработчиками авиационных тренажёров моделировать 3D-модель район полетов большего размера [4] и задавать производительность ПА ГИ в примитивах [37]. Равномерное распределение всех примитивов по всей площади 3D-модели района полетов не обеспечит возможность синтеза хотя бы одного 3D-полигона на площади 1×1 км². Поэтому важно решить задачи распределения ресурсов по всей 3D-модели района полетов. Обучение пилотированию на АТ делится на два этапа: визуальное наблюдение за 3D-моделью ВПП и реперными объектами [7], пилотирование в условиях сплошной облачности, аналогичным реальным полетам [8].

Дальность видимости в модели района полетов показана на рисунке 4.1 и определяется по формуле (4.1).



Рисунок 4.1 – Дальность видимости полета

$$D = 3.85 * \sqrt{h}, \quad (4.1)$$

где D – дальность видимости полета;

h – высота наблюдаемого объекта.

При разработке 3D-модели района полетов на заданную область размером от 400×400 до 1500×1500 км (нулевой сегмент S_0) накладывается сегмент первого уровня с длиной стороны “ a ”. Этот сегмент может быть представлен в виде квадрата или прямоугольного треугольника рисунок 4.2. Внутри данного сегмента располагаются 3D-модели реперных объектов.

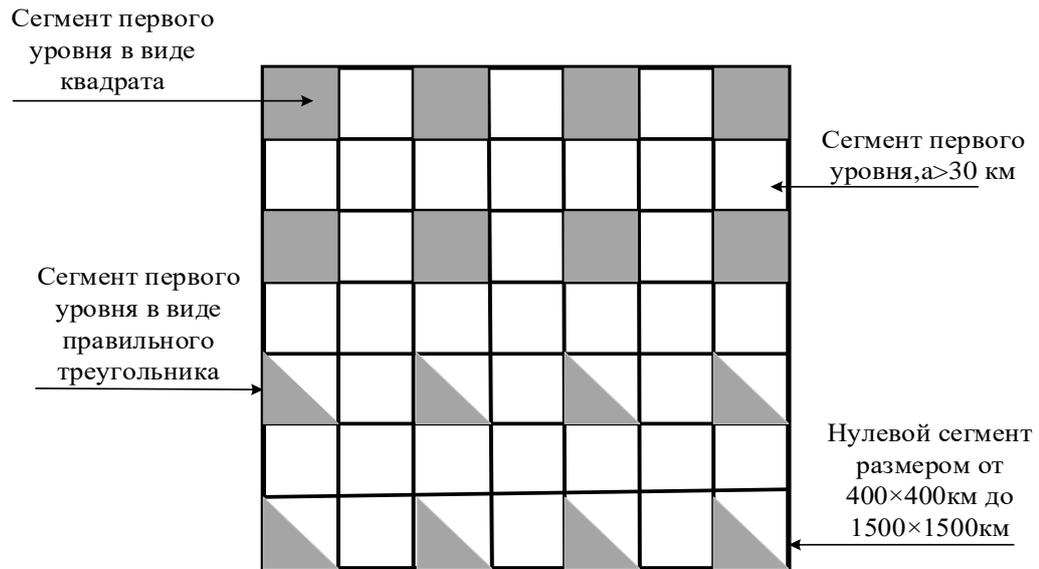


Рисунок 4.2 – Результат деление нулевого сегмента на сегменты первого уровня, которые имеют форму квадрата или прямоугольного треугольника одинакового размера.

Этапы деление района полетов на сегменты первого уровня показывает сколько визуальных примитивов попадут в след пирамиды видимости. Оптимальный вариант для этого этапа получим при выборе производительности ПА ГИ и от размера района полета (рисунок 4.3).

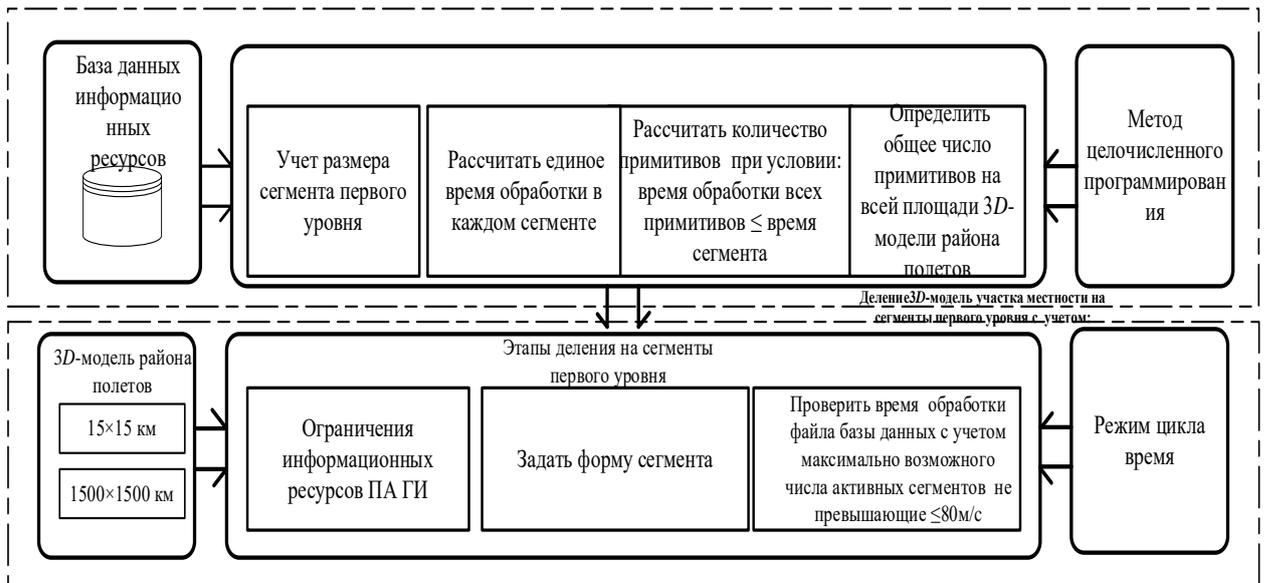


Рисунок 4.3 – Распределение информационных ресурсов 3D-модели района полетов

Сформулирована задача оптимального распределения примитивов в сегментах первого уровня [37], решение которой базируется на двух ключевых параметрах: времени обработки сегментов первого уровня и совокупности 3D-полигонов, попадающих в пирамиду видимости (рис. 4.4). Особое внимание уделяется распределению остаточных информационных ресурсов ПАГИ, причем проведенные исследования демонстрируют, что наиболее эффективным критерием для такого распределения выступает время, доступное для обработки примитивов.

Таким образом, позволяется достичь баланса между качеством визуализации и информационной системой, обеспечивая стабильную работу АТ в режиме реального времени.

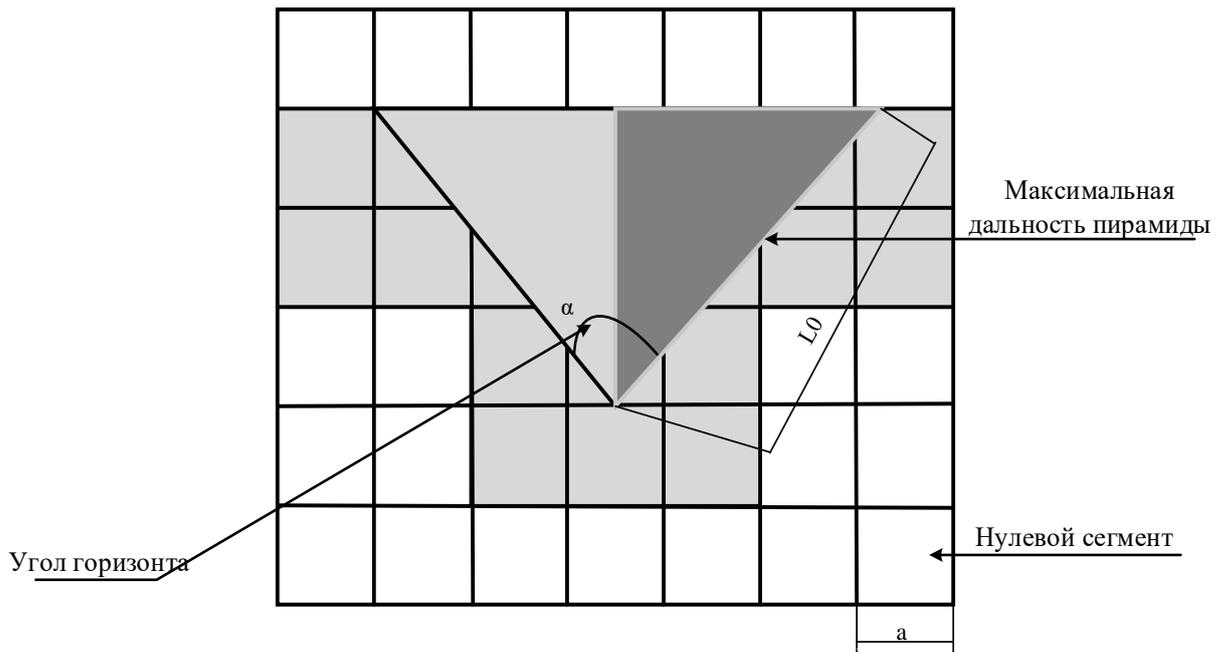


Рисунок 4.4 – Максимальное число сегментов первого уровня, которые могут быть обработаны в следе пирамиды видимости.

На рисунке 4.4. показана симметричная пирамида видимости соответственно рассматривается полследа, в которую попадают сегменты. Если края пирамиды видимости касаются сегменты, то они входят в обработку. Тогда угол пирамиды видимости $\alpha = \frac{40^\circ}{2}$.

Рассмотрим этапы нахождения количества сегментов первого уровня:

1. Находим площадь пирамиды видимости:

$$S_{\Delta} = L_0 \sin(20^\circ) * L_0 \cos(20^\circ),$$

где L_0 - максимальная видимость района полета, не превышающая 30 км.

2. Находим число сегментов первого уровня, которые точно лежат в пирамиде видимости S_{Δ} :

$$\begin{aligned} n_d &= L_0 \frac{\sin(20^\circ)}{a}, \\ n_g &= L_0 \frac{\cos(20^\circ)}{a}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

где n_d - число примитивов попавшие в пирамиду дальности при дальности 30 км;

n_g - число примитивов попавшие в пирамиду дальности при известном углу горизонта.

3. Уточняем сколько надо сегментов первого уровня и прибавляем один:

$$\begin{aligned} n_d &= L_0 \frac{\sin(20^\circ)}{a} + 1, \\ n_g &= L_0 \frac{\cos(20^\circ)}{a} + 1, \end{aligned} \quad (4.3)$$

4. Находим сколько примитивов осталось:

$$N_{pr} = (P - 5 - N_{seg}), \quad (4.4)$$

где P – производительность ПА ГИ;

N_{seg} – число сегментов в первом уровне.

Рассмотрим алгоритм количество визуальных примитивов в сегменте первого уровня рисунок 4.5 и количество визуальных примитивов по всей модели района полета рисунок 4.6 и фрагмент программы на рисунке 4.8.

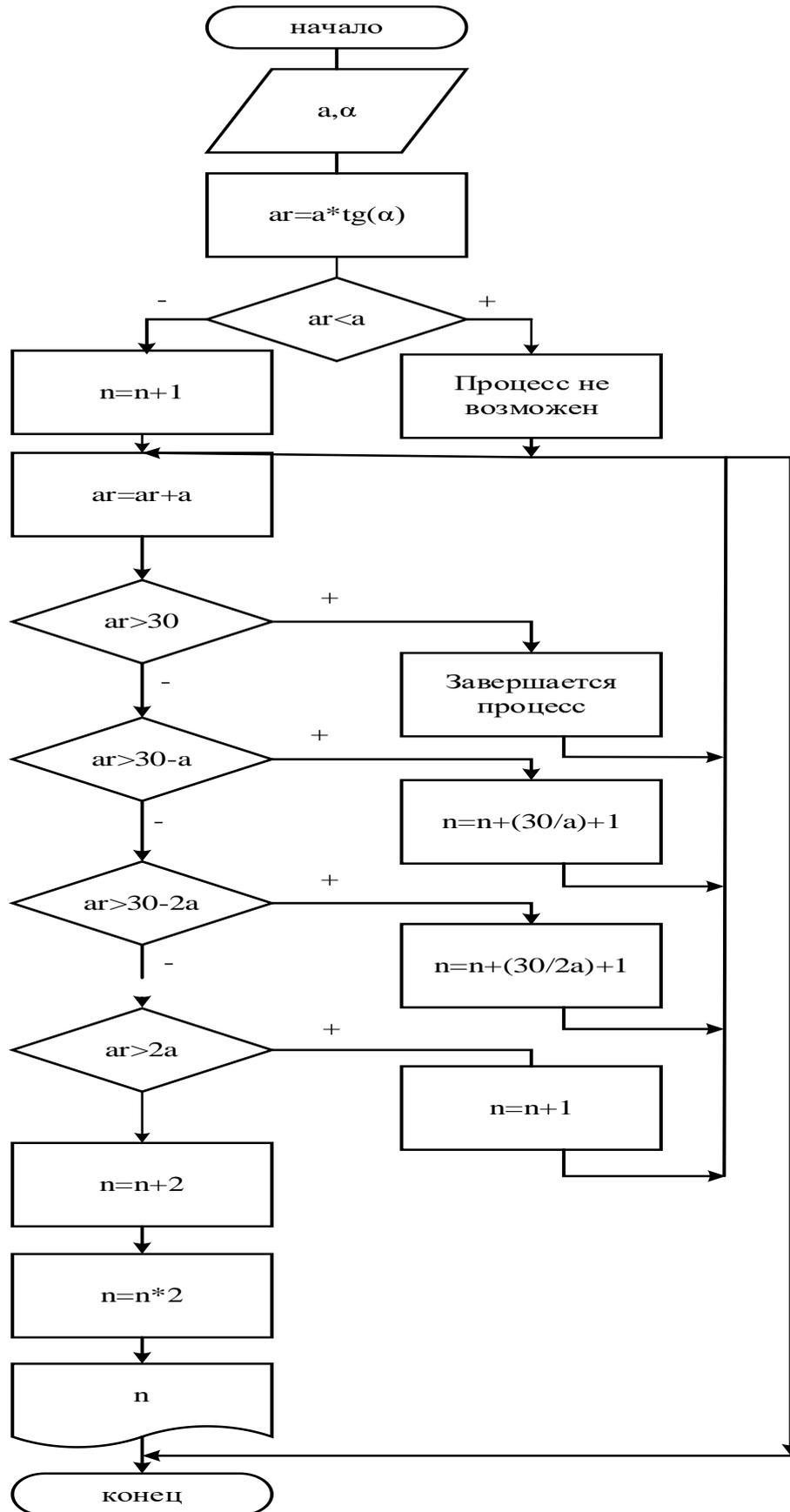


Рисунок 4.5 – Число сегментов, попавших в пирамиду видимости при
 дальности 30 км и горизонтальным углом 40°

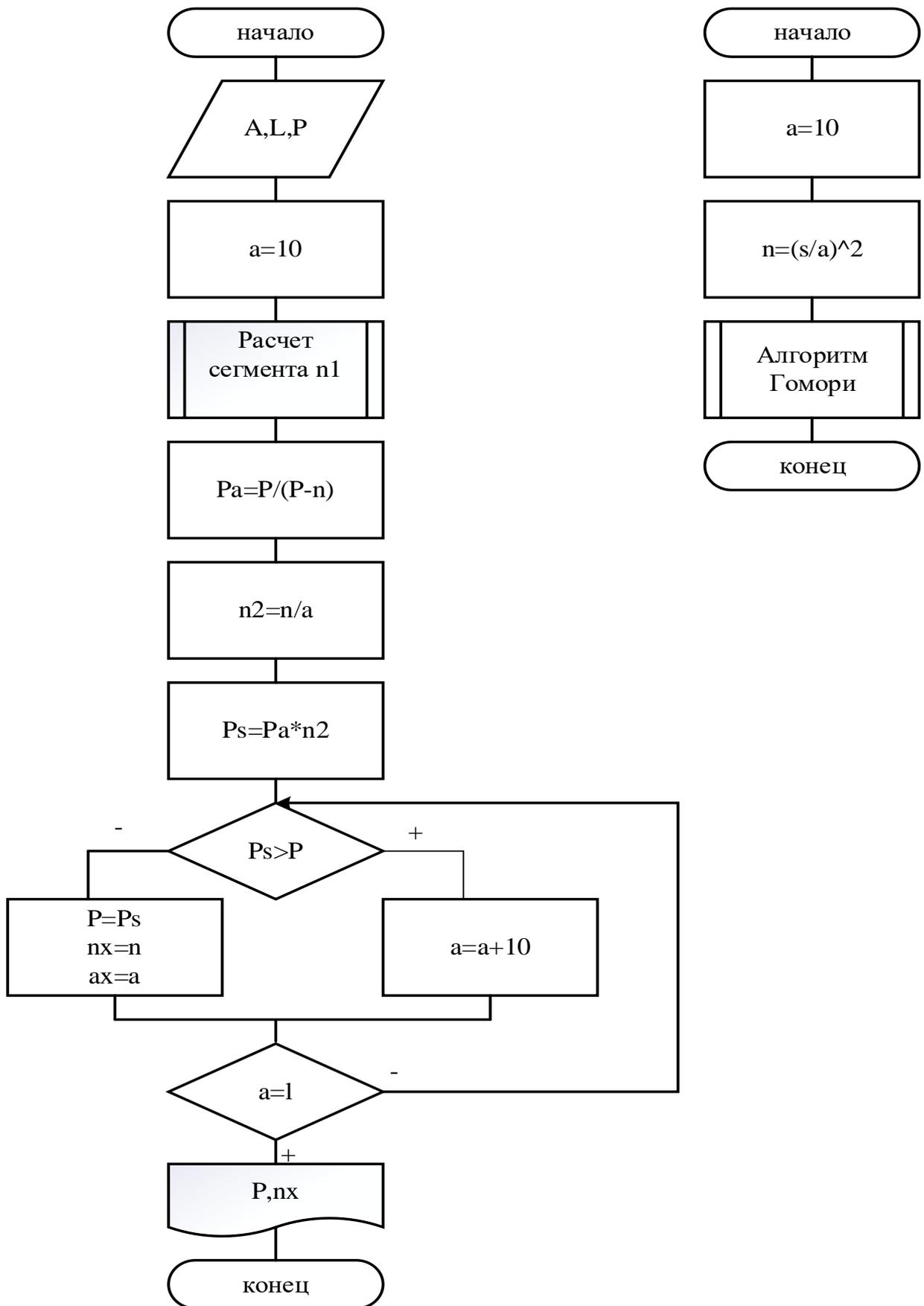


Рисунок 4.6 – Результат расчета количества сегментов первого уровня.

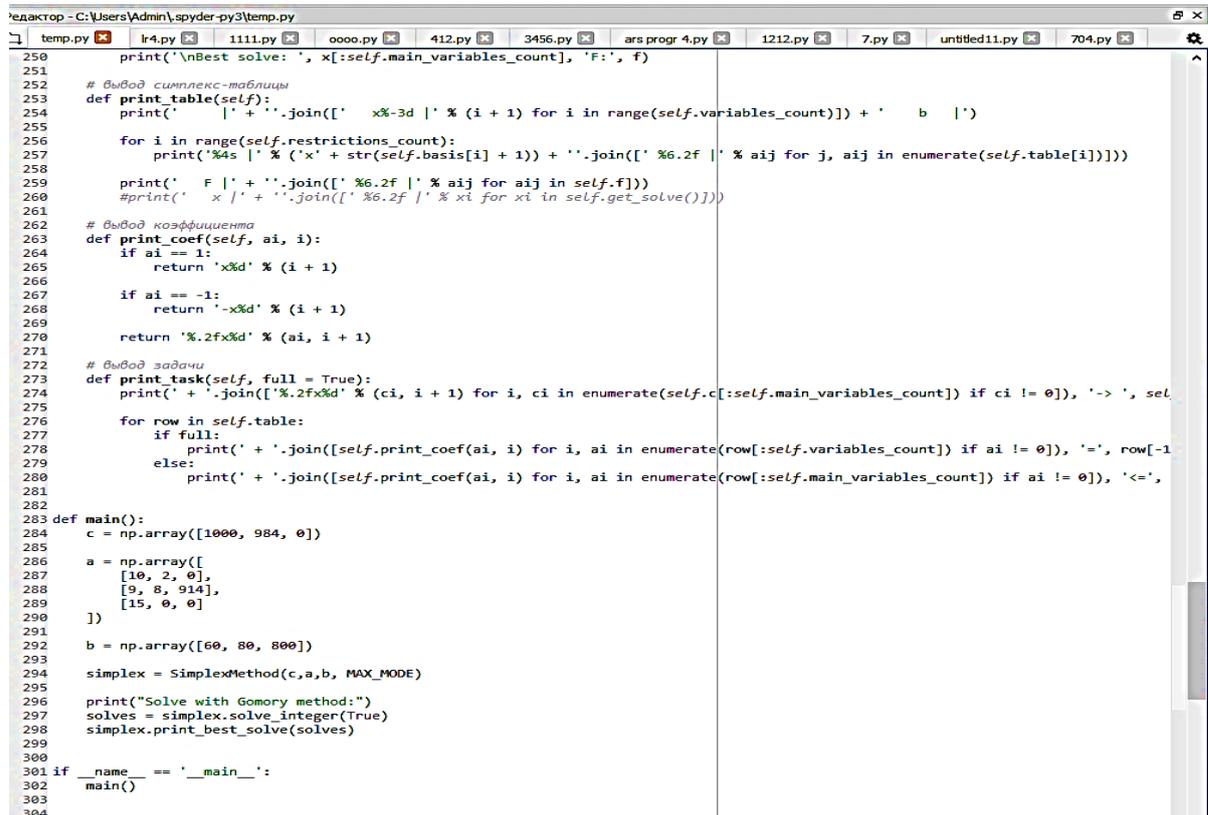
где S_0 – размер нулевого сегмента, км;

a – размер первого сегмента, км;

L_0 – максимальная дальность видимости, м;

n – число сегментов первого уровня;

P –производительность ПА ГИ в примитивах.



```

250 print('\nBest solve: ', x[:self.main_variables_count], 'F:', f)
251
252 # вывод симплекс-таблицы
253 def print_table(self):
254     print(' |' + ''.join([' x%-3d |' % (i + 1) for i in range(self.variables_count)]) + ' b |')
255
256     for i in range(self.restrictions_count):
257         print('%4s |' % ('x' + str(self.basis[i] + 1)) + ''.join([' %6.2f |' % aij for j, aij in enumerate(self.table[i])]))
258
259     print(' F |' + ''.join([' %6.2f |' % aij for aij in self.f]))
260     #print(' x |' + ''.join([' %6.2f |' % xi for xi in self.get_solve()]))
261
262 # вывод коэффициента
263 def print_coef(self, ai, i):
264     if ai == 1:
265         return 'x%d' % (i + 1)
266
267     if ai == -1:
268         return '-x%d' % (i + 1)
269
270     return '%.2fx%d' % (ai, i + 1)
271
272 # вывод задачи
273 def print_task(self, full = True):
274     print(' + '.join(['%.2fx%d' % (ci, i + 1) for i, ci in enumerate(self.c[:self.main_variables_count]) if ci != 0]), '-> ', self.f)
275
276     for row in self.table:
277         if full:
278             print(' + '.join([self.print_coef(ai, i) for i, ai in enumerate(row[:self.variables_count]) if ai != 0]), '=', row[-1])
279         else:
280             print(' + '.join([self.print_coef(ai, i) for i, ai in enumerate(row[:self.main_variables_count]) if ai != 0]), '<=', row[-1])
281
282
283 def main():
284     c = np.array([1000, 984, 0])
285
286     a = np.array([
287         [10, 2, 0],
288         [9, 8, 914],
289         [15, 0, 0]
290     ])
291
292     b = np.array([60, 80, 800])
293
294     simplex = SimplexMethod(c,a,b, MAX_MODE)
295
296     print("Solve with Gomory method:")
297     solves = simplex.solve_integer(True)
298     simplex.print_best_solve(solves)
299
300
301 if __name__ == '__main__':
302     main()
303
304

```

Рисунок 4.7 – фрагмент программы алгоритма Гомори для расчета количества сегментов первого уровня в 3D-модели района полетов

1. Определить время в каждом сегменте первого уровня (рисунок 4.7):

$$t_{об} = \frac{T}{S_0^2} \times \Delta t \quad (4.5)$$

2. Определить количество примитивов в одном сегменте, обрабатываемый за цикл режима реального времени:

$$n = \frac{(T - t_{об})}{\Delta t} \quad (4.6)$$

3. Расчет числа визуальных примитивов на всей площади модели района полета:

$$N = N_{pr} \times S_0^2 \quad (4.7)$$

где S_0 – размер нулевого сегмента, км;

T – режим реального времени, мс;

Δt – время, затраченное на обработку сегмента, мс.

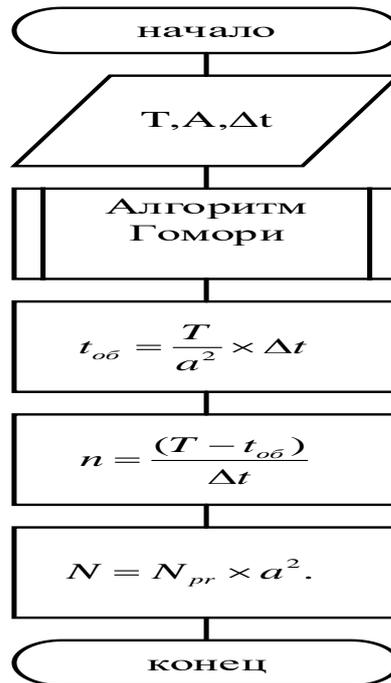


Рисунок 4.8 – Схема алгоритма нахождения визуальных примитивов по всей площади района полета

```

1 from matplotlib import pyplot as plt
2 a=int(input('введите дальность след камеры '))
3 p=int(input('введите производительность КГИ '))
4 x=int(input('введите угол камеры наблюдения '))
5 x1=[a for a in range(1,7)]
6 y1=[]
7 print(x1)
8 for n in range(1,7):
9     if n==1:
10        a==a
11     else:
12        a=a+120
13        seg=(a/x)**2
14        nsegn=n**2
15        seg1=(p-5-seg)/n**2
16        poast=(p-5-seg)
17        pobsh=poast*n**2
18        y1.append(pobsh)
19        print(a, seg, pobsh)
20 plt.plot(x1,y1)
21 plt.title("Количество")
22 plt.ylabel('y общее')
23 plt.xlabel('x нумерация')
24
25 fig = plt.figure()
26 ax = fig.add_subplot(111)
  
```

Рисунок 4.9 – Фрагмент программы для нахождения количества реперных объектов в 3D-модели района полетов

Анализ результатов вычисления по алгоритмам (4.5-4.8) показал, что распределение информационных ресурсов ПА ГИ и размера сегмента первого уровня получить максимально насыщенное изображение (рисунок 4.6, 4.8).

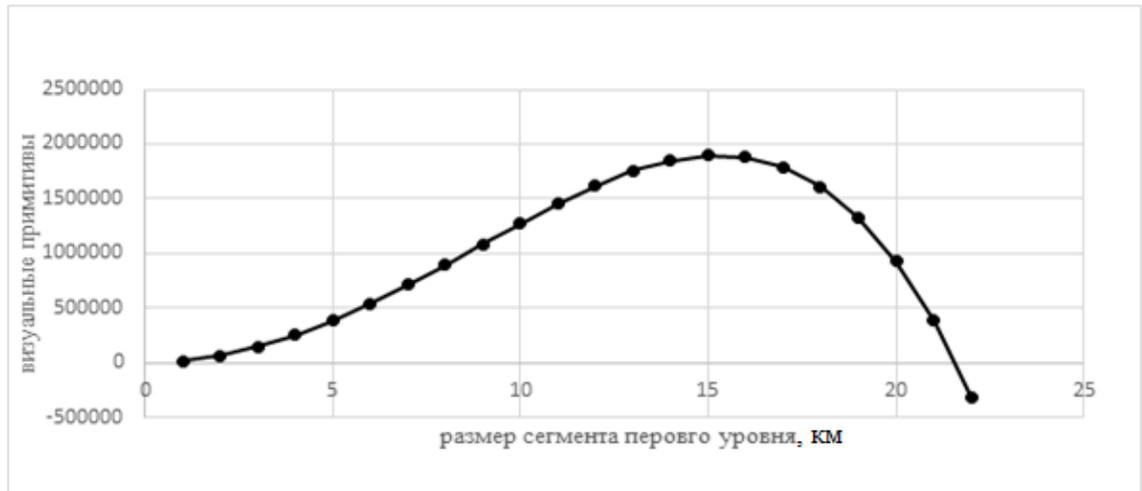


Рисунок 4.10 –Количество примитивов на сегменте первого уровня ПА ГИ «Poligon™» производительность 300000 при моделировании района полета 1500×1500 км

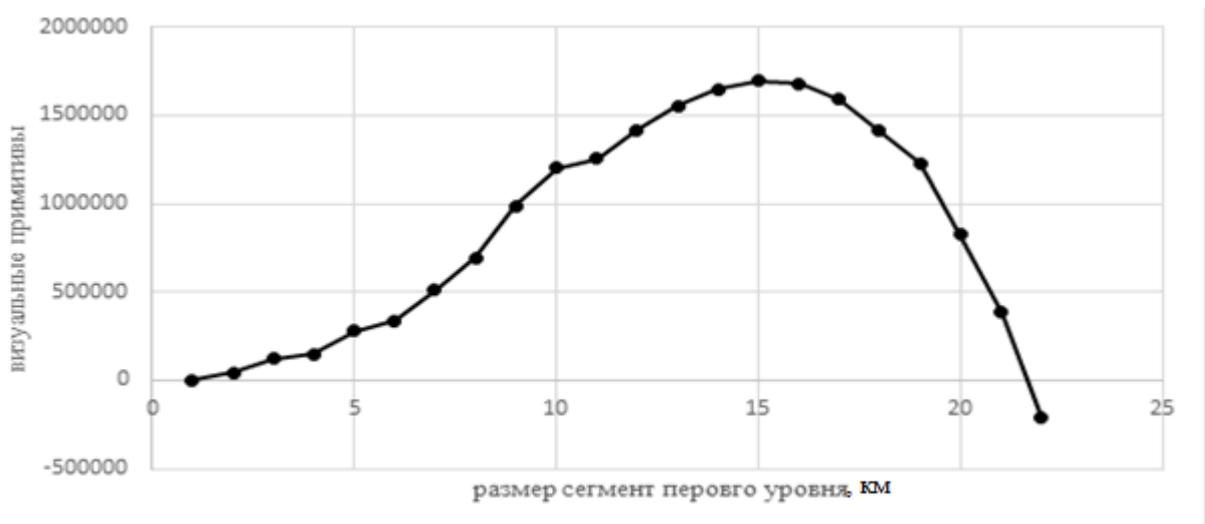


Рисунок 4.11 – Количество примитивов в сегменте первого уровня с использованием ПА ГИ «Аксай» 1000 в районе полета 1500×1500 км

Анализ графиков 4.10 и 4.11 показывает, что максимальное количество примитивов, которое могут обработать ПА ГИ “Аксай1000” и “Poligon™

300000” при моделировании района полетов размером 1500×1500 км, составляет 1 700 000 и 1 900 000 соответственно.

При рассмотрении модели района полета 400×400 км и производительности ПА ГИ «Альбатрос 30000» и ПА ГИ «Альбатрос 16000» размер сегмента и количества примитивов в первом уровне сегмента представлено в таблице 4.1

Таблица 4.1– Размер сегмента и количество примитивов

Размер сегмента	Количество примитивов: ПА ГИ «Альбатрос» производительность 30000	Количество примитивов: ПА ГИ «Альбатрос» производительность 16000
30	7,46E+09	1,13E+09
10	3,2E+10	1,99+09
15	1,95E+10	3,17+09
7,5	1,81E+10	2,74+09
3,25	4,87E+10	1,645+08
2	-6,3E+10	-1,57+10

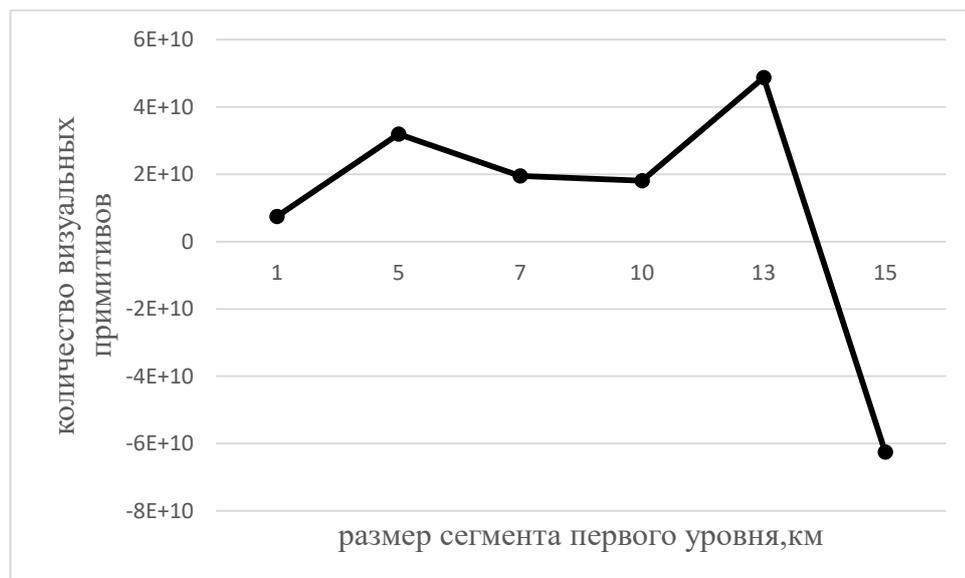


Рисунок 4.12 – Количество примитивов на сегменте первого уровня «Альбатрос» производительность 30000

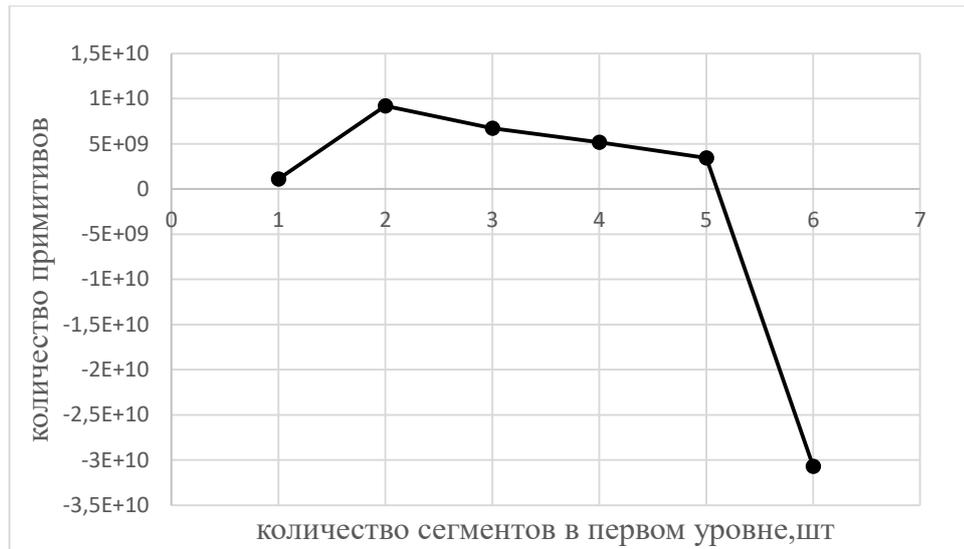


Рисунок 4.13 – Количество примитивов на сегменте первого уровня ПА GI «Альбатрос» производительность 16000.

Результаты графиков 4.12 и 4.13 показали, что в районе полета размером 400×400 км, примитивов ≈ 3000000 . Рассмотрим ПА GI «*PoligonTM*» с производительностью 300000, на модели района полетов 400×400 и 1500×1500 км.

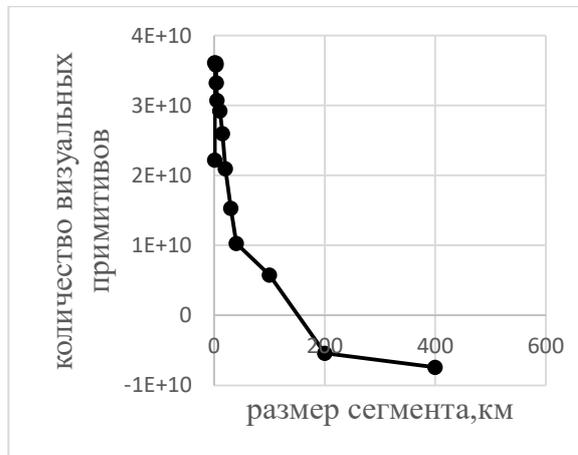


Рисунок 4.14а) ПА GI «*PoligonTM*» на размере участка района 400×400 км.

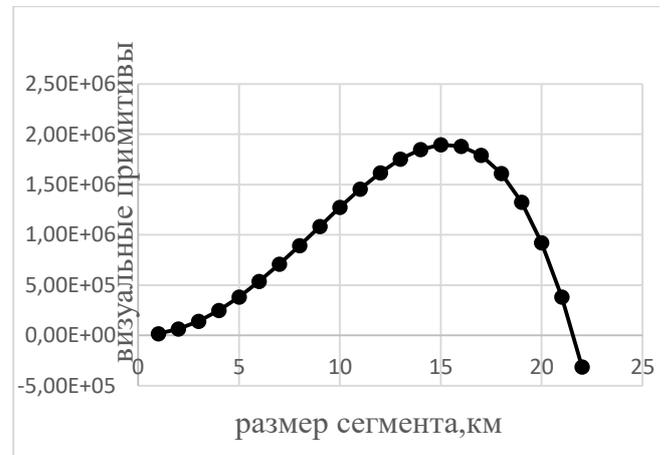


Рисунок 4.14б) ПА GI «*PoligonTM*» на размере участка района 1500×1500 км.

Результаты показали, что максимальное количество визуальных примитивов попавшие в пирамиду видимости наблюдения при полете 400×400 и 1500×1500 км при размере сегмента первого уровня 15 км. Рассмотрим

ПА ГИ «*MaxWevTM*» с производительностью 64000, на модели района полетов размером 400×400 и 1500×1500 км.

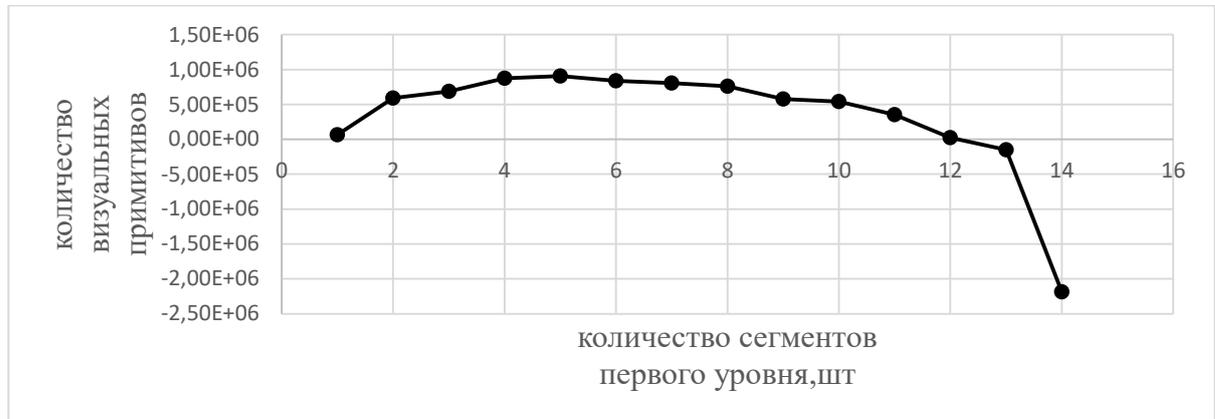


Рисунок 4.15) ПА ГИ «*MaxWevTM*» на участке района 400×400 км.

Анализ графика (рисунок 4.15) показал, что максимальное количество визуальных примитивов попавшие в пирамиду видимости наблюдения при полете 400×400 км при размере сегмента первого уровня 10 км.

Таким образом, применением алгоритма Гомори позволяет распределить все визуальные примитивы по всей площади 3D-модели района полетов.

4.3. Формирование когнитивной модели лётчика с учетом визуально наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов при тренировке на авиационном тренажере.

В результате проведенного анализа в параграфе 4.2. при распределении числа визуальных примитивов в первом сегменте первого уровня получаем максимально насыщенное изображение в 3D-модели района полетов для решения навигационных задач и повышение когнитивных функций у пилота.

Повышение профессиональной подготовки пилотов по управлению летательными аппаратами непосредственно связано с совершенствованием и активным использованием авиационных тренажеров [101]. В ходе обучения лётчики приобретают профессиональные навыки пилотирования и решают навигационные задачи, что закрепляется в соответствующих компонентах их

когнитивной модели $A_h = F_1(I_j^{(at)}, N_l)$, где $I_j^{(at)}$ - информация, поступающая от авиационных тренажеров; N_l - аналогичные ситуации на реальном летательном аппарате.

В процессе тренировки на авиационном тренажёре каждая группа имитаторов $I_j^{(AT)}$ формирует у i -го лётчика уникальные когнитивные компоненты. Лётчик воспринимает информацию, получаемую от имитаторов, как абсолютно достоверную, что отражается на формировании его когнитивной модели в зависимости от конкретной группы имитаторов $K_h = F_k(I_j^{(AT)}, U_l)$, где U_l - заданный список ситуаций.

Исследования подтверждают, что профессиональные навыки летчика $P_h(T_h^{(la)} + T_h^{(at)})$ зависят от общего налета на реальном летательном аппарате $T_h^{(la)}$ и времени тренировок на тренажере $T_h^{(at)}$, моделирующем полет на летательном аппарате того же типа в ситуациях из заданного списка U_l [103].

Синтез информации от имитаторов кабинного оборудования $I_{D_j(U_l)}^{(at)}(t_i)$ и $I_{A_j(U_l)}^{(at)}(t_i)$ с учетом восприятия $I_{O_j(U_l)}^{(at)}(t_i)$ ее летчиком на тренажере обеспечивает эффективное обучение пилотированию [17].

Современные технологии в области вычислительной техники и оптических компонентов используются для создания высокоточных имитаторов визуальной обстановки, что позволяет значительно расширить диапазон учебных ситуаций, предлагаемых авиационными тренажерами. Использование 3D-моделей реперных объектов, которые могут быть визуализированы в различных диапазонах электромагнитных волн [102грант2] и в зрительных, что даст возможность летчикам развивать и совершенствовать компоненты своей когнитивной модели с учётом времени

его полётов на авиационном тренажёре. ЛА (при этом необходимо учесть, что тепловизор может работать как минимум в двух режимах (рисунок 4.16(а, б)): «монохромный окрас наблюдаемых 3D-объектов» и «мультиспектральный окрас наблюдаемых 3D-объектов», эти изображения местности отличаются от привычного нам изображения в зрительном диапазоне электромагнитных волн (Рисунок.4.16, в).

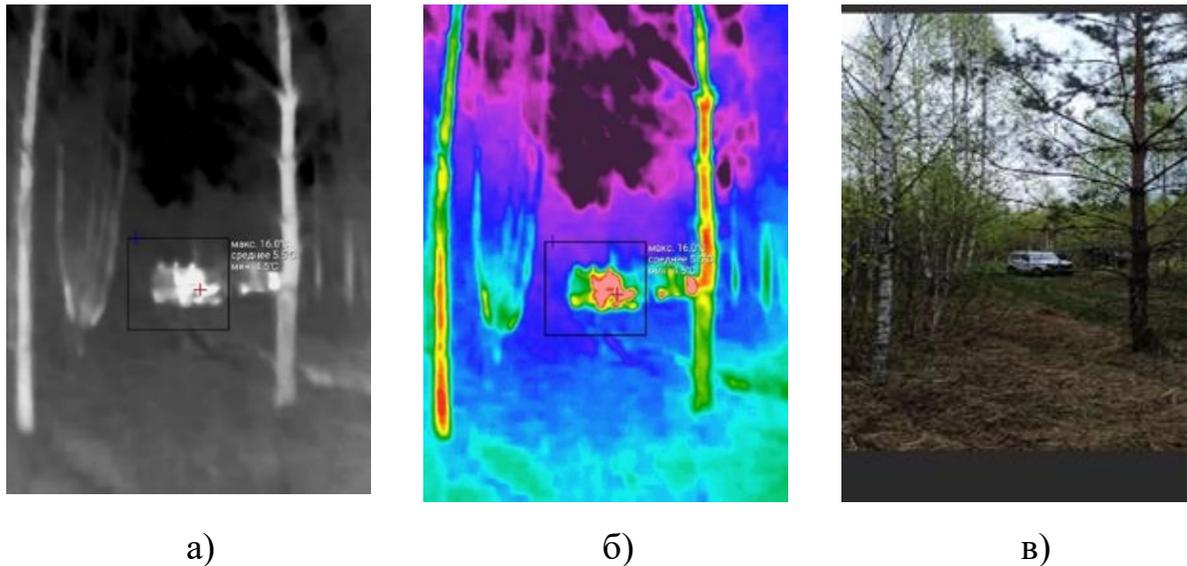


Рисунок 4.16 – Вид участка местности в тепловизоре:

а) ИК-диапазон электромагнитных волн (режим «монохромный окрас»), б) ИК-диапазоне электромагнитных волн (режим «мультиспектральный окрас»), в) в зрительном диапазоне электромагнитных волн

А так как время при полетах на АТ и ЛА равное $T_{la} = T_{at}$ должно выполняться:

$$K_h^{(V_{la})} \approx K_h^{(V_{at})}, \quad (4.8)$$

$$K_h^{(Q_{la})} \approx K_h^{(Q_{at})}, \quad (4.9)$$

$$K_h^{(R_{la})} \approx K_h^{(R_{at})}, \quad (4.10)$$

где $K_h^{(V_{la})}$ – характеристика когнитивной модели лётчика, позволяющая ориентироваться в зрительном диапазоне имитатора визуальной обстановки

ЛА; $K_h^{(V_{at})}$ – характеристика когнитивной модели лётчика, позволяющая ориентироваться в зрительном диапазоне имитатора визуальной обстановки АТ; $K_h^{(Q_{la})}$ – характеристика когнитивной модели лётчика, позволяющая ориентироваться в зрительном диапазоне имитатора тепловизора ЛА; $K_h^{(Q_{at})}$ – характеристика когнитивной модели лётчика, позволяющая ориентироваться в зрительном диапазоне имитатора тепловизора АТ; $K_h^{(R_{la})}$ – характеристика когнитивной модели лётчика, позволяющая ориентироваться в зрительном диапазоне имитатора радиолокатора ЛА; $K_h^{(R_{at})}$ – характеристика когнитивной модели лётчика, позволяющая ориентироваться в зрительном диапазоне имитатора радиолокатора АТ.

Разработчики авиационных тренажеров используют математические модели для создания реалистичной симуляции информации, которую летчик воспринимает как достоверную. Благодаря выполнению условий (4.8-4.10), летчик на тренажере получает и обрабатывает информацию через зрительный анализатор, что повышает эффективность его обучения.

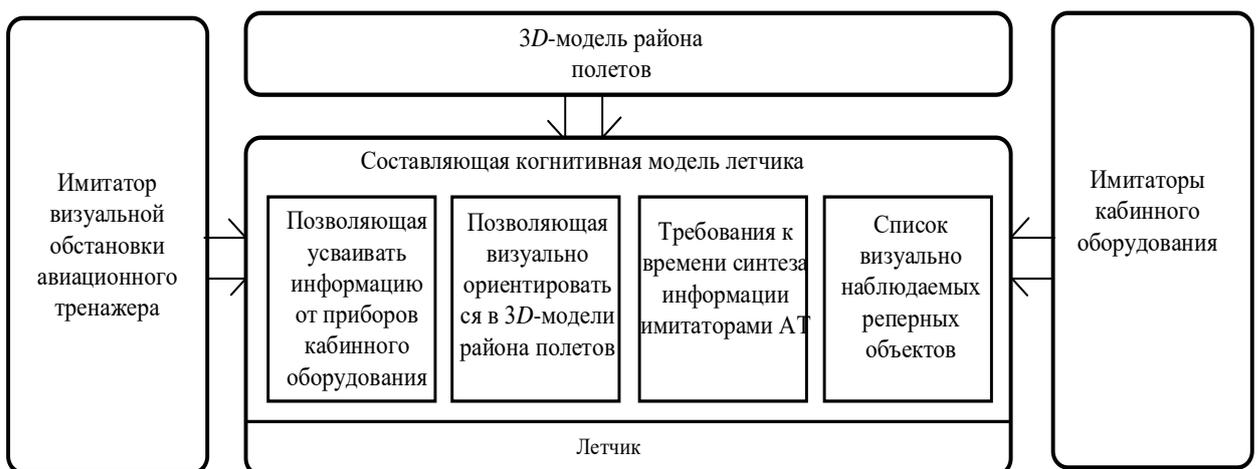


Рисунок 4.17 – Составляющие когнитивной модели летчика

Таким образом, обучение на авиационном тренажере должно способствовать развитию когнитивной модели летчика, которая дополняет и согласовывается с профессиональным опытом, полученным при реальных полетах.

4.4. Исследование программной реализации в модели района полетов

Для решения навигационных задач в АТ требуется разработка программного комплекса, реализующие предложенные методы распределения информационных ресурсов и обобщённый алгоритм деления 3D-модели района полетов. Данный комплекс позволяет выполнять деление района полетов на сегменты первого уровня с одновременным определением оптимального количества реперных объектов для всей информационной модели. Программное решение предназначено для точного расчёта и анализа максимального числа визуализируемых объектов в масштабных 3D-моделях, охватывающих территорию до 1500×1500 км, обеспечивая при этом корректное отображение навигационной обстановки за счёт интеллектуального управления вычислительными ресурсами и адаптивного регулирования уровня детализации в режиме реального времени. Ключевой особенностью разрабатываемого комплекса является его способность балансировать между производительностью системы и визуальной точностью, что особенно важно при моделировании 3D-модели района полетов.

Для расчётов используются следующие входные данные: производительность ПА ГИ, размер района полёта, величина сегмента и дальность пирамиды видимости. Программный комплекс загружает эти данные из внешнего файла, который пользователь может редактировать. В результате вычислений определяются два ключевых параметра: количество видимых примитивов в одном сегменте 3D-модели района полётов и размер сегмента первого уровня.

Программный комплекс включает следующие функции:

- Удобный ввод и корректировка данных, которые хранятся в текстовом файле и доступны через интерфейс программы.
- Возможность проводить расчёты как с текущими данными, так и с информацией, загруженной из внешнего файла.
- Визуализация параметров из итогового файла в виде графиков, отображающих их изменение во времени и в зависимости от ПА ГИ. Это наглядно демонстрирует характер распределения параметров, упрощая анализ и помогая выявлять ключевые тенденции.
- Сравнение значений параметров с использованием данных из двух файлов одновременно.
- Результаты анализа можно экспортировать в формате.xls для дальнейшего редактирования, а графики — сохранить в графическом формате для удобства использования.

Результаты расчёта сохраняются в текстовый файл с именем, заданным пользователем.

Таким образом, программный комплекс предоставляет пользователю инструменты для работы с данными, их анализа и визуализации.

Диаграмма компонентов (рисунок 4.18) демонстрирует взаимосвязь между пользовательскими интерфейсами, файлами данных (входными и выходными) и исполняемыми файлами, позволяя лучше понять структуру программы.

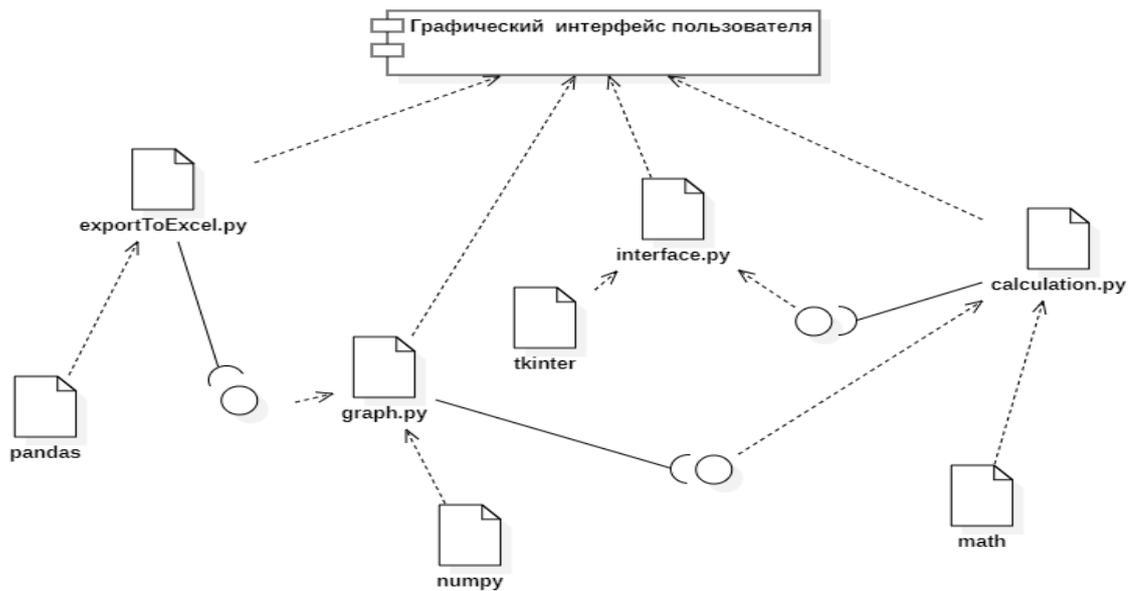


Рисунок 4.18– Диаграмма компонентов

4.5. Основные модули программной реализации «Расчет»

Программа предоставляет пользователю возможность вводить или редактировать исходные данные, выполнять расчёты, а также просматривать результаты предыдущих вычислений (при их наличии).

Поведение программы на стадии расчета иллюстрирует диаграмма деятельности (рисунок 4.19).

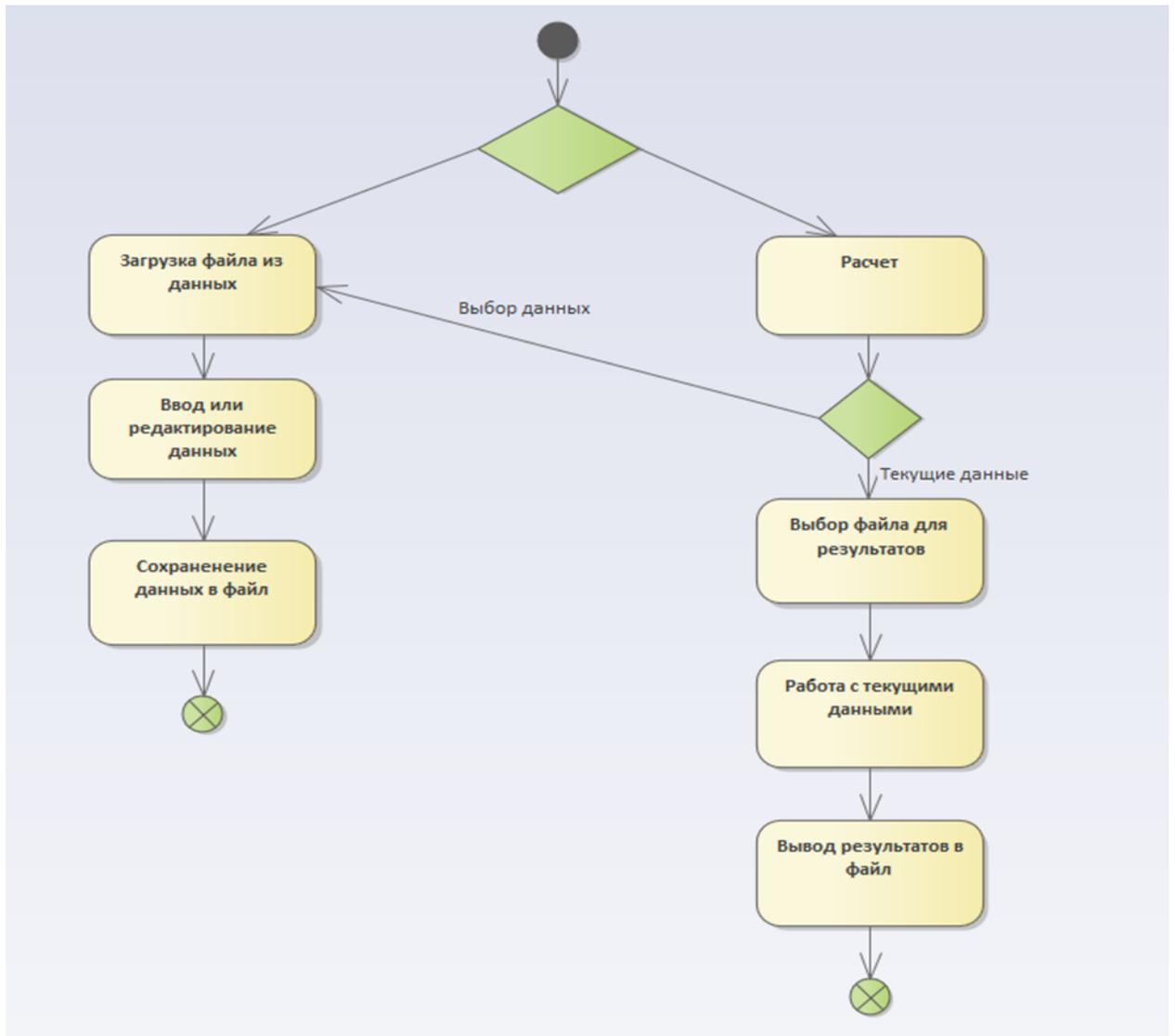


Рисунок 4.19 – Поведение программы на расчетной стадии

Программный комплекс оснащён понятным интерфейсом, который позволяет работать с данными: вводить, корректировать и проверять их на соответствие требуемым параметрам. Все результаты вычислений сохраняются в исходный файл, откуда были загружены входные данные, что обеспечивает удобство и прозрачность работы с информацией.

Расчет выполняется с помощью методами оптимизации алгоритмом Гомори по формулам (3.9-3.11). Для каждого полученного варианта рассчитываются характеристики с использованием данных, полученных по формуле (3.11-3.16) и с помощью целевой функции (3.9). В программном продукте учтены следующие этапы деления 3D-модели района полета: производительность ПА ГИ, время обработки на сегмент первого уровня,

заданный район полета. Для каждой производительности ПА ГИ и размером сегмента, программа рассчитывает количество примитивов, на основе которых, находим в каком сегменте получается максимальное количество визуальных примитивов.

Расчет

Введите дальность пирамиды видимости: 60

Введите производительность КГИ: 1000

Введите угол камеры: 20

Введите размер первого сегмента: 15

Введите максимальный модель района полета: 400

Массив x1 [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Массив y1 [986.0, 3656.0, 6930.0, 8864.0, 6650.0, -3384.0]

Расчет Очистить Открыть

Рисунок 4.20 – Экранная форма для редактирования и расчета данных

На рисунке 4.21 – 4.22 представлены ввод выводы результатов в виде массива и графика.

```

Менеджер переменных  Файловый менеджер  Справка  Статический анализ кода
Консоль IPython
Консоль I/A
Populating the interactive namespace from numpy and matplotlib
In [1]: runfile('E:/дисер_К0А/untitled0.py', wdir='E:/дисер_К0А')
введите дальность след камеры 60
введите производительность КГИ 1000
введите угол камеры наблюдения 20
[1, 2, 3, 4, 5, 6]
60 9.0 86.0
180 81.0 56.0
300 225.0 -1170.0
420 441.0 -5536.0
540 729.0 -15850.0
660 1089.0 -35784.0
In [2]:

```

Рисунок 4. 21 – Ввод и вывод информации информационных ресурсов

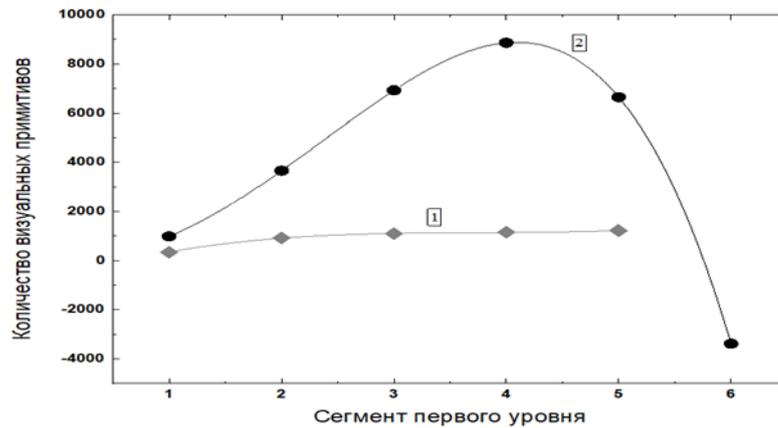


Рисунок 4.22 – Графическое представление информационных ресурсов

Программный комплекс позволяет экспортировать результаты анализа в формате .xls для дальнейшего редактирования и в графическом формате для сохранения графиков. На рисунке 4.23 приведен пример экспорта данных.

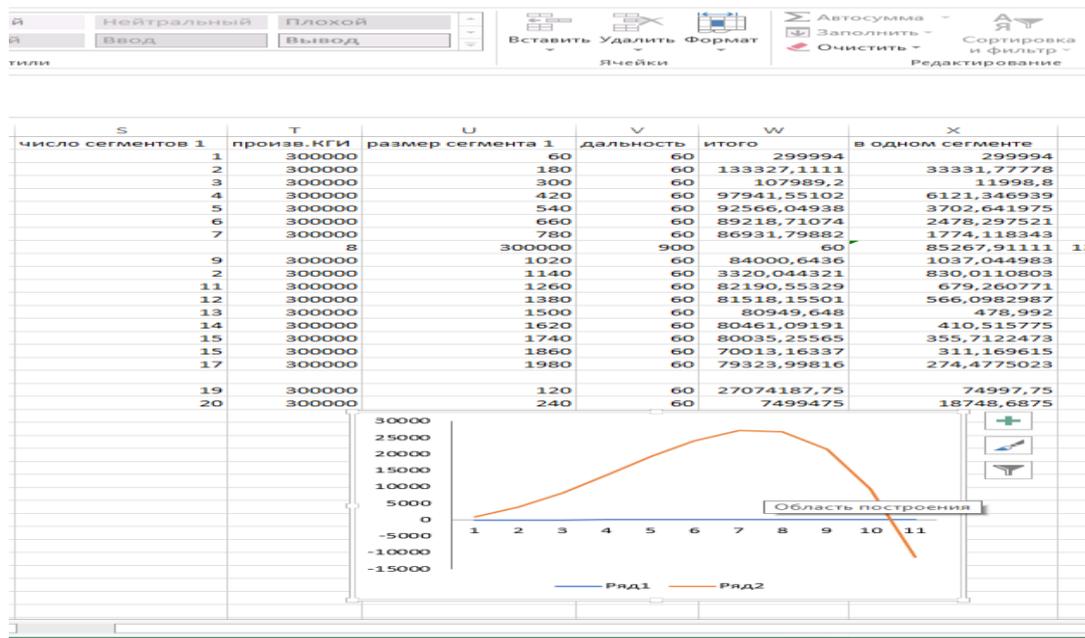


Рисунок 4.23 – Результат экспорта данных в файл формата xls

Таким образом, показан вычислительный эксперимент расчета максимально визуальных примитивов в заданном 3D-районе полетов с использованием разработанного программного комплекса и оценена адекватность предложенного целочисленного алгоритма.

4.6. Экспериментальная проверка эффективности распределения визуальных примитивов в модели района полетов

Как показано в третьей главе, синтез данных о визуально наблюдаемых 3D-моделях реперных объектов, расположенных вокруг 3D-модели ВПП, рассматривался в пределах района полетов не более 15×15 км. В настоящее время распределение информационных ресурсов ПА ГИ для создания 3D-модели района полетов задается размерами от 400×400 до 1500×1500 км.

Таблица 4.2-4.4 содержит сравнительный анализ параметров нулевого сегмента и сегментов первого уровня $(S_9^{(1)} \text{ и } S_p^{(1)})$, полученных экспериментальным путем и с помощью расчета, а также данные о производительности ПА ГИ.

Таблица 4.2 – Количество примитивов в районе полета 15×15 км

Производительность ПА ГИ	Размер района полета, км	Размер сегмента	Максимальное число примитивов $(S_9^{(1)})$
64000	15×15	15	933750000
64000	15×15	10	540000000
64000	15×15	7.5	240000000
64000	15×15	5	-2,3E+09
64000	15×15	3.25	-2,2E+10
64000	15×15	1	-4,9E+12

Таблица 4.3 – Количество примитивов в районе полета 400×400 км

Производительность ПА ГИ	Размер района полета, км	Размер сегмента	Максимальное число примитивов $\left(S_p^{(1)}\right)$
64000	400×40	15	25440000
64000	400×40	10	173953580,2
64000	400×40	7.5	740007702,8
64000	400×40	5	307393156,9
64000	400×40	3.25	307393156,9
64000	400×40	1	-15360000000

Таблица 4.4 – Количество примитивов в районе полета 1500×1500 км

Производительность ПА ГИ	Размер района полета, км	Размер сегмента	Максимальное число примитивов
64000	1500×1500	15	63999
64000	1500×1500	10	143994,9375
64000	1500×1500	7.5	255984
64000	1500×1500	5	575919
64000	1500×1500	3.25	1362859,844
64000	1500×1500	1	14349375

На рисунках 4.24 и 4.25 показаны графики распределение визуальных примитивов в зависимости от района полета и производительности ПА ГИ «MaxWeuTM» 64000 примитивов.

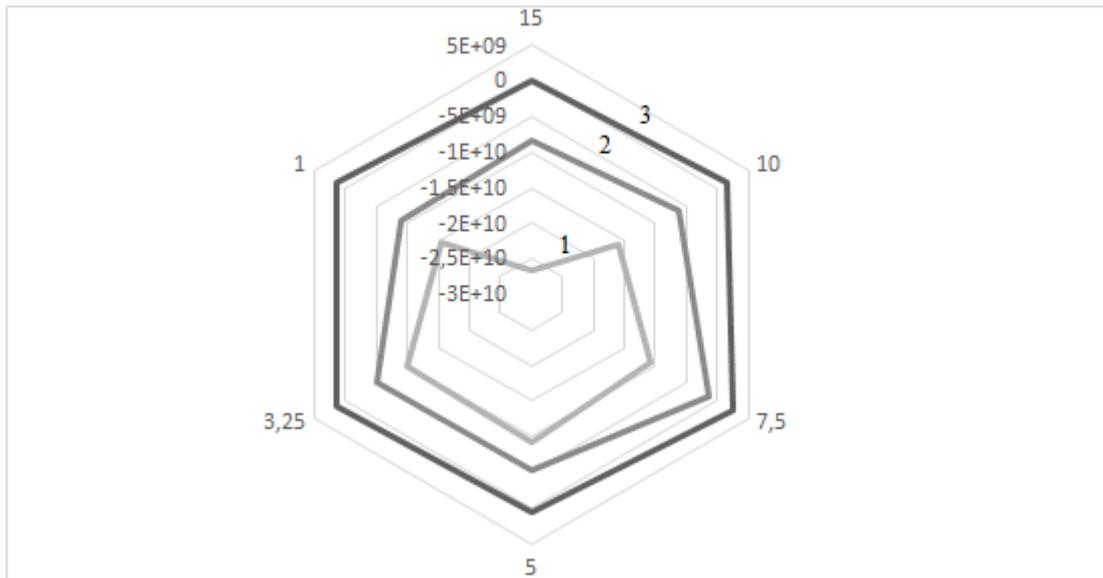


Рисунок 4.24 – Результаты исследования ПА ГИ «*MaxWeuTM*» для распределение визуальных примитивов в 3D-модели района полета:
1– 15×15км, 2 –400×400км, 3 –1500×1500км

Проведено сравнение результатов эффективности разработанного программного решения с классическим подходом к моделированию района полётов площадью 15×15 км в сложных метеоусловиях (сплошная облачность) и при полётах над слабо выраженным рельефом с минимальным количеством визуальных ориентиров (рисунок 4.23).

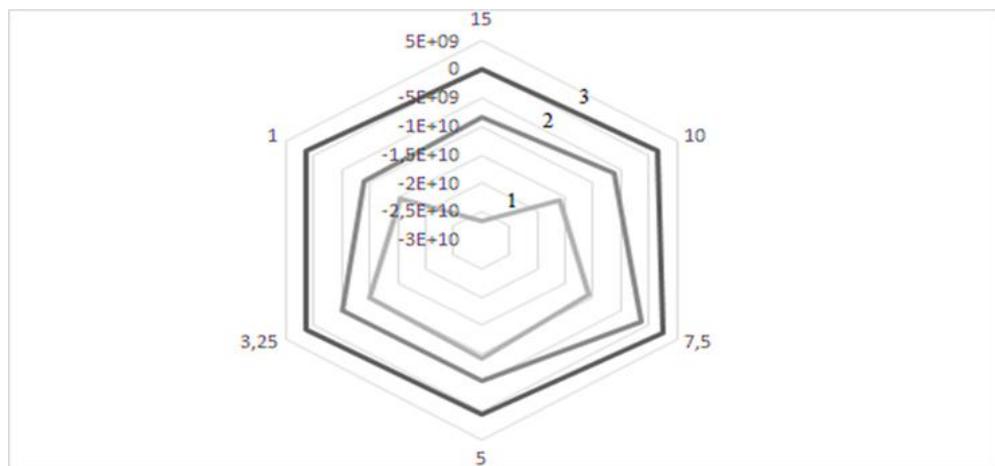


Рисунок 4.25 – Результаты исследования ПА ГИ «*PoligonTM 300000*» для распределение визуальных примитивов в 3D-модели района полетов:
1 – 15×15км, 2 – 400×400км, 3 – 1500×1500км

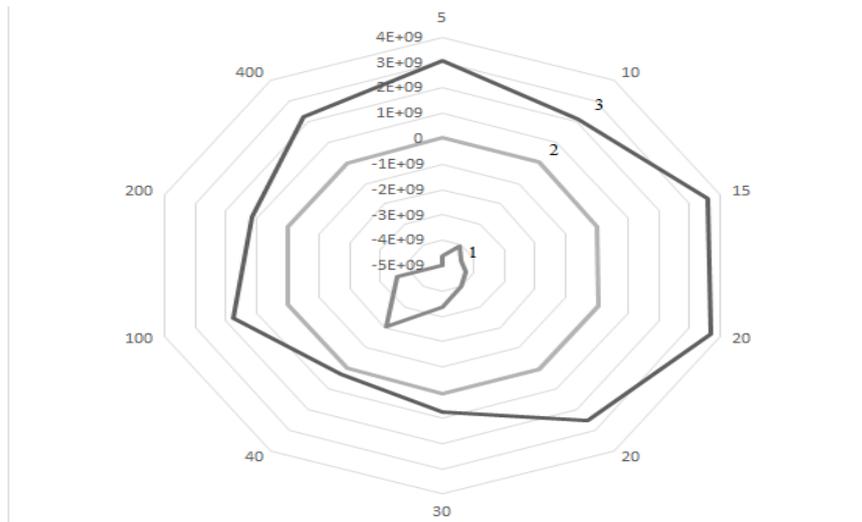


Рисунок 4.26 – Результаты исследования ПА ГИ «Аксай1000» для распределение визуальных примитивов в 3D-модели района полетов:
1 – 15×15км; 2 – 400×400км; 3 – 1500×1500км

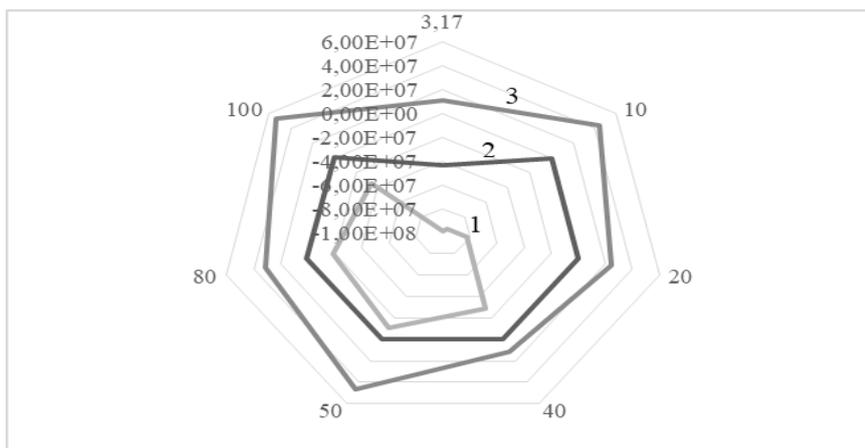


Рисунок 4.27– Видимые примитивы в сегментах ПА ГИ «Альбатрос16000» в районе полетов:1 – 15×15, 2– 400×400, 3 – 1500×1500км

Исследование показало, что при использовании ПА ГИ «Аксай1000» (рисунок 4.26) для модели района полётов размером 15×15 км нет необходимости делить район на сегменты. Производительности ПА ГИ достаточно, чтобы охватить всю модель района, при этом количество видимых примитивов составляет 900000. При использовании ПА ГИ «Альбатрос16000» (рисунок 4.27) общее число примитивов, размещённое в модели района полётов 400×400 км – 1 200 000, что превышает на 60 000 от первоначального

количества. При размере района полётов 1500×1500 км общее число примитивов составляет 2 480 000. При использовании ПА ГИ «*PoligonTM 300000*» (рисунок 4.25) общее число примитивов, размещённое в модели района полётов 400×400 км, – 2 300 000. При размере района полётов 1500×1500 км общее число примитивов составляет 4 000 000.

Анализ расчетов, представленных на рисунках 4.24-4.27, показывает их соответствие теоретическим представлениям и экспериментальным данным, что подтверждает корректность применения теоретического подхода к изучению деления *3D*-модели района полетов на сегменты первого уровня.

Полученные экспериментальные данные и результаты численного моделирования показывают статистически значимую сходимость с максимальным расхождением, не превышающим 3%, что подтверждает корректность предложенного алгоритма целочисленного программирования и обосновывает его практическую применимость

4.7 Результаты и выводы по главе 4

1. Для обучения навигационных задач моделируют район полетов площадью не менее 400×400 км, позволяя воспроизводить реальные условия выполнения полетных заданий.

2. Результаты проведенных расчетов и экспериментов позволяют определить оптимальное решение для процесса деления 3D-модели района полетов на сегменты первого уровня и установить количество визуальных примитивов.

3. В ходе вычислительного эксперимента, реализованного с применением разработанного программного комплекса, было выполнено определение предельного количества визуальных примитивов в заданном трехмерном районе полетов. Полученные результаты подтвердили эффективность выбранного метода оптимизации для оптимального распределения ресурсов программно-аппаратного генератора изображений. Установлено, что при сохранении заданных характеристик производительности ПА ГИ предложенный метод обеспечивает возможность качественного решения навигационных задач при любых направлениях полета на АТ, гарантируя стабильность визуального отображения и соответствие требованиям реального времени.

4. Методика разработки информационной 3D-модели визуально наблюдаемого виртуального пространства (размером от 400×400 км до 1500×1500 км) в зрительном диапазоне электромагнитного излучения с разбивкой на сегменты первого уровня оптимального размера, рассчитанные по разработанной программе «Расчет», реализующей алгоритм Гомори, что позволяет распределять 3D-модели реперных объектов по всей 3D-модели района полетов, ресурсы мультипроцессорных систем компьютерного синтеза в режиме реального времени изображений, которые входят в состав имитаторов визуальной обстановки авиации и обеспечивают возможность наблюдать при полетах в любом направлении максимально возможное число

3D-моделей реперных объектов, необходимых для решения навигационных задач.

6. Программная реализация обобщенного алгоритма деления информационной 3D-модели района полетов на одинаковые сегменты первого уровня отличается тем, что за основу взята необходимость расчёта оптимального размера квадрата сегмента первого уровня и времени его обработки, что позволяет при известном времени обработать любой примитив для решение навигационных задач заданной Заказчиком учебной ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы проведены исследования и разработаны методы, методика и алгоритмы деления *3D*-района полетов общим размером до 1500×1500 км на сегменты первого уровня, в которых размещаются *3D*-модели реперных объектов.

Разработано актуальное научное решение для методов и алгоритмов распределения информационных ресурсов в мультипроцессорных программно-аппаратных системах. На основании этого сделаны следующие

ВЫВОДЫ:

1. Разработанный метод распределения информационных ресурсов ПА ГИ позволил рассчитать время обработки каждого сегмента первого уровня, на который делится *3D*-модель района полётов и определить максимальное количество разных *3D*-моделей реперных объектов, размещаемых в рассматриваемом сегменте первого уровня.

2. Анализ возможных методов распределения ресурсов программно-аппаратных генераторов изображения, учитывающего деление *3D*-модели района полетов на сегменты первого уровня заданного размера, показал, что данные методы относятся к задачам теории оптимизации. Для решения поставленной задачи целесообразно использовать алгоритм Гомори, так как его применение позволяет оптимально распределять информационные ресурсы ПА ГИ и получать результат за минимальное время.

3. Разработанный метод формирования структуры базы данных ПА ГИ в режиме реального времени позволяет исключить сегменты первого уровня, не попадающие в область видимости пирамиды.

4. На основе метода формирования структуры базы данных ПА ГИ разработана методика расчёта ресурсов ПА ГИ, позволяющая применять методы теории оптимизации и увеличивать количество обрабатываемых примитивов в 7,5 раза для всей *3D*-модели района полётов размером не менее 400×400 км.

5. На основе методики описания распределения ресурсов ПА ГИ разработан обобщённый алгоритм, который делит 3D-модель района полётов на сегменты первого уровня, позволяет определять их оптимальные размеры и сокращает время обработки этих сегментов на 12% по сравнению с известным аналогом

6. Апробация программы, реализующей алгоритм Гомори, с учётом заданной производительности, размера 3D-модели района полётов и дальности видимости позволила установить оптимальный размер сегментов модели — 10 км, а также определить, что время обработки размещённых в них примитивов составило 65 мс.

6. Результаты данной работы использованы в ходе исследований, проведенных при поддержке грантов: РФФ № 23-21-10046, <https://rscf.ru/project/23-21-10046/> ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»; АО «НПП «Рубин», г. Пенза для формирования оперативной 3D-обстановки в тренажерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шукшунов, В.Е. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов/ Под ред. В. Е. Шукшунова // М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
2. Лапшин, Э.В. Авиационные тренажеры модульной архитектуры. Монография/ Э.В. Лапшин [и др.]; под ред. Э.В. Лапшина, А.М. Данилова// М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Пенз. гос. ун-т. – Пенза, 2005. – 145 с.
3. Меерович, Г. Ш. Авиационные тренажеры и безопасность полетов / Г.Ш. Меерович, А.И. Годунов, О.К. Ермолин. Под ред. Г. Ш. Мееровича // М.: Воздушный транспорт, 1990. –343 с
4. Марчук, В.И. Задачи моделирования района полетов для авиационных тренажеров и операторов беспилотных летательных аппаратов. / В.И. Марчук, Т.А. Глебова, О.А. Кувшинова, Н. Есимова //Надежность и качество сложных систем. – 2021. – №3(35). – С.80–86.
5. Роганов, В.Р. Некоторые аспекты восприятия виртуального пространства, получаемого с помощью имитатора визуальной обстановки// Международная конференция "Морские обучающие тренажеры". 25-27 мая 1999 г. Тезисы докладов. Санкт-Петербург. ГМА им. адм. С. О. Макарова, 1999. – С.56-58.
6. ГОСТ Р 57259-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Тренажеры авиационные. Термины и определения. Дата введения 2017-06-01. М.: Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2018. – 15 с.
7. Бодрунов, С.Д. Авиационное тренажеростроение в России, история, современное состояние, перспективы развития // Тренажерные технологии и симуляторы: Сборник докладов конференции. – С-Петербург, 2002. – С.4-12.
8. Роганов, В.Р. Комплексная организация системы формирования информационного обеспечения авиационного тренажёра // Современные информационные технологии. – 2017. – № 26. – С.576-6.

9. Роганов, В.Р. Особенности применения машинной графики в реальном масштабе времени в тренажерах // В кн. Графикон' 92. Сборник трудов международной конференции. М.: АН СССР, 1992. – С. 41-43.

10. Roganov, V. Integrated Organization of the System for Forming the Information Support of Aeronautical Simulator / V.R. Roganov, A.B. Sagyndyk, R.F. Akhtarieva, A.K. Beisenbayeva, S.I. Sannikov// International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 15 (2017) pp. 5207-5213 Research India Publications. <http://www.ripublication.com>.

11. Асмолова, Е.А. К задаче синтеза для авиационного тренажёра 3D-моделей района полётов, видимых в зрительном диапазоне световых волн и в ИК-диапазоне / Е.А. Асмолова, Н.С. Есимова, Р.П. Шиповский, М.С. Хитрова // В сборнике: Fundamental science and technology: Материалы X Международной научно-практической конференции. –Уфа, 2022. – С. 161-165.

12. Прохоров А. Многоликая виртуальная реальность // Компьютер-пресс. – 2000. – №8. – С. 9–15.

13. Azuma Ronald, Neely Howard, Daily Michael, Geiss Ryan Visualisation tools for free flight air-traffic management// IEEE Comput.Graph. and Appl. 2000, 20, №5. – pp. 32–36.

14. Арнхейм, Р. Искусство и визуальное восприятие //БГК им И.А. Бодуэна де Куртенэ. – 2000. – 393 с.

15 Гришина, Ю.С. Расширение списка задач обучения летчиков при полетах на авиационных тренажерах / Ю.С. Гришина, В.Р. Роганов // В сборнике: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: материалы III межрегиональной научно-практической конференции. Научный редактор Б.В. Соколов. – 2017. – С.135-137.

16. Роганов, В. Р. Общие принципы построения полунатурных тренажеров// Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров: Сб. матер. межд. науч.-техн. конференции. – Пенза, 2002. – С. 141-143.

17. Прошин, И.А. Тренажер вертолета с имитацией посадки на взволнованную водную поверхность/ И.А. Прошин, В.М. Тимаков, В.Н. Прошкин// Мехатроника, автоматизация, управление. – 2009. – № 9. – С. 65-69.

18. Красовский, А. А. Основы теории авиационных тренажеров // М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.

19. Мамаев, В.Я. Воздушная навигация и элементы самолётовождения: Учеб. Пособие/В.Я. Мамаев, А.Н. Синяков, К.К. Петров, Д.А. Горбунов// СПбГУАП. СПб., 2002. – 256 с.

20. Красовский, А. А. Авиационные тренажеры / А. А. Красовский, В. И. Лопатин и др.// М.: Изд-во ВВИА им.: Жуковского, 1992. – 320 с.

21. Овчинникова, Ю.С. Современные авиационные тренажеры как методологический и дидактический базис сквозной непрерывной подготовки авиационных специалистов. основные проблемы реализации и пути их решения/ Ю.С. Овчинникова, А.П. Григорьев, С.Г. Бурлуцкий // В сборнике: Научная сессия ГУАП Сборник докладов. 2019. – С. 104-113.

22. Roganov, V. Flight simulator information support/ V.R. Roganov, E.V. Roganova, M.J. Micheev, , T.V. Zhashkova, O.A. Kuvshinova, S.M. Gushchin// in View Correspondence (jump link) Defence S and T Technical Bulletin Volume 11, Issue 1, 2018, – pp. 90-98.

23. Овечкис, Ю.Н. Методы и средства формирования объемных изображений в обучающих системах: специальность 01.04.05 «Оптика»: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/ Ю.Н. Овечкис; Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений. – Москва, 2006. – 260 с.

24. Пащенко, Д. В. Радиолокация в современной авиации / Пащенко Д. В., Мерзляков Ю. В // Информационные системы и технологии (ИСТ 2023): труды научно-технической конференции с международным участием. – Самара, 2023. – С. 65-74.

25. Бегичев, Ю.И. Концепция построения учебно-тренировочных средств для эргономического сопровождения разработки и создания

эргодического информационно-управляющего комплекса многоцелевых беспилотных летательных аппаратов /Ю.И. Бегичев, А.В. Пономаренко, Л.О Котицын, М.М. Сильвестров, В.А. Чернышов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 5. – С.71-77.

26. Годунов, А.Н. Особенности моделирования отдельных подсистем авиационного тренажера/ А.Н. Годунов, В.Р. Роганов // В кн. Материалы V Всерос. научно-технич. конф. "Повышение эффективности методов и средств обработки информации". Тамбов, Тамбов. высш. воен. авиацион. инж. училище, 1997. – С. 218-220.

27. Роганов, В.Р. Особенности имитаторов авиационного тренажёра, синтезирующих для лётчика 3D-модели окружающего пространства в разном диапазоне световых волн / В.Р. Роганов, О.А. Кувшинова, А.Л. Ахмед, Х. Абдулвахаб // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2023. – Т. 2. – С. 75-78.

28. Коваленко, П. А. Пространственная ориентировка пилотов (психологические особенности) // М.: Транспорт, 1989. – 230 с.

29. Роганов, В.Р. Расширение списка задач обучения на авиационном тренажере при полётах в режиме постоянной видимости земли / В.Р. Роганов, В.О. Филиппенко, Е.А. Асмолова, М.Ю. Михеев // Современные информационные технологии. – 2016. – № 24. – С. 49–55.

30. Роганов, В.Р. Организация визуальных баз данных и управление компьютерными генераторами изображений имитаторов визуальной обстановки тренажеров: Специальность 05.13.01 - "Управление в технических системах: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Роганов Владимир Робертович; Пензенский государственный университет. – Пенза,1995. – 17 с.

31. Долговесов, Б.С. Модернизация системы обработки и отображения визуальной информации для эффективного контроля и управления тренировочным процессом в условиях расширенного информационного

потока / Б.С. Долговесов, Б.С. Мазурок, В.И. Брагин // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 3 (40). – С. 61–65.

32. Долговесов, Б.С. Отображение графической и буквенно-цифровой информации в системах графического взаимодействия человека с ЭВМ / Долговесов Б.С., Ковалев А.М., Лубков А.А., Обертышев К.Ф. // Автометрия. – 1971. – № 4. – С. 33-39.

33. Саниев, К.Б. Распознавание априорно неопределённых сцен и объектов посредством параметрического анализа визуальных примитивов изображений / К.Б. Саниев // Техника средств связи. Серия: Техника телевидения. – 2013. – № 1. – С. 152-156

34 http://simulator.ua/files/pdf/de_04-06.pdf (дата обращения 15.08.2023)

35. Генератор изображений. Богомяков А.И., Вяткин С.И., Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Рожков А.Ф., Тиссен Ю.Э., Унру П.И. // Авторское свидетельство SU 1522240 A1, 15.11.1989. Заявка № 4449655 от 21.07.1988.

36. Роганов, В.Р. Управление ресурсами специализированной системы синтеза изображения района полетов для авиационного тренажера. В.Р. Роганов, М. Ю. Михеев // Авиакосмическое приборостроение. – 2023. – № 3. – С. 48-60.

37. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. // – Физматгиз, 1960. – 659 с.

38. Фадеев Д. К., Фадеева В. Н. Вычислительные методы линейной алгебры. М.: Физматгиз, 1960. – 656 с

39. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи. Принципы. Методология. М; Наука, 1980. – 287 с.

40. Левин В. И. Моделирование комбинаторных задач с помощью непрерывной логики // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естеств. и техн. науки. – 2017. – Т. 22, вып. 2. – С. 439-448.

41. Черчмен У. Введение в исследование операций/ У. Черчмен, Р. Акоф, Л. Арноф. Перевод с английского. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1967. – 488 с.

42. Методы оптимизации. В 2 ч. Ч. 1: учеб. пособие / А. А. Мицель, А. А. Шелестов, В. В. Романенко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 350 с.

43. Тое Вэй Тун. Модели и алгоритмы определения приоритетного направления движения воздушного судна по заданным маршрутам: диссертация кандидата технических наук: 05.13.01 – МАИ, Москва, 2016. – 122 с.

44. Потапов А. А., Рыскин А. Г. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с. Pentland A. P. Fractal-Based Description of Natural Scenes // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1984. – Vol. PAMI-6, no. 6. – P. 661–674

45. Беленький, А.С. Иерархические алгоритмы сегментации изображений // Информационные процессы. – 2005. – Т. 5, № 1. – С. 43–78.

46. Garcia-Garcia, A., Ortega-Silva C., Oprea S. et al. A Review on Deep Learning Techniques Applied to Semantic Segmentation // arxiv preprint [Electronic resource]. – 2017. – Access mode: <https://arxiv.org/abs/1704.06857> (date of access: 25.01.2026). – DOI: 10.48550/arXiv.1704.06857

47. https://habr.com/ru/companies/data_light (дата обращения 22.01.2026)

48. Burt, P. J., Adelson E. H. The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code // IEEE Transactions on Communications. 1983. Vol. 31, no. 4. P. 532–540

49. Lowe, G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints / G. Lowe // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60. – P. 91–110.

50. Четвергова, М.В. Особенности формирования 3D-изображения для тренажёрных систем / Четвергова М.В., Гудкова Е.А., Крохин И.А., Савочкин А.Е. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. –Т. 12. № 2 (62). –С. 20-25.

51. <https://gagaru.club/999-krasivaja-vzletnaja-polosa.html> (дата обращения 26.03.2024).

52. Шукшунов, В. Е. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / под ред. В. Е. Шукшунова – Москва: [б.и.], 2005. – 384 с.

53. Роганов, В.Р. Особенности применения машинной графики в реальном масштабе времени в тренажерах // В кн. Графикон' 92. Сборник трудов международной конференции. М.: АН СССР, 1992. – С. 41-43.

54. Роганов, В.Р. Анализ индикаторных систем визуализации трёхмерных визуально наблюдаемых моделей / В.Р. Роганов, Э.В. Роганова // Системы управления и профессиональная подготовка операторов. - Пенза: ПГУ, 2008. – С. 72-76.

55. Роганов, В.Р. К вопросу о производительности компьютерных генераторов изображения и разрешающей способности устройств индикации имитатора визуальной обстановки/ В.Р. Роганов, С.М. Роганова, Э.В. Роганова // В кн.: Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров. Сб. матер. межд. науч.-техн. конф. Пенза, 2004. – С.32-35.

56. Прохновский, М.А. Интегральная визуализация при формировании объемных изображений в условиях естественного освещения / М.А. Прохновский, И.И. Сальников; под редакцией И.И. Сальникова // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XVII Всероссийской научно-технической конференции, 2019. - С. 43-46.

57. Роганов, В.Р. Имитаторы визуальной обстановки для тренажеров подготовки водителей транспортных средств / В.Р. Роганов, М.Ю. Михеев, Е.А. Асмолова, Т.В. Жашкова // Надежность и качество: труды Международного симпозиума, 2016. – С. 326-328.

58. Щербань, А.Б. Математические и информационно-структурные модели эргатических систем: Монография / А.Б. Щербань, И.Ю. Сёмочкина, Т.В. Жашкова, М.Ю. Михеев, В.Р. Роганов // – Пенза: ПензГТУ, 2015. – 161 с.

59. Ahija N. Active stereo: Integrating disparity, vergence, focus, aperture, and calibration for surface estimation/ N. Ahija, A. Abbot // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(10), 1993. – pp. 1007-1029.

60. Роганов В.Р. Методы формирования виртуальной реальности: Монография / В.Р. Роганов. – Пенза: ПензГУ, 2000. – 127 с

61. Мордашкин, В.К. Идентификация и классификация состояний организационно-технических систем для повышения эффективности их управления/ В.К.Мордашкин, В.И. Волчихин, В.А Первунинских, Э.В. Лапшин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 3 (51). – С. 45-57.

62. Бабич, М.Ю. Проблемы моделирования деятельности человека в процессе функционирования сложных организационно-технических систем//В сборнике: Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике. Сб. статей 14 Международной научно-технической конференции. Под редакцией В.И. Горбаченко, В.В. Дрождина. 2014. – С. 36-42.

63. <https://yandex.ru/images/search> (дата обращения 01.04.2024)

64. <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6603d9189a7947e9c016834a> (дата обращения 09.04.2024)

65. Roganov, V. Main provisions for formation of cognitive model of visually observable environment synthesized for aircraft simulator/ V. Roganov, M. Miheev, E. Roganova, Bolat I. Nurgozhin, V. Fillipenko// in Advances in Engineering Research, volume 133. Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2017). Copyright © 2017, the Authors. Published by Atlantis Press.– pp.671–676.

66. Коршунов, С.А. Концепция программного средства визуализации имитационного моделирования / Коршунов С.А., Павлов А.И., Николайчук О.А. // В сборнике: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. под редакцией проф. Е.Л. Глориозова. 2015. С. 413-419.

67. Roganov V. Information and Computing System for Planning of Management of Railway Stations of Industrial Enterprises//T. Nechai, G. Korop, V. Roganov, E. Roganova, M. Chirkina // Proceedings of the International Conference Communicative Strategies of Information Society (CSIS 2018). – 2018. – P. 246-251.

68. Бирюков, Н. М. Методика испытаний тренажеров ВВС РФ/ Н. М. Бирюков, Г. Н. Фаворов // Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров. Сб. стат. юбил. Межд. научно-практич. конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2004. – С. 95-98.

69. Косников, Ю.Н. Математическое моделирование поверхностей свободных форм в системах визуализации пространственных сцен// В сборнике: Информационно-телекоммуникационные системы и технологии материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2017. – С. 428-430.

70. Qualizza A. Cutting planes for mixed integer programming. Dissertation, Tepper School of Business, Carnegie Mellon University, 2011

71. Roganov V.R. The task of increasing the number of training situations as one of the areas for improving the ergatic software and hardware systems “Aviation simulator”//V.R. Roganov, E.A. Asmolova, N.S. Esimova, R.U. Omirbekov, O. Kuvshinova and G.K. Aidarbek in International Conference Aviation Engineering and Transportation (AviaEnT 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1061 (2021) 012014, pp.1-9. IOP Publishing DOI:10.1088/1757-899X/1061/1/012014.

72. Махутов, Н.А. Поисквые исследования процессов перехода технических систем из штатных в аварийные ситуации по спектральным диагностическим параметрам поврежденных состояний / Отчет о НИР № 14-19-00776. Российский научный фонд. 2015

71. Роганов, В.Р. Методы и средства формирования элементов когнитивной модели человека, наблюдающего 3D-модели, синтезированные

имитаторами авиационного тренажёра / В.Р. Роганов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 12. – С. 34-41.

72. Кувшинова, О.А. Некоторые оценки эффективности машинного синтеза изображений местности, влияющие на процесс обучения при использовании тренажёров водителей транспортных средств / О.А. Кувшинова, Л.А. Найниш, Э.В. Роганова, Е.Н. Мещерякова // Современные информационные технологии. – 2017. №26. – С.129-138.

73. Захаров, А. А. Алгоритмы синтеза визуальной пространственно-временной информации для тренажеров транспортных средств. / А. А. Захаров, А. Ю. Тужилкин // Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 128 с.

74. Садыков С.С., Захаров А.А. Выбор уровня детальности при непрерывном упрощении поверхностей полигональных объектов// Вычислительные методы и программирование, 2003. – Т.4, № 1. – С. 86-97.

75. Захаров, А.А. Имитация кратности приборов наблюдения для задач тренажеров транспортной техники// Системы управления и информационные технологии. Вып.9. – Воронеж: Центральное Черноземное книжное издательство, 2002. – С. 145-149.

76. Захаров, А.А. Синтез изображений протяженных участков местности / А.А. Захаров, А.Н. Масанов // Методы и устройства передачи и обработки информации. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002 – С. 98-102.

77. Новиков А. И., Пронькин А. В. Методы цифровой обработки. – М.: Горячая линия Телеком, – 2023. – 224 с.

78. Роганов, В.Р. Постановка задачи совершенствования эргатического-оптико-аппаратно-программного комплекса моделирования визуально наблюдаемой части виртуального пространства для авиационного тренажёра//В сборнике: Методы и средства измерений в системах контроля и управления сборник статей международной конференции. Под редакцией Жашковой Т.В. 2016. – С. 126-138.

79. Вяткин, С.И. Алгоритм визуализации трёхмерных данных, заданных поверхностями свободных форм/ С.И. Вяткин, Б.С. Долговесов, А.В. Есин // Программные продукты и системы. – 1999. – № 3. – 6 с.

80. Елохов, В. А. О необходимости учета временных параметров зрения при проектировании систем визуализации авиационных тренажеров. Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров/ В. А. Елохов, Ю.Н. Овечкис, Л. В. Паутова//. Сб. стат. Юбил. Межд. научно-практич. конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2004. – С. 84-88.

81. Бегунов А. С. Теория оптических систем/А.С. Бегунов, Н.П. Заказнов // – М.: Машиностроение, 1973. – 431 с.

82. Патент № 97108754/14. Способ исследования и восстановления бинокулярного зрения: №2133103: заявл.26.05.1997: опубл. 20.07.1999 / Ю.З. Розенблюм, Т.П. Кащенко, Е.И. Ячменева [и др.]; заявитель, патентобладатель Московский научно-исследовательский институт глазных болезней им.Гельмгольца // ФИПС: [сайт]. URL: <http://www.https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2133103> (дата обращения 02.04.2024)

83. Елхов, В.А. Безочковая система показа объёмных многоракурсных киноизображений/В.А. Елхов, Н.В. Кондратьев, Ю.Н. Овечкис, Л.В. Паутова // Мир техники кино. – 2009. –Т. 3. № 1 (11). – С. 2-7.

84. Затуливетер, Ю.С. Общесистемные компьютерные аспекты формирования алгоритмического пространства цифровой трансформации крупномасштабных систем / Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А. // В сборнике: управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020. труды тринадцатой международной конференции. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – 2020. – С. 1499-1506.

85. Роганов В. Р. К вопросу о качестве изображения индикаторов, моделирующих трехмерные изображения. — В кн.: Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров. Сб. матер. межд. науч.-техн. конференции. Пенза, 2004. – С. 98-105.

86. Роганов, В.Р. Метод решения в машинной графике задачи взаимозакрываемости 3D-моделей при подвижном наблюдателе: отчет о НИР: грант № 23-21-10046 / Российский научный фонд. – 2023.

87. Кувшинова, О.А. Структура баз данных компьютерных генераторов изображения, синтезирующих 3D-модель района полётов авиационного тренажёра. / О.А. Кувшинова, В.Р. Роганов, М.В. Четвергова, Х.А.Х. Шамсулдин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т.12, №2. – С. 41-47.

88 Программно-аппаратные системы машинной графики: монография / В. Р. Роганов, М. Ю. Михеев, Б. С. Долговесов [и др.]. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2024. – 84 с.

89. Моисеенко, И.Н. Единой системе организации воздушного движения России - 40 лет! / И.Н. Моисеенко. – Текст: электронный // «АвиаСоюз». – 2013. – URL: <https://www.aex.ru/fdocs/1/2013/3/5/22623/print/> (дата обращения 12.12.2023)

90. Роганов, В.Р. Моделирование внешней среды для авиационного тренажёра: монография / В.Р Роганов. –Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 125с.

91. Исаакян, В. Л. Особенности построения баз данных цифровых систем визуализации авиационных тренажеров / В. Л. Исаакян, В.Р. Роганов // В кн.: Авиамедицинские и эргономические исследования человеческого фактора в гражданской авиации. Выпуск № 294. М.: ГосНИИ ГА, 1990. – С.113-116.

92 Баранчиков А.И. Алгоритм коррекции схемы реляционной базы данных / Баранчиков А.И., Нгуен Н.З. // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. – № 69. – С. 93-101

93. Кондрашин, И. Технология – виртуальная, результат – реальный // Текст: электронный // «Computerworld Россия». –1997. – N35(100) – URL: <https://www.osp.ru/> (дата обращения 02.04.2025)

94. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики/ Пер. с англ. Ю.П. Кулебякина, В.Г. Иваненко и др., под ред. Ю.И. Топчиева. – М.: Машиностроение. – 1980. –240 с.

95. Роганов, В.Р. Оценка точности экспериментального получения времени обработки примитивов в компьютерном генераторе изображения визуальной обстановки авиационного тренажера/ В.Р. Роганов, А.Н. Карпов, В.Н. Майоров // Материалы V Всерос. научно-технич. конф. "Повышение эффективности методов и средств обработки информации". Тамбов,1997. – С.111-113.

96. Квятковский, В.К. Вопросы проектирования средств компьютерного обучения / В.К. Квятковский, В.К. Бростилов // Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров: сборник статей юбилейной Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2004. – С. 34-36.

97. Форсайт, Д.А. Компьютерное зрение. Современный подход / Д.А. Форсайт, Ж. Поис; перевод с английского. – Москва: Вильямс, 2004. – 928 с

98. Агальцов, В.П. Математические методы в программирование. Москва: Изд-во Форум, 2010. – 240с.

99. Кузнецов, А.В. Высшая математика. Математическое программирование: Учебник / А.В. Кузнецов, В.А Сакович, Н.И. Холод. 4-е издание. Санкт-Петербург: Лань-Трейд, 2013. – 352с.

100. Роганов, В.Р. Методы и средства формирования элементов когнитивной модели человека, наблюдающего 3D-модели, синтезированные имитаторами авиационного тренажёра / В.Р. Роганов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 12. – С. 32-39.

101. Волкова, Л.В. Формы когнитивного реагирования в профессии пилота гражданской авиации / Л. В Волкова // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. –2022. – № 7(209). – С.82-85.

102. Савочкин А. Е. Проведение исследований и разработка математического аппарата минимизирующего отклонения расположения 3D-моделей реперных объектов, синтезированных имитаторами авиационного тренажёра для их наблюдения в мультиспектральном режиме. отчет о НИР: грант № 25-21-00445/ Российский научный фонд. – 2025.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Акты внедрения

«Утверждаю»
Генеральный директор
АО «НПП «Рубин»
А.В. Данилов
17 апреля 2025 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Кувишиновой Ольги Александровны «Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов изображения и его программная реализация»

Комиссия АО НПП «Рубин» в составе:
Председатель:
Ганин А.А., д.т.н., профессор, заместитель начальника отделения по программному обеспечению.
Члены:
- Бутаев М.М., д.т.н., профессор, учёный секретарь;
- Васильков А.В., к.т.н., главный специалист проектного офиса

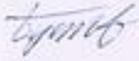
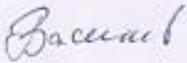
составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Кувишиновой О.А. на тему «Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов изображения и его программная реализация», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, были использованы при формировании оперативной 3D-обстановки в тренажёрах, разрабатываемых в АО «НПП «Рубин».

Применяемый метод и алгоритмы позволили определить оптимальное параметры сегментов первого уровня 3D-модели района, максимальное возможное число 3D-моделей реперных объектов, вычислить время обработки примитивов, размещенных внутри этих сегментов.

Разработанное программное средство является адаптируемым под специфические требования предприятия и применяется на предварительном этапе создания оперативной 3D-обстановки в тренажёрах.

С учётом специфики производства, экономический эффект внедрения не рассчитывался.

Настоящий акт не является основанием для финансовых расчётов, и автор разработки не претендует на денежное вознаграждение.

Заместитель начальника отделения по программному обеспечению		А.А. Ганин
Учёный секретарь,		М.М. Бутаев
Главный специалист проектного офиса		А.В. Васильков

«Утверждаю»
 Д.т.н., профессор,
 и.о. ректора ФГБОУ ВО
 «Пензенский государственный
 технологический университет»
 Ивашенко Д.В.
 «_____» _____ 2025



АКТ

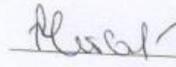
о внедрении результатов диссертационной работы Кувшиновой Ольги Александровны
 «Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-
 аппаратных генераторов изображения и его программная реализация»

Комиссия преподавателей кафедры «Информационные технологии и системы», проводящих исследования по гранту РФФИ № 23-21-10046 <https://rscf.ru/project/23-21-10046/> в составе: председателя творческого коллектива к.т.н., доцента Роганов В.Р. и членов творческого коллектива: к.т.н., доцента Четверговой М. В., к.т.н., доцента Савочкина А.Е составила настоящий акт, что при выполнении в ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» работ по гранту <https://rscf.ru/project/23-21-10046/> «Метод решения в машинной графике задачи взаимозакрываемости 3D-моделей при подвижном наблюдателе», были использованы результаты диссертационной работы Кувшиновой О.А. на тему «Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов изображения и его программная реализация», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук. Математический аппарат данной работы позволил определить оптимальные размеры и время обработки сегментов первого уровня модели района полетов, что дало возможность программно-аппаратной системе компьютерного генератора изображений рассчитать время на их синтез и решить задачу взаимозакрываемости 3D-моделей реперных объектов, относящихся к одному сегменту, и их взаимодействия друг с другом.

Руководитель творческого коллектива,
 доцент кафедры «ИТС»
 к.т.н., доцент


 Роганов В.Р.

Члены творческого коллектива:
 доцент кафедры «ИТС»
 к.т.н., доцент


 Четвергова М.В.

доцент кафедры «ИТС»
 к.т.н., доцент


 Савочкин А.Е.

«Утверждаю»
 д.т.н., профессор,
 и.о. ректора ФГБОУ ВО
 «Пензенский государственный
 технологический университет»

 Пашенко Д.В.
 « » 2025

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Кувшиновой Ольги Александровны
 «Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-аппаратных
 генераторов изображения и его программная реализация»

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – к.т.н., доцент Семочкина И.Ю. – начальник учебно-методического управления ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

члены комиссии:

к.т.н., доцент Ремонтов А.П. – декан факультета автоматизированных информационных технологий ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

д.т.н., профессор Михеев М.Ю. – заведующий кафедрой «Информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Кувшиновой О.А. на тему «Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов изображения и его программная реализация», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, используются в учебном процессе кафедры «Информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» при чтении лекций, во время практических и лабораторных занятиях при обучении студентов по направлению подготовки специальности 09.03.02 «Информационные системы и технологии» по дисциплине «Модели и методы разработки программного обеспечения» и включают – математический аппарат, позволяющий синтезировать максимально насыщенное изображение визуально наблюдаемых 3D-моделей, не превышая цикл режима реального времени.

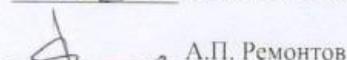
При проведении занятий студенты могут использовать следующую литературу:

1. Kuvshinova O.A. Flight simulator information support / V.R. Roganov, E.V. Roganova, M.J. Mischev, O.A. Kuvshinova, S.M. Gushchin // Defence S and T Technical Bulletin. – 2018. № 11(1). P. 90–98
2. Kuvshinova O.A. To Issue of Semiotic Component Visible for Pilot of Space Model Beyond Cabin of Aircraft Simulator / O.A. Kuvshinova, V.R. Roganov, D.M. Grintsov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2021. P. 420–428
3. Кувшинова О.А. Программно-аппаратные системы машинного синтеза изображений для авиационных тренажеров / О.А. Кувшинова, М.Ю. Михеев, В.Р. Роганов, Е.А. Асмолова, Н.С. Есимова, Б.С. Долговесов // Радиозлектроника. – 2023.-№ 11
4. Кувшинова О.А. Особенности окрашивания 3D-моделей, синтезируемых в режиме реального времени методами машинной графики / О.А. Кувшинова, В.Р. Роганов, Н.С. Есимова, М.А.Д. Аль-Амида // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, №2. – С. 68-72.

Председатель комиссии

 И.Ю. Семочкина

Члены комиссии

 А.П. Ремонтов

 М.Ю. Михеев

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023685349

Программный комплекс для расчета сегментов модели района полета

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет» (RU)**

Авторы: **Роганов Владимир Робертович (RU), Кувшинова Ольга Александровна (RU), Гвоздева Ирина Геннадьевна (RU)**

Заявка № **2023684999**

Дата поступления **22 ноября 2023 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **27 ноября 2023 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 429b6a0fe3853164ba196183b73b4aa7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.03.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024618538

**Программный модуль для вычисления размера
сегмента первого уровня модели района полета**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный технологический
университет» (RU)*

Авторы: *Роганов Владимир Робертович (RU), Кувшинова Ольга
Александровна (RU), Четвергова Мария Владимировна (RU),
Асмолова Екатерина Александровна (RU), Есимова Нурзипа
Сапаровна (RU)*

Заявка № 2024616695

Дата поступления 02 апреля 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 апреля 2024 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат 429f6a07e58c1364ba95685b73b4aa7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Документы с 18.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов