

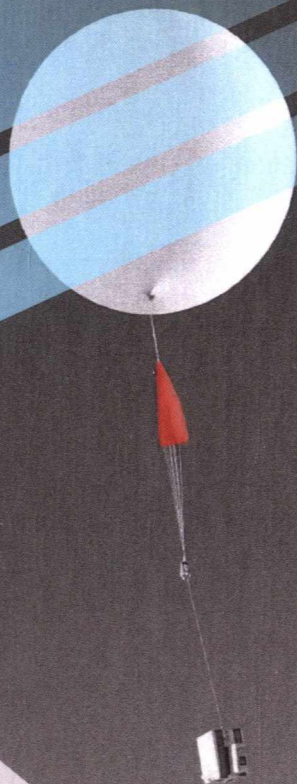
528  
Б 792

И «Инфра-Инженерия»

Э. А. Болелов  
М. Б. Фридзон  
Ю. М. Ермошенко

# **КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ**

## **РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ**



Э. А. Болелов, М. Б. Фридзон, Ю. М. Ермошенко

# **КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2025

УДК 621.396.692

ББК 32.844

Б79

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ООО «НПО НаукаСофт»

*Васильев Олег Валерьевич;*

кандидат технических наук, доцент, начальник сектора ФАУ «ГосНИИ АС»

*Полосин Сергей Алексеевич;*

кандидат военных наук, старший преподаватель кафедры управления ракетными ударами и огнем артиллерии в бою и операции ФГКВ ОУ ВО «Михайловская военная артиллерийская академия» МО РФ *Даренских Сергей Николаевич;*

главный метеоролог, начальник службы наблюдений ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета»

*Белятко Жанна Ивановна*

**Боделов, Э. А.**

**Б79** Комплексные системы радиозондирования атмосферы : монография / Э. А. Боделов, М. Б. Фридзон, Ю. М. Ермошенко. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 156 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-2270-3

Монография посвящена проблеме создания комплексных систем радиозондирования атмосферы, обоснованию их технического облика и синтезу алгоритмов комплексной обработки метеоинформации на основе методов марковской теории оценивания случайных процессов и полей. Анализ современных систем радиозондирования, проведенный в монографии, показал, что каждой из них присущ ряд принципиальных недостатков, устранить которые в рамках самой системы практически невозможно, а значит, невозможно обеспечить высокую точность и помехоустойчивость данных радиозондирования атмосферы. Авторами предложены два варианта структуры комплексной системы радиозондирования атмосферы, разработаны алгоритмы комплексной обработки информации о пространственном положении радиозонда и алгоритмы обработки метеоданных, поступающих по каналам телеметрии. Методами математического моделирования проведена оценка качества полученных алгоритмов.

Для специалистов, занимающихся разработкой и применением технических средств радиозондирования атмосферы. Может быть полезно аспирантам и студентам радиотехнических, гидрометеорологических и приборостроительных специальностей.

УДК 621.396.692

ББК 32.844

554456

ISBN 978-5-9729-2270-3

© Боделов Э. А., Фридзон М. Б., Ермошенко Ю. М., 2025

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

**БИБЛИОТЕКА**

**ФГАУ ВО**

**Сибирский федеральный**

**университет**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ .....	6
1.1. Краткая историческая справка о развитии средств радиозондирования атмосферы .....	6
1.2. Отечественные системы радиозондирования радиолокационного типа.....	12
1.2.1. Принцип измерения координат в системах радиозондирования радиолокационного типа .....	12
1.2.2. Анализ ошибок определения пространственных координат в СРЗ РЛ.....	17
1.2.3. Анализ погрешностей радиозондирования, вносимых каналом телеметрии .....	22
1.2.4. Отечественные разработки систем радиозондирования радиолокационного типа .....	26
1.3. Системы радиозондирования радионавигационного типа .....	40
1.3.1. Принцип измерения координат в системах радиозондирования радионавигационного типа.....	40
1.3.2. Факторы, влияющие на точность определения пространственных координат радиозонда в СРЗ РН.....	45
1.3.3. Отечественные разработки систем радиозондирования радионавигационного типа.....	49
1.4. Сравнительный анализ радиолокационных и радионавигационных систем радиозондирования .....	61
ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ. ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК.....	63
2.1. Предпосылки создания комплексных систем радиозондирования атмосферы .....	63
2.2. Технический облик комплексной системы радиозондирования атмосферы .....	65
ГЛАВА 3. АЛГОРИТМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ.....	77
3.1. Обоснование метода синтеза алгоритмов комплексной обработки данных радиозондирования .....	77
3.2. Алгоритм комплексной обработки информации о пространственном положении радиозонда .....	79
3.3. Одноэтапный алгоритм комплексной обработки информации о пространственном положении радиозонда.....	112
ГЛАВА 4. АЛГОРИТМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О МЕТЕОПАРАМЕТРАХ АТМОСФЕРЫ, ПОСТУПАЮЩЕЙ ПО РАДИОКАНАЛАМ ТЕЛЕМЕТРИИ .....	125
4.1. Постановка задачи комплексной обработки информации о метеопараметрах атмосферы, поступающей по радиоканалам телеметрии .....	125
4.2. Алгоритм комплексной обработки информации о температуре атмосферы, поступающей по двум радиоканалам.....	131
ЛИТЕРАТУРА .....	148
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	153



## ВВЕДЕНИЕ

Данные радиозондирования атмосферы необходимы для многих отраслей отечественного народного хозяйства и обороны страны. Неуклонное развитие науки и техники с каждым годом предъявляет повышенные требования к качеству данных о вертикальном распределении температуры, влажности, скорости и направления ветра в атмосфере. Расширяется интерес к тонкой структуре поля метеоэлементов и их пространственно-временной изменчивости. В связи с этим актуальной является задача создания более совершенных систем радиозондирования атмосферы, обладающих высокой точностью, помехоустойчивостью, оперативностью и мобильностью.

Существующие системы радиозондирования атмосферы можно разделить на два типа. К первому типу относятся системы, основанные на радиолокационном методе сопровождения радиозонда, в дальнейшем будем называть эти системы системами радиозондирования радиолокационного типа. К второму типу относятся системы, основанные на радионавигационных методах сопровождения радиозонда. Системы этого типа будем называть системами радиозондирования радионавигационного типа. Детальный анализ современных систем радиозондирования показал, что каждой из них присущ ряд принципиальных недостатков, устранить которые в рамках самой системы практически невозможно, а значит, невозможно обеспечить высокую точность и помехоустойчивость данных радиозондирования атмосферы.

Разрешение сложившегося противоречия может быть достигнуто путем создания комплексных систем радиозондирования атмосферы, позволяющих устранить ряд принципиальных недостатков, присущих системам радиолокационного и радионавигационного типа.

В настоящее время существуют зарубежные и отечественные разработки систем, объединяющих в себе системы радиолокационного и радионавигационного типа. Однако анализ этих систем показал, что они лишь конструктивно объединяют системы радиолокационного и радионавигационного типа, практически отсутствует совместная обработка данных радиозондирования. Задачу создания комплексных систем радиозондирования атмосферы, разработки их единой структуры и синтеза алгоритмов обработки метеоинформации следует решать на основе методов существующих теорий комплексирования информации.

В настоящей книге авторы предлагают решение задачи разработки комплексных систем радиозондирования на основе методов марковской теории оценивания случайных процессов и полей. К основным вопросам марковской теории оценивания случайных процессов и полей относятся прежде всего:

- принципы построения математических моделей сигналов, выходных данных измерителей и помех;
- методы нелинейного (оптимального и квазиоптимального) оценивания случайных процессов для непрерывных и дискретных наблюдений на фоне помех;
- методы марковской теории оптимального комплексирования измерителей;
- методы идентификации и нелинейного адаптивного оценивания.

Авторами предложены два варианта структуры комплексной системы радиозондирования атмосферы, разработаны алгоритмы комплексной обработки информации о пространственном положении радиозонда и алгоритмы обработки методанных, поступающих по каналам телеметрии. В книге показано, что использование разработанных алгоритмов позволяет повысить помехоустойчивость системы радиозондирования атмосферы, и существенно снизить влияние погрешностей, вносимых каналом телеметрии, и погрешностей определения пространственных координат радиозонда. Авторы не касались вопросов точности измерения температуры и влажности, так как они достаточно подробно рассмотрены в научных трудах М.Б. Фридзона и других ученых.

При обосновании структуры и алгоритмов комплексной системы радиозондирования атмосферы авторами было учтено одно из важных требований, а именно сохранение высокой точности и помехоустойчивости измерений без увеличения стоимости радиозонда, являющегося прибором разового использования. Авторами предложено использование ретранслятора сигналов спутниковых радионавигационных систем на борту радиозонда. Это исключает применение в радиозонде сложных схем и обеспечивает решение задачи определения пространственных координат радиозонда на базовой станции сопровождения, что, конечно, приводит к определенному усложнению наземной техники и вычислительного комплекса системы.