

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ,  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ)

Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
Кафедра космического приборостроения

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Разработка алгоритмов автоматического контроля  
и анализа качества синтеза радиолокационного  
изображения

**Автор:**

Студент 1016 группы  
Рязанов Данила Сергеевич

**Научный руководитель:**

\*научная степень\*

Мордвинов Александр Евгеньевич

**Научный консультант:**

\*научная степень\*

Фролов Илья Сергеевич



Москва 2025

---

## **Аннотация**

Разработка алгоритмов автоматического контроля и анализа  
качества синтеза радиолокационного изображения

*Рязанов Данила Сергеевич*

Задачей данной работы является разработка алгоритмов для  
автоматического контроля качества синтеза радиолокационного  
изображения.

## **Abstract**

Research and development of machine learning methods

---

# Оглавление

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>5</b>
1.1	Вступление . . . . .	5
1.2	Термины и определения . . . . .	5
1.3	Перечень сокращений и обозначений . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>7</b>
2.1	Физические основы . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Обзор существующих решений</b>	<b>9</b>
3.1	SNAP . . . . .	10
3.2	SARscape . . . . .	10
3.3	GMTSAR . . . . .	10
3.4	SARPROZ . . . . .	10
3.5	StaMPS/MTI . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Исследование и построение решения задачи</b>	<b>11</b>
4.1	Калибровочные цели в радиолокационных системах . . . . .	11
4.2	Структура решения . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Описание практической части</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Заключение</b>	<b>15</b>



# Глава 1

## Введение

В этой части надо описать предметную область, задачу из которой вы будете решать, объяснить её актуальность (почему надо что-то делать сейчас?). Здесь же стоит ввести определения понятий, которые вам понадобятся в постановке задачи.

### 1.1 Вступление

Объективная оценка результатов радиолокационной съемки является неотъемлемым элементом формирования радиолокационных изображений (РЛИ). В условиях наличия разных дестабилизирующих факторов - неоднозначности сигнала, нелинейности тракта, погрешностей траекторных изменений и др., - этот вопрос становится более актуальным.

### 1.2 Термины и определения

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

**Радиолокационное зондирование** - наблюдение объектов в радиодиапазоне волн с детальностью оптических систем. В отличие от оптических систем системы радиовидения дают возможность получать изображения объектов независимо от метеоусловий и естественной освещенности, на значительном удалении и одновременно в широкой зоне обзора, в том числе объектов, невидимых в оптическом диапазоне волн

**Точечный отражатель** (point target) - это одиночный, изолированный рассеиватель. Используется в системе автофокусировки

**Синтезированная апертура** - метод получения высокого разрешения по углу при малых размерах антенны путём запоминания отраженного от объекта электромагнитного поля

### 1.3 Перечень сокращений и обозначений

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

**РЛИ** - радиолокационное изображение

**ПО** - программное обеспечение

**РЛС** - радиолокационные системы



# Глава 2

## Постановка задачи

Здесь надо максимально формально описать суть задачи, которую потребуется решить, так, чтобы можно было потом понять, в какой степени полученное в результате работы решение ей соответствует. Текст главы должен быть написан в стиле технического задания, т.е. содержать как описание задачи, так и некоторый набор требований к решению

### 2.1 Физические основы

Анализ качества синтеза РЛИ происходит в два этапа:

1. Вычисление набора метрик РЛИ (разрешение по дальности, разрешение по азимуту, отношение сигнал-шум и др.)
2. Сравнение полученных значений с номинальными

Определение упомянутых выше параметров осуществляется по отклику от калибровочных целей. Примерами таких целей служат уголкового отражатели и транспондеры, но не всегда данные объекты присутствуют на снимаемой сцене. Поэтому для реализации автоматического контроля реализуемые алгоритмы должны находить объекты, которые можно использовать в качестве калибровочных целей, и рассчитывать по ним требуемые характеристики. Данные цели в дальнейшем будем называть псевдокалибровочными.

Таким образом целью данной работы является разработка алгоритмов для автоматического поиска псевдокалибровочных целей, статистической оценки их характеристик и сравнения с номиналом.

Критерием эффективности разработанных алгоритмов будет являться степень соответствия с классическим методом, то есть методом анализа качества синтеза РЛИ по точно известным калибровочным целям.

Исходя из этого, задачи формулируются следующим образом: 1. Разработать алгоритм для автоматического поиска псевдокалибровочных целей 2. Разработать алгоритм для анализа отклика от точечных целей и сравнения полученных значений с номинальными 3. Произвести валидацию алгоритма с классическим методом

Для практической применимости расхождение с классическим методом не должно составлять 0.5



## Глава 3

# Обзор существующих решений

Здесь надо рассмотреть все существующие решения поставленной задачи, но не просто пересказать, в чем там дело, а оценить степень их соответствия тем ограничениям, которые были сформулированы в постановке задачи.

Основным критерием поиска подходящего ПО является его возможность работать с уровнем синтеза L1, то есть Single Look Complex (SLC). Ниже приведен список приложений для работы с SLC:

1. SNAP - Платформа приложений Sentinel.
2. SARscape - это полный набор функций для комплексной обработки всех космических и отдельных авиационных радиолокационных данных.
3. GMTSAR - Система обработки InSAR в сочетании с GMT.
4. ISCE2 - Научная вычислительная среда InSAR.
5. Doris - Делфтское объектно-ориентированное радарно-интерферометрическое программное обеспечение.
6. SARPROZ - Инструмент для обработки SAR.
7. StaMPS/MTI - Стэнфордский метод для стойких рассеивателей.
8. kite - Подвыборка в виде дерева квадрантов, анализ ковариации данных для моделирования смещения поверхности. Удаление точек доступа (эмпирическое и по ДЖЕЙКОБСУ). Загрузка данных из различных центров обработки данных.
9. sarpy - Библиотека Python для простой обработки сложных данных SAR с использованием стандарта NGA SIC.
10. ROI\_PAC - Sentinel1.
11. pygmtsar - Скрипты на Python для обработки GMTSAR.
12. Xarray-Sentinel - Серверная часть X-массива для обработки спутниковых данных Copernicus Sentinel-1.
13. Sarsen - Алгоритмы и инструменты для геометрической и радиометрической коррекции данных SAR Sentinel-1 с учетом рельефа местности.
14. pyroSAR - Фреймворк на Python для крупномасштабной обработки спутниковых данных SAR.
15. S1\_NRB - Прототип процессора для радиолокационного устройства с нормализованным обратным рассеянием Sentinel-1.
16. ALUs - Различные процессоры, использующие графический процессор, самый быстрый для обеспечения когерентности Sentinel-1 и обратного рассеяния.
17. SARvis

## 3.1 SNAP

Главным достоинством SNAP является возможность работы с различными пакетами данных с разных спутников. Также присутствуют инструменты для работы с шумами, геопривязкой, поляризационными изображениями. Есть все функции для постобработки изображений.

## 3.2 SARscape

В данный момент приложение SARscape не доступно в России. Поэтому анализ невозможен.

## 3.3 GMTSAR

Данное программное обеспечение предоставляет возможности синтеза и постобработки изображений без графического интерфейса. Также присутствуют функции для интерферометрической обработки.

## 3.4 SARPROZ

Заявка на получение лицензии находится в рассмотрении.

## 3.5 StaMPS/MTI

## Глава 4

# Исследование и построение решения задачи

Здесь надо декомпозировать большую задачу из постановки на подзадачи и продолжать этот процесс, пока подзадачи не станут достаточно простыми, чтобы их можно было бы решить напрямую (например, поставив какой-то эксперимент или доказав теорему) или найти готовое решение.

### 4.1 Калибровочные цели в радиолокационных системах

Так как радиолокационные системы (РЛС) являются линейными [1 с.59], то есть вид их передаточных функций не зависит от величины входного воздействия, то естественно исследовать систему по отклику от единичного импульса, который формируется тест объектом. В РЛС таким тест объектом является одиночный, изолированный рассеиватель, такой как уголкового отражатель. Особенность его заключается в том, что падающий на него зондирующий импульс отражается точно в противоположном направлении. Такой малый, дискретный рассеиватель ещё называют точечной целью. Большинство параметров РЛС измеряются по отклику от такой цели.

Идея данной работы заключается в использовании в качестве тест объектов псевдокалибровочные цели, то есть цели, для которых заведомо неизвестно, являются ли они одиночными, изолированными, то есть точечными. При большой выборке данных целей (100 - 1000 штук), в ней могут оказаться как точечные, так и неточечные.

Далее рассмотрим механизм формирования отклика от неточечной цели. Логично, предположить, что данный отклик будет суммой откликов от точечных целей, раз мы считаем точечную цель неделимой, единичной структурой.

Откликом точечной цели является sinc-like функция [1].

### 4.2 Структура решения

Решение поставленной задачи можно разбить на детектирование точечных отражателей и анализ по ним качества изображения.



## Глава 5

### Описание практической части

Если в рамках работы писался какой-то код, здесь должно быть его описание: выбранный язык и библиотеки и мотивы выбора, архитектура, схема функционирования, теоретическая сложность алгоритма, характеристики функционирования (скорость/память).





## Глава 6

### Заключение

Здесь надо перечислить все результаты, полученные в ходе работы. Из текста должно быть понятно, в какой мере решена поставленная задача.



# Литература

- [1] *Mott-Smith, H.* The theory of collectors in gaseous discharges / *H. Mott-Smith, I. Langmuir* // *Phys. Rev.* — 1926. — Vol. 28.
- [2] *Морз, Р.* Бесстолкновительный PIC-метод / *Р. Морз* // Вычислительные методы в физике плазмы / Ed. by *Б. Олдера, С. Фернбаха, М. Ротенберга.* — М.: Мир, 1974.
- [3] *Киселёв, А. А.* Численное моделирование захвата ионов бесстолкновительной плазмы электрическим полем поглощающей сферы / *А. А. Киселёв, Долгонос М. С., Красовский В. Л.* // Девятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». — 2014.