

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет заочного обучения

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению контрольных работ  
по дисциплине

**«МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

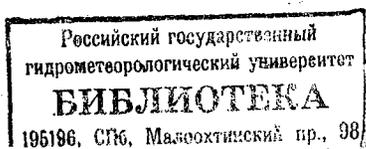
Специальности: 073100 – Метеорология  
060800 – Экономика природопользования

Курс IV

*Подлежит возврату  
на факультет заочного обучения*



Санкт-Петербург  
2008



*Одобрено Методической комиссией метеорологического  
факультета и экономического и социально-гуманитарного факультета  
РГГМУ*

УДК 551.5(07)

Методические указания по выполнению контрольных работ по дисциплине «Методы зондирования окружающей среды». – СПб., изд. РГГМУ, 2008. – 44 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Методы зондирования окружающей среды». Даются рекомендации по изучению отдельных разделов дисциплины. Приводятся вопросы для самопроверки, рекомендуемая литература, контрольные работы.

*Составители:* Осипов Ю.Г., канд. физ. мат. наук, доц.,  
Герасимова Н.В., канд. геогр. наук, зав. лаб.

*Ответственный редактор:* Кузнецов А.Д., д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. экспериментальной физики атмосферы (ЭФА).

© Осипов Ю.Г., Герасимова Н.В., 2008

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение дисциплины "Методы зондирования окружающей среды" позволяет студентам освоить теоретические и методические основы современных и перспективных методов зондирования, способы обработки и анализа информации о физическом состоянии окружающей среды.

Целью дисциплины является подготовка специалистов, владеющих глубокими теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для качественного зондирования окружающей среды и анализа полученной информации.

В результате изучения дисциплины студенты получают знания по теории современных аэрологических и радиометеорологических, а также перспективных (в том числе дистанционных) методов определения метеорологических величин, об используемых в оперативной практике методах и о специальных аэрологических и радиометеорологических системах зондирования атмосферы, об анализе аэрологической и радиометеорологической информации.

Студент должен уметь производить оперативные аэрологические и радиометеорологические измерения, обрабатывать и интерпретировать полученную информацию о физическом состоянии атмосферы, эксплуатировать современную технику зондирования окружающей среды.

Студент должен иметь представление о перспективных методах зондирования окружающей среды.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Процесс изучения дисциплины состоит из самостоятельной работы студентов и очных занятий. В самостоятельную работу входит изучение курса по рекомендуемой литературе, выполнение двух контрольных работ.

Изучать курс рекомендуется по темам, приведенным в программе дисциплины. При этом желательно, чтобы студент сжато конспектировал изучаемый материал, зарисовывал схемы приборов и проделывал все выкладки при изучении теоретических выводов.

Контрольные работы выполняются после проработки соответствующих тем. Ответы на вопросы в них должны быть по возможности краткими и четкими. При решении задач необходимо полностью переписывать условия и писать ход решения, приводить, где требуется, аккуратно выполненные рисунки и таблицы. При обработке результатов измерений надо строго следовать методическим указаниям к этим контрольным работам.

За два месяца до сессии студент представляет на кафедру контрольные работы по данной дисциплине. Зачтенные контрольные работы остаются на кафедре, не зачтенные – отдаются на доработку. Явка на экзамен обязательна с положительными рецензиями на контрольные работы.

Во время лабораторно–экзаменационной сессии студенту читаются лекции, даются консультации. Он выполняет лабораторные работы, получает по ним зачет и сдает экзамен по всему курсу.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений.– Л.: Гидрометеиздат, 1985.– 456 с.
2. Киселев В.Н., Мушенко П.М. Практикум по аэрологии и радиометеорологии.– Л., изд. ЛПИ, 1986 (ЛГМИ). –141 с.
3. Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности.– Л.: Гидрометеиздат, 1980.– 432 с.
4. Киселев В.А., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы).- СПб, 2004. - 428 с.

### *Дополнительная*

5. Белов Н.Ф. Метеорологические радиолокационные станции.– Л.: Гидрометеиздат, 1981.
6. Зайцева Н.А. Аэрология.– Л.: Гидрометеиздат, 1990.– 342 с.
7. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Руководящий документ РД 52.11.650-2003, вып. 4, ч Ш. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – 311 с.
8. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2 и МРЛ-5.–РД 52.04.320–91. СПб.: Гидрометеиздат, 1993.–356 с.

9. *Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты.* – Л.: Гидрометеоздат, 1980.–229 с.

10. *Чередниченко Р.И., Чередниченко В.С. Новые технические средства температурно-ветрового зондирования атмосферы.* Алма-Ата., изд. Каз. ГУ, 1987.–54 с.

11. *Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети.* СПб.: Гидрометеоздат, 2002. – 331 с.

## УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ

### Введение

Первоначально следует изучить информационно-измерительные системы, используемые для получения метеорологических параметров. Изучите принцип работы радиотелеметрических систем, которые используются при дистанционном зондировании.

### Литература

[1], с. 5-66.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Поясните принцип работы информационно-измерительной системы.
2. Поясните принцип действия радиотелеметрической системы.

### Методы обработки информации

В этом разделе следует ознакомиться с однопунктными и двухпунктными (базисными) шаропилотными наблюдениями, включая проведение наблюдений. Рассматриваются методы графической и аналитической обработки результатов наблюдений, точность оптических методов определения ветра в атмосфере.

Следует также ознакомиться с радиопеленгационными, радиолокационными и навигационными методами определения ветра в атмосфере.

Рассмотреть рассеяние электромагнитных волн в атмосфере; эффективную поверхность рассеяния; радиолокационные цели; основное уравнение дальности радиолокационного сопровождения точеч-

ной цели; уравнение радиолокации с активным ответом; точность определения ветра в атмосфере радиотехническими методами.

### **Литература**

[4], с. 28-46.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Перечислите основные погрешности однопунктных шаропилотных наблюдений.
2. В чем состоит сущность графического и аналитического методов обработки шаропилотных наблюдений?
3. Какие законы вертикального распределения ветра Вам известны?
4. Какие существуют радиометоды определения ветра в свободной атмосфере?

### **Средства зондирования атмосферы**

Системы комплексного температурно-ветрового зондирования.

Система "Метеорит" - МАРЗ-2, ее модификация и технические характеристики. Основы обработки. Автоматизация процесса обработки данных зондирования.

Система «Аэрологический вычислительный комплекс (АВК-1)», радиозонд МРЗ. Технические характеристики, особенности работы. Точность зондирования атмосферы.

Специальные виды зондирования по измерению характеристик состояния атмосферы.

Измерение длинноволновых потоков излучения в атмосфере с помощью актинометрических радиозондов. Измерение концентрации озона в атмосфере с помощью озонзондов. Радиозонды для измерения корпускулярного излучения в атмосфере.

### **Литература**

[4], с. 126-156.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Как и каким датчиком измеряется температура радиозондом?

2. Как и каким датчиком измеряется влажность радиозондом?
3. Чем отличается система «Метеорит» – МАРЗ от системы АВК - 1 - МРЗ-ЗА?
4. Как работает озонзонд?
5. Как измеряется длинноволновая радиация радиозондом?

### **Дистанционные методы зондирования атмосферы**

Изучая радиофизические характеристики и условия распространения электромагнитных волн в свободной атмосфере, следует обратить внимание на влияние метеорологических характеристик на коэффициент преломления, диэлектрическую проницаемость и градиент коэффициента преломления.

Наряду с эффектом преломления электромагнитная волна испытывает ослабление и рассеяние на компонентах атмосферы (аэрозоли, капли, ледяные кристаллы). Количество энергии, рассеиваемое в направлении РЛС, характеризуется эффективной площадью рассеяния (ЭПР). Теоретическая ЭПР может быть вычислена только для частиц несложных форм, в частности, для сферических. Метеорологические радиолокаторы позволяют количественно измерить мощность сигналов, отраженных от облаков и осадков. Это позволяет решить ряд следующих задач:

1. Определение местоположения и высот зон радиоэха кучево-дождевых облаков с явлениями (ливни, грозы, град).
2. Предупреждение о грозах и сильных ливневых дождях с заблаговременностью, зависящей от характера явления.
3. Определение скорости и направления перемещения зон радиоэха кучево-дождевых облаков и зон радиоэха осадков обложного характера.
4. Оценка мгновенной максимальной интенсивности выпадающих осадков в радиусе до 90 км от МРЛ.
5. Определение типа радиоэха в зависимости от измерения характеристик облачных систем.

### **Литература**

[4], с. 220-269.

[8], с. 356.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое радиорефракция?
2. Какие параметры характеризуют величину радиорефракции?
3. От каких параметров зависит величина коэффициента преломления?
4. Что такое стандартная радиоатмосфера?
5. Какие существуют типы радиорефракции?
6. Какие существуют методы определения опасных явлений погоды по радиолокационным данным?
7. Как определяется интенсивность выпадения осадков?

## **ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ**

Малогобаритные аэрологические радиозонды типа МАРЗ разработаны взамен радиозондов типа РКЗ и выполнены на полупроводниковых и интегральных схемах. Радиозонды типа МАРЗ, используемые на аэрологической сети России, имеют следующие модификации МАРЗ-2-1 и МАРЗ-2-2.

Радиозонды МАРЗ-2 предназначены для преобразования значений основных параметров атмосферы (температура и относительная влажность воздуха) в радиотелеметрический сигнал, принимаемый аэрологической радиолокационной станцией (РЛС), а также для выработки ответного сигнала на запросный радиоимпульс РЛС. По измеренным координатам радиозондов МАРЗ-2 определяются скорость и направление ветра в атмосфере.

Совместно с РЛС "Метеорит" работает радиозонд МАРЗ-2-1, а с РЛС "Метеорит-2" - радиозонд МАРЗ-2-2.

### **1. Основные технические характеристики радиозондов МАРЗ**

Согласно Техническим условиям радиозонды МАРЗ имеют следующие основные технические характеристики.

Несущая частота приемопередатчика в рабочих условиях применения равна  $(1782 \pm 8)$  МГц.

Диапазон измерения относительной влажности воздуха от 15 до 98%, в диапазоне изменения температуры от 50 до 400 °С.

Диапазон измерения температуры воздуха от 50 до 800 °С.

Диапазон изменения опорной частоты  $F_{оп}$  в рабочих условиях применения:

$2080 \pm 80$  Гц для радиозондов МАРЗ-2-1;

$1080 \pm 40$  Гц для радиозондов МАРЗ-2-2.

Диапазон изменения частоты температуры  $F_t$  в рабочих условиях применения от 50 до  $(F_{оп} - 25)$  Гц.

Диапазон изменения частоты относительной влажности в рабочих условиях применения:

от 1400 до  $(F_{оп} - 20)$  Гц для радиозондов МАРЗ-2-1;

от 500 до  $(F_{оп} - 20)$  Гц для радиозондов МАРЗ-2-2.

Длительность паузы в излучении радиозонда:

$65 \pm 15$  мкс для радиозондов МАРЗ-2-1;

$240 \pm 40$  мкс для радиозондов МАРЗ-2-2.

Очередность следования частот телеметрического сигнала в одном цикле коммутации:  $F_{оп}, F_b, F_{ш}, F_t$ .

Длительность цикла передачи частот телеметрического сигнала каждого канала равна  $(25 \pm 5)$  с.

Питание радиозондов осуществляется от низковольтной малогабаритной батареи 28 МХМ-0,1 напряжением 28 и 9,5 В.

Продолжительность непрерывной работы радиозонда не менее 120 мин с момента подключения батареи питания.

Масса радиозонда МАРЗ-2, подготовленного к выпуску, должна быть не более 430 г.

## 2. Основные узлы радиозондов МАРЗ и их назначение

Основными узлами радиозонда МАРЗ являются:

- сверхрегенеративный приемопередатчик (V1), имеющий сверхвысокочастотный автогенератор (СВЧ-АГ), генератор суперирующих импульсов (ГСИ), ключи внешней модуляции и стабилизаторы напряжения и тока;

- антенная система (WA1), состоящая из штыря (вибратора) с емкостной шайбой (WA2) и экрана-противовеса (WA3);

- измерительный преобразователь сопротивления - частота (ПСЧ) на два входа с электронным коммутатором;

- узел (RK1) температуры;

- узел (RP1) влажности.

Совокупность всех узлов, исключая узлы температуры и влажности, является радиоблоком МАРЗ-2.

В качестве датчика температуры радиозонда МАРЗ служит терморезистор ММТ-1, а датчика влажности - мембрана из специальной животной пленки, механически соединенной со специальным реостатом.

Коммутирующая схема электронного коммутатора служит для циклического подключения к входу ПСЧ только опорного резистора или опорного резистора, соединенного последовательно с узлом температуры или влажности.

Измерительный преобразователь сопротивление - частота представляет собой автоколебательный мультивибратор, вырабатывающий импульсы, частота повторения которых является функцией преобразуемого входного сопротивления.

Сверхрегенеративный приемопередатчик (СПП) состоит из генератора супердирирующих импульсов, сверхвысокочастотного автогенератора, ключей внешней модуляции и совмещает в себе функции передатчика СВЧ, высокочувствительного приемника и активного ответчика на запросные импульсы РЛС. В качестве СВЧ-АГ используется модуль СВЧ М45302.

ГСИ вырабатывает импульсы частотой  $(800 \pm 25)$  кГц, которые поступают на вход управления СВЧ-АГ.

Для обеспечения стабильной работы схем радиоблока служат стабилизаторы в цепях питания.

Антенная система формирует диаграмму направленности, обеспечивающую функционирование системы радиозондирования "РЛС-МАРЗ" в рабочих условиях применения радиозондов МАРЗ.

Конструктивно функциональные узлы радиозонда МАРЗ-2 смонтированы на двух печатных платах, каждая из которых при помощи двух кронштейнов крепится к противовесу антенной системы.

Корпус, закрываемый крышкой, служит для размещения радиоблока и батарей питания, а также для создания температурного режима, обеспечивающего работоспособность радиоблока МАРЗ в рабочих условиях применения.

### 3. Принцип действия радиозондов МАРЗ

С помощью радиозондов МАРЗ-2-1 и МАРЗ-2-2 и наземных аэрологических РЛС типа “Метеорит” и “Титан” производится комплексное температурно-ветровое зондирование атмосферы.

В радиозонде МАРЗ-2 применен электронный коммутатор датчиков температуры, влажности и опорного резистора  $R_{оп}$  на входе схемы преобразователя сопротивление-частота.

С выхода ПСЧ телеметрический сигнал поступает на вход сверхвысокочастотного автогенератора и совместно с ГСИ осуществляет с помощью ключей внешней модуляции амплитудно-импульсную модуляцию несущей частоты СВЧ-АГ. Измеренные радиозондом значения основных параметров атмосферы кодируются в соответствующие значения частот повторения импульсов телеметрического сигнала. При этом отрицательные импульсы телеметрического сигнала вызывают появление пауз в излучении СВЧ-АГ.

ГСИ обеспечивает работу СВЧ-АГ в режиме суперрегенеративного ответчика на запросный импульс РЛС. Ответный сигнал радиозонда используется для измерения с помощью РЛС его наклонной дальности.

Сигнал, излучаемый радиозондом, принимается РЛС и используется для осуществления автоматического сопровождения и измерения угловых координат радиозонда, а также регистрации телеметрической информации ( $F_t$ ,  $F_u$ ,  $F_{оп}$ ).

Определение температуры и влажности производится по отношению значений  $F_t$  и  $F_u$  к  $F_{оп}$  ( $Y$ -параметр для температуры и влажности) с использованием заводских таблиц и коэффициентов статических характеристик преобразования (СХП) радиозонда для температуры и относительной влажности, входящих в комплект поставки радиозонда МАРЗ-2.

### 4. Исходные данные

В процессе зондирования атмосферы данные радиолокационных наблюдений за радиозондом, сведения о величинах частот температуры и влажности, об опорной частоте дискретно печатаются на бумажной ленте во времени. Печать данных радиолокационного наблюдения осуществляется через каждые 30 с, а частот метеоданных и опорной частоты - через 5 с с циклами, определяемыми электрон-

ным коммутатором. В качестве примера на рис.1 представлена часть ленты регистрации для радиозонда МАРЗ-2-1 между 8 и 10 минутами наблюдения.

010-	032 !	013 !	0073 !	15!	!
				15!	!
				15!	!
				15!	!
				13!	!
009+	032 !	013 !	0068 !	13!	!
				13!	!
				13!	!
				13!	!
				20!	!
009-	033 !	012 !	0062 !	20!	!
				20!	!
				20!	!
				20!	!
				14!	!
				14!	!
008+	034 !	011 !	0057 !	14!	!
				14!	!
				14!	!
				15!	!
				15!	!
008-	035 !	010 !	0032 !	15!	!

Рис.1. Часть ленты регистрации для радиозонда МАРЗ-2-1

Группа цифр у левого края ленты означает время, прошедшее с момента выпуска радиозонда. Тире (-) рядом с крайней правой цифрой группы означает, что отпечатано целое число минут; знак (+) означает, что к отпечатанному числу минут нужно прибавить 30 с.

Вторая группа цифр в строке означает величину угла места цели (радиозонда) в делениях угломера. Первая цифра означает десятки, вторая - единицы больших делений угломера (1 деление угломера равно 60). Третья цифра показывает десятки малых делений угломера. Единицы малых делений угломера определяются по расстоянию между левой базисной отметкой и отметкой, отпечатанной регист-

рирующей системой при пеленге радиозонда (отметка должна находиться между базисными отметками). Базисные отметки и отметка регистрации единиц малых делений угломера печатаются правее цифровой группы угла места. Расстояние между базисными отметками должно составлять 10 мм, т.е. 1 мм соответствует одному малому делению угломера (0,01 ДУ).

Третья группа цифр в строке показывает величину азимута цели (радиозонда) в делениях угломера. Данные азимута регистрируются так же, как данные угла места.

Четвертая группа цифр означает величину наклонной дальности до радиозонда в сотнях метров. Десятки метров определяются по расстоянию между отметкой, отпечатанной регистрирующей системой при пеленге радиозонда, и левой базисной отметкой; 1 мм расстояния соответствует 10 м.

Сведения о частотах температуры и относительной влажности, а также об опорной частоте печатаются в правой части ленты. Значения тысяч и сотен герц печатаются цифрами. Значения десятков и единиц герц определяются по расстоянию между левой базисной линией и соответствующей отметкой. Расстояние между левой и правой базисными линиями должно быть равным 100 мм и соответствует 100 Гц (100 пауз/с); 1 мм расстояния соответствует тем самым 1 Гц.

Так, например, на рис.1 для 9-й минуты наблюдения приведены следующие значения: угол места - 03-37 ДУ, азимут - 01-25, наклонная дальность - 6240 м, регистрируемая частота - 2035 Гц (опорная частота).

В состав исходных данных должна входить лента СХП, где представляются статические характеристики преобразования радиозонда для температуры и относительной влажности. В качестве примера в табл.1 приведена лента СХП радиозонда МАРЗ-2-2.

Значения коэффициентов СХП для датчиков температуры и относительной влажности данного радиозонда позволяют вычислить значения температуры и относительной влажности для каждого значения частот  $F_i$  или  $F_n$  и  $F_{оп}$  по соответствующим формулам.

## Образец ленты СХП радиозонда МАРЗ-2-2

Содержание этикетки		Пояснение
*****		Начало этикетки
0*2-271008155 *0		Номер радиозонда
1* 30480,0 *1		$R_{01}$ , Ом
2* 30480,0 *2		$R_{02}$ , Ом
3* 1080 *3		$F_{оп}$ , Гц
* *		Данные датчика влажности
* * *		
* *		
5* 72519 *5		
10* 119,6 *10		Номер датчика влажности
11* -7,5 *11		Коэффициент $K$ , %
12* ,00 *12		Коэффициент $N$ , %/кОм
		Коэффициент $M$ %/кОм <sup>2</sup>
,9214	100	Характеристики датчика влажности (слева даны значения $y_n = F_n/F_{оп}$ , справа - соответствующие значения относительной влажности).
,9140	98	
,6686	96	
,6647	94	
****		Данные датчика температуры
*		
*		
6* 34965 *6		
7* ,08964 *7		Номер датчика температуры
8* 4358,58 *8		Коэффициент $A$ , Ом
9* 91,142 *9		Коэффициент $B$ , °С
,0410	-90	Коэффициент $C$ , К
,0457	-88	Характеристики датчика температуры (слева даны значения $y_1 = F_1/F_{оп}$ , справа - соответствующие значения температуры)
,8971	48	
,9017	50	
*****		Конец этикетки

В последние годы в связи с интенсивным развитием средств вычислительной техники и разработкой автоматизированных систем зондирования атмосферы взамен ленты регистрации все чаще используется компьютерный вариант исходных данных зондирования (табл. 2).

**Пример компьютерного варианта исходных  
данных зондирования**

002.znd

Данные радиозондирования за 15-11-93, 12 ч

Зонд: 73318 Станция: 26063                      Высота станции: 30 м

Широта: 60°                      Долгота: - 30°

 $P = 1037.5$  гПа                       $T = -7.20$ С                       $U = 74$  %

Облачность: 84234                      Ветер: 19001                      Высота Солнца: 20°

\* Сертификат\*

 $R01 = 30480$                        $R02 = 30480$                        $F_{оп} = 2080$  $A = 0.32306$                        $B = 3840.34$                        $C = 82.075$  $K = 120.2$                        $N = -10.1$                        $M = 0.2$ 

$T$ , мин	УМ (ДУ)	АЗМ (ДУ)	Дальность, (м)	$T$ , мин	$F$
0,5	5,97	6,19	170	0,9	1200
1	6,31	4,01	280	1,1	1686
1,5	6,81	5,11	550	1,2	1250
2	7,32	5,31	730	1,8	1244
2,5	7,51	5,76	970	1,9	2044
3	8,06	6,34	1140	2,6	1515
4	8,85	7,22	1590	3,1	1217
.....	.....	.....	.....	.....	.....

Из приведенного примера в табл. 2 следует, что это данные радиозондирования 15.11.93 за срок 12 ч. Зондирование выполнялось с помощью зонда N73318 со станции 26063, высота которой над уровнем моря составляет 30 м; географические координаты станции - широта 30° с.ш., долгота 30° в.д. Давление воздуха составляло 1037,5 гПа, температура была равна -7,2 °С, а влажность - 74 %.

В момент выпуска облачность была 10375 (закодирована по коду КН-01), скорость ветра - 1 м/с, а его направление -  $190^\circ$ . Высота Солнца, определенная для данного выпуска в соответствии с действующим Наставлением [2], составляла  $20^\circ$ . Поправки по результатам контрольной выдержки радиозонда составили  $-0,1^\circ\text{C}$  для датчика температуры и 17 % для датчика относительной влажности (в настоящее время в соответствии с действующим Наставлением они не учитываются при обработке данных радиозондирования). Далее представлены коэффициенты СХП и исходные результаты радиозондирования.

В левой части таблицы приводятся данные радиолокационного определения координат радиозонда - угла места (УМ), азимута (АЗМ) в делениях угломера (ДУ) и наклонной дальности (Дальность) в метрах (м) для определенных моментов времени ( $T$ ) в минутах.

В правой части таблицы представлена телеметрическая информация - определенные частоты ( $F$ ) для некоторых моментов времени ( $T$ ). Это могут быть частоты  $F_1$ ,  $F_n$  или  $F_{\text{оп}}$ , определенные для моментов резкого изменения соответствующих частот: для датчика температуры могут определяться и дополнительные частоты, исходя из требования, чтобы временной интервал для измеряемой частоты не превосходил 1,5 мин. Зная возможные диапазоны изменения частот телеметрического канала для зондов МАРЗ-2, идентификация частот, как правило, не вызывает трудностей.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

### Темы:

1. Аэрологическая информация и особенности ее получения.
2. Малогабаритный радиозонд типа МАРЗ.
3. Комплексное температурно-ветровое зондирование атмосферы.

Контрольная работа № 1 состоит из двух индивидуальных заданий по обработке результатов радиолокационных наблюдений за ветром и обработке телеметрических сигналов радиозонда МАРЗ-2.

## Задание 1. Обработка радиовеетровых наблюдений

Получить распределение с высотой направления и скорости ветра по данным радиозондирования.

Материалы, необходимые для обработки:

1. Компьютерный вариант исходных данных,
2. Таблица КАЭ-3,
3. Таблица КАЭ-3А.

Обработку радиовеетровых наблюдений следует выполнять в следующей последовательности.

Для обрабатываемых моментов времени (через 0?5 мин до 3-й минуты включительно; через 1 мин с 3-й до 10-й мин; через 2 мин с 10-й мин) с ленты регистрации или с компьютерного варианта задания записать в бланк КАЭ-3 соответствующие значения угла места ( $\delta_i$ ), азимутального угла ( $\alpha_i$ ) и наклонной дальности ( $D_i$ ). При отсутствии для каких-то моментов времени координат радиозонда записывать то, что реально есть в выданном задании.

По записанным в бланке КАЭ-3 координатам  $\delta_i$  и  $D_i$  вычисляют высоту радиозонда над поверхностью земли ( $H_{п.з.}$ ), по формуле:

$$(H_{п.з.})_i = D_i \cdot \sin(\delta_i, 6) + 0,5887 \cdot 10^{-7} \cdot D_i^2, \quad (1)$$

где наклонная дальность ( $D_i$ ), берется в метрах, а угол места ( $\delta_i$ ) - в делениях угломера (ДУ). Обычно поправку на рефракцию радиоволн (второе слагаемое в правой части выражения (1) следует рассчитывать, начиная с наклонной дальности ( $D_i$ ), равной 20000 м.

Вычисленные значения ( $H_{п.з.}$ ), округленные до 10 м, записывают в соответствующую графу бланка КАЭ-3.

Определяют высоту радиозонда над уровнем моря  $H_i$ , прибавляя к значениям ( $H_{п.з.}$ )<sub>*i*</sub> высоту станции над уровнем моря  $H_0$ . Полученные значения высот наносят на график зависимости высоты  $H$  от времени  $t$  в масштабе: по вертикали - 1 см ~ 200 м; по горизонтали - 1 см ~ 2 мин. Нанесенные точки соединяют отрезками прямых линий, осредненными примерно по 10-минутным интервалам. Отклонения реальных значений  $H_i$  от построенного графика не должны

превышать 100 м до высоты 5 км, 200 м на высотах от 5 до 10 км и 300 м на высотах свыше 10 км.

По измеренным значениям угла места ( $\delta_i$ ), азимутального угла ( $\alpha_i$ ) и наклонной дальности ( $D_i$ ) для соответствующих интервалов времени ( $t, t_{i-1}$ ) следует определить значения скорости ( $V_{i,i-1}$ ) и направления ( $d_i, d_{i-1}$ ) ветра. Для этого можно использовать следующие соотношения:

$$X_i = D_i \cdot \cos(\delta_i \cdot 6) \cdot \cos(\alpha_i \cdot 6),$$

$$Y_i = D_i \cdot \cos(\delta_i \cdot 6) \sin(\alpha_i \cdot 6), \quad (2)$$

$$V_{i,i-1} = \frac{\sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}}{60(t_i - t_{i-1})}, \quad (3)$$

$$d_{i,i-1} = 180^\circ + a_{i,i-1}, \text{ если } \Delta X > 0, \Delta Y > 0,$$

$$d_{i,i-1} = a_{i,i-1}, \text{ если } \Delta X < 0, \Delta Y < 0. \quad (4)$$

$$d_{i,i-1} = 360^\circ - a_{i,i-1}, \text{ если } \Delta X < 0, \Delta Y > 0,$$

$$d_{i,i-1} = 180^\circ - a_{i,i-1}, \text{ если } \Delta X > 0, \Delta Y < 0.$$

$$a_{i,i-1} = \operatorname{arctg} \left| \frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} \right|. \quad (5)$$

Полученные значения скорости и направления ветра записывают в соответствующие графы бланка КАЭ-3 в строку, соответствующую концу обрабатываемого интервала времени, т.е. моменту времени  $t_i$ .

Осуществляют привязку полученных ветровых характеристик к высоте. При этом найденные значения скорости и направления ветра обычно относят к высоте середины слоя, пройденному радиозондом за соответствующий интервал времени. Последняя определяется по

построенному графику  $H(t)$  для момента времени, равному среднему значению из двух соседних обрабатываемых моментов времени. Найденные значения высот записывают в графу “Высота середины слоя над уровнем моря” бланка КАЭ-3 (графу “Высота середины слоя над поверхностью земли” можно не заполнять).

Полученные значения скорости и направления ветра, отнесенные к высотам середины слоев, наносят на график, который строится в масштабе: по вертикали - 1 см ~ 1 км; по горизонтали - 1 см ~ 2 м/с, 1 см ~  $10^\circ$ . Все нанесенные точки соединяют непрерывными ломаными линиями.

С построенных графиков снимают значения скорости и направления ветра на стандартных высотах, изобарических поверхностях, высотах особых точек, уровнях наибольшей скорости ветра и максимальной скорости ветра.

В основу критерия для выбора особых точек ветра положена возможность восстановления по этим точкам кривой изменения с высотой направления ветра с точностью до  $10^\circ$ , скорости ветра до 5 м/с. Особыми точками ветра являются начальная и конечная высота подъема, уровень максимальной скорости ветра, границы пропуска в наблюдениях. Дополнительно на построенных кривых изменения ветра с высотой намечают предполагаемые особые точки, где наблюдается значительный излом кривых. Затем последовательно, в порядке возрастания высоты, исследуют каждую предполагаемую особую точку. Для этого соединяют прямой две соседние с исследуемой точки: нижележащую, уже выбранную особую точку, и вышележащую предполагаемую особую точку. На этой прямой на уровне исследуемой точки определяют линейно интерполированное значение скорости или направления ветра. Исследуемую точку включают в число особых, если:

- линейно интерполированное значение скорости ветра отличается от действительного более чем на 5 м/с;
- линейно интерполированное значение направления ветра отличается от действительного более чем на  $10^\circ$ .

Найденные значения скорости и направления ветра на стандартных высотах, стандартных изобарических поверхностях, высотах особых точек записывают в соответствующие графы бланка КАЭ-3а.

## Задание 2. Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда МАРЗ – 2

Найти распределение с высотой давления  $P$ , температуры  $T$ , влажности  $u$ , скорости  $V$  и направления ветра  $d$  по данным радиозондирования атмосферы системой "Метеорит" – радиозонд МАРЗ-2.

Необходимые для обработки материалы:

- 1) таблица выпуска ТАЭ-46;
- 2) компьютерный вариант исходных данных зондирования.

Сущность обработки данных радиотелеметрического канала радиозонда МАРЗ-2 заключается в следующем:

- 1) дешифровка сигналов, т.е. переход от измеренных и зарегистрированных на ленте частот метеовеличин (либо заданных в компьютерной таблице исходных данных) непосредственно к значениям температуры и относительной влажности;

- 2) построение графических зависимостей, удобных в дальнейшем для определения метеовеличин на любой высоте;

- 3) использование полученных данных для расчета давления воздуха по известной барометрической формуле;

- 4) составление итоговых таблиц зондирования, контроль полученных данных и кодировании полученной информации с помощью соответствующих кодов.

Учитывая особенности конструкции радиозонда МАРЗ-2, можно рекомендовать такой порядок обработки.

Если исходные данные представлены на ленте регистрации (рис.1), то по дискретно напечатанным на ленте частотам температуры ( $F_t$ ) и относительной влажности ( $F_u$ ) вычерчивают непрерывные кривые изменения этих частот во времени; при этом для частот температуры обычно используют синий цвет, а для частот относительной влажности - красный.

На проведенных кривых намечают точки для обработки. В обработку включают точки регистрации частоты температуры и относительной влажности, в которых изменяется наклон кривой (точки излома). В обработку сигналов температуры в тропосфере обязательно включают границы участков с постоянным или увеличивающимся во времени значением частоты температуры (границы слоев изотермии и инверсии) независимо от продолжительности этих уча-

стков. Если указанных точек мало, в обработку включают дополнительные точки с таким расчетом, чтобы в обработку сигналов температуры были взяты точки не реже чем через 1,5 мин. В стратосфере интервалы между обрабатываемыми точками температуры не должны быть более 2 мин.

Через выбранные точки проводят синхронные (горизонтальные) линии.

Определяют частоты температуры ( $F_t$ ) и относительной влажности ( $F_u$ ), соответствующие выбранным для обработки точкам, а также значения опорной частоты ( $F_{оп}$ ), ближайшие к этим точкам. Найденные значения частот и соответствующие им моменты времени, определенные с помощью синхронных линий, записывают, используя указанные цвета, на ленте регистрации. При этом если, например, в момент времени 1,6 мин была найдена частота температуры, равная 1751 Гц, то на ленте регистрации следует синим цветом записать следующее число: 01601751. Для записи расшифрованных значений опорной частоты обычно используется черный цвет. Именно эти данные и содержатся, собственно говоря, на компьютерном варианте задания исходных данных (см. табл. 2 в разделе «Общие указания к контрольным работам»). Правда, могут возникнуть определенные трудности в идентификации записанных значений частот, однако, зная тип радиозонда МАРЗ-2 и характерные диапазоны изменения частот метеовеличин, решение этой задачи выполняется достаточно успешно.

Используя коэффициенты СХП, можно определить соответствующие значения температуры и относительной влажности с помощью следующих формул:

$$t = \frac{B}{\frac{F_{оп1}R_{01}}{F_t} - R_{02}} - c - 2735 \quad (6)$$

$$u = K + N \left( \frac{F_{оп1}R_{01}}{F_u} - R_{02} \right) \cdot 10^{-3} + M \left( \frac{F_{оп1}R_{01}}{F_u} - R_{02} \right)^2 \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Найденные значения температуры и относительной влажности записывают на ленте регистрации для соответствующего момента времени или рядом с использованным значением метеорологической частоты в бланке компьютерного задания исходных данных.

Полученные значения температуры следует исправить на величину радиационной поправки, которая находится по табл. 3 в зависимости от высоты зонда и высоты Солнца. Если высота Солнца неизвестна, ее следует найти по табл. 4 для местного среднего солнечного времени, соответствующего середине подъема радиозонда и определенной дате зондирования. Высоту Солнца находят на пересечении строки, соответствующей дате выпуска, с графой, соответствующей среднему времени подъема радиозонда. В том случае, когда среднее время (местное среднее солнечное) подъема не равно целому часу, высоту Солнца вычисляют путем линейной интерполяции между значениями высоты Солнца для целых часов. Следует учитывать при этом, что табл.3 соответствует широте места наблюдения, равной  $60^{\circ}$  с.ш.

Таблица 3

**Радиационные ошибки  $\Delta t$  радиозонда MAP3-2**

	H, км					Высота Солнца $h_0O$				
	-1	0	5	10	15	20	25	30	40	50
1					0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
5				0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
10			0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9
11			0,3	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0
12			0,3	0,4	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,2
13		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3
14		0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4	1,5
15		0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,6	1,8
16	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8
17	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,7	1,9	1,9
18	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8	2,0	2,1
19	0,3	0,4	0,6	0,9	1,1	1,5	1,8	2,0	2,2	2,3
20	0,3	0,4	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4

Значения температуры и относительной влажности, полученные в процессе обработки исходных данных радиозондирования, наносят на ранее построенный график зависимости высоты подъема ра-

диозонда от времени, для чего следует построить две вертикальные оси: температуры - в масштабе 1 см ~ 2° С (значения температуры должны убывать вверх по оси) и относительной влажности - в масштабе 1 см ~ 10% . Все нанесенные точки соединяют непрерывными ломаными линиями (кривые температуры и относительной влажности). Следует обратить особое внимание на характер полученной кривой температуры: на ней не должно быть очень резких изменений температуры (более 1° С) за достаточно короткие временные интервалы; если такие случаи есть, их необходимо исключить из дальнейшего рассмотрения.

Таблица 4

Высота Солнца для широты 60°

Дата		Время, ч											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Январь	1-10									-7	-1	3	6
	11-20									-6	1	6	9
	21-30									-5	1	6	9
Февраль	31-9								-10	-3	3	8	12
	10-19								-7	0	6	11	15
	20-1							-11	-4	3	9	14	18
Март	2-11							-8	-1	6	13	18	21
	12-21						-12	-4	3	10	16	21	24
	22-31						-8	-1	6	14	20	25	
Апрель	1-10					-11	-4	3	11	19	25	30	33
	11-20					-7	0	8	15	22	29	34	37
	21-30				-10	-4	3	10	18	25	32	37	40
Май	1-10				-6	0	6	13	21	28	35	40	43
	11-20			-9	-4	2	8	15	23	30	37	42	46
	21-30			-6	-1	4	10	17	25	32	39	44	48
Июнь	31-9		-6	-4	0	6	12	19	27	34	41	46	50
	10-19		-5	-3	1	6	13	20	27	35	42	47	51
	20-29	-12	-5	-3	1	7	13	20	28	35	42	48	52
Июль	30-9	-13	-6	-4	1	6	12	20	27	34	41	47	51
	10-19			-5	0	5	11	19	26	33	40	47	50
	20-29			-6	-2	3	10	17	24	31	38	45	48
Август	30-8			-8	-4	1	8	15	22	30	37	43	46
	9-18				-7	-1	6	13	20	28	34	40	44
	19-28				-9	-3	3	11	18	26	32	37	41
Сентябрь	29-7					-6	1	8	15	23	29	34	38
	8-17					-8	2	5	13	20	26	31	35
	18-27						-5	2	10	16	22	28	31
Октябрь	28-7						-8	0	7	14	20	24	27
	8-17						-11	-4	4	11	16	21	24

	18-27									-7	1	7	13	17	20
	28-6									-9	-2	4	10	14	15
Ноябрь	7-16										-6	1	6	10	12
	17-26										-8	-1	4	8	10
	27-6										-10	-4	2	6	8
Декабрь	7-16											-5	0	4	6
	17-26											-6	-1	3	5
	27-31											-7	-1	3	5

Дата	Время, ч												
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	1-10	6	6	3	-1	-6							
Январь	11-20	10	8	5	1	-5							
	21-30	10	10	7	3	-2	-8						
	31-9	13	13	10	6	1	-6						
Февраль	10-19	16	16	13	9	3	-3						
	20-1	19	19	16	12	6	0	-8					
	2-11	22	23	19	15	10	3	-5					
Март	12-21	26	26	23	18	13	6	-2	-9	-10			
	22-31	30	29	26	21	15	8	1	-6	-7			
	1-10	35	34	31	26	19	12	5	-3	-4	-10		
Апрель	11-20	38	38	34	29	22	15	8	0	-3	-8		
	21-30	42	41	37	32	25	18	10	3	-1	-7		
	1-10	45	44	40	34	28	20	13	5	1	-5		
Май	11-20	48	46	42	36	30	22	15	7	3	-3	-6	
	21-30	50	48	44	38	32	24	17	10	5	0	-4	-7
	31-9	52	50	46	40	34	26	19	12	6	1	-3	-6
Июнь	10-19	53	51	47	41	35	27	20	12	7	1	-2	-5
	20-29	53	52	48	42	36	28	21	13	7	1	-3	-5
	30-9	53	51	48	42	35	28	20	13	6	0	-4	-7
Июль	10-19	52	50	47	41	34	27	19	12	4	-1	-5	
	20-29	50	49	45	40	33	26	18	11	2	-3	-7	
	30-8	49	48	44	38	31	24	17	9	1	-5		
Август	9-18	46	44	41	35	29	21	14	7	0	-6		
	19-28	43	42	38	33	26	19	12	4	-2	-9		
	29-7	39	38	34	29	23	15	8	1	-6			
Сентябрь	8-17	35	35	31	26	20	13	5	-2	-9			
	18-27	32	30	27	22	16	9	1	-6				
	28-7	28	27	23	18	12	6	-3	-10				
Октябрь	8-17	24	23	19	14	8	2	-6					
	18-27	20	19	16	11	5	-2	-10					
	28-6	16	15	12	7	1	-6						

Ноябрь	7-16	13	11	8	3	-3	-9						
	17-26	11	9	6	2	-5							
	27-6	8	7	4	0	-6							
Декабрь	7-16	7	6	3	-1	-7							
	17-26	6	5	2	-2	-7							
	27-31	6	3	2	-1	-6							

С построенных графиков для моментов времени, соответствующих стандартным высотам подъема радиозонда, снимают значения температуры и относительной влажности. Полученные данные записывают в таблицу ТАЭ-46.

Вычисляют среднюю температуру и среднюю относительную влажность слоя между стандартными высотами, записывая найденные значения в соответствующие ячейки ТАЭ-46.

Определяют среднюю виртуальную температуру слоя ( $\bar{t}_v$ ) в °С, используя следующее выражение:

$$\bar{t}_v = \bar{t} + (\bar{t} + 273,15) \cdot 0,37942 \frac{e}{P - e}, \quad (8)$$

$$e = \frac{\bar{u}}{100} 6,1 \cdot 10^{7,5 \bar{t} / (237,3 + \bar{t})}$$

где  $\bar{t}$  – средняя температура слоя;  $\bar{u}$  – средняя относительная влажность слоя;  $P$  – давление по стандартной атмосфере, соответствующее середине рассматриваемого слоя;  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа.

Для определения реального давления воздуха на стандартных высотах ( $P$ ) следует использовать барометрическую формулу вида

$$P = P_0 \cdot \exp \left[ - \frac{g \Delta h}{R(\bar{t}_v + 273)} \right], \quad (9)$$

где  $R = 287,052$  Дж/кг·К – удельная газовая постоянная сухого воздуха;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;  $P_0$  – давление на исходном уровне,  $\Delta h$  – толщина рассматриваемого слоя. Обычно берут слои стандартной толщины, соответствующей перепаду стандартных высот.

Вычисленные значения давления воздуха на стандартных высотах следует записать в соответствующие ячейки таблицы ТАЭ-46.

Определение высоты стандартных изобарических поверхностей 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200 и 100 гПа производится по следующей формуле:

$$H_p = h + \left( \frac{t_v + 273,15}{s} \right) \ln \frac{P_h}{P}, \quad (10)$$

где  $H_p$  - высота стандартной изобарической поверхности  $p$ ,  $P_h$  - давление воздуха на ближайшей стандартной высоте  $h$ ;  $s = 0,0341677$ , если используются значения высоты  $h$  в м.

Для изобарических поверхностей до 500 гПа расчет высоты производится с точностью до 1 м, а выше - с точностью до 10 м.

Если наземное давление оказалось ниже 1000 гПа, то следует расчет высоты изобарической поверхности 1000 гПа выполнить, используя следующее выражение:

$$H_{1000} = \frac{(t_{v0} + 273,15) + 0,00632h_0}{0,0341632} \cdot \ln \left( \frac{P_0}{1000} \right) + h_0, \quad (11)$$

где  $t_{v0}$  - виртуальная температура воздуха на поверхности земли (в °C),  $P_0$  - давление воздуха на поверхности земли,  $h_0$  - высота станции над уровнем моря.

Вычисленные значения высот стандартных изобарических поверхностей и снятые с графика обработки данных радиозонда МАРЗ-2 для этих высот величины температуры и относительной влажности следует записать в бланк ТАЭ-46.

Для стандартных изобарических поверхностей следует вычислить еще и дефицит точки росы ( $D$ ), который может быть найден следующим образом:

$$t_d = t - D, \quad (12)$$

$$D = t - \alpha \frac{A}{B}, \quad (13)$$

где  $t$  - температура воздуха;  $t_d$  - температура точки росы в °С;  $u$  - относительная влажность воздуха,

$$A = \beta \cdot t + \gamma(\alpha + t) \cdot \ln\left(\frac{u}{100}\right), \quad B = \alpha \cdot \beta - \gamma(\alpha + t) \cdot \ln\left(\frac{u}{100}\right), \quad (14)$$

$$\alpha = 241,9; \beta = 7,6326; \gamma = 0,43429.$$

Теперь следует определить наличие уровня тропопаузы и его высоту. Тропопауза определяется как первый уровень, лежащий не ниже изобарической поверхности 500 гПа, между которым и всеми более высокими уровнями в слое толщиной не менее 2 км средний вертикальный градиент температуры не превышает 2°/км. Тропопаузу определяют, анализируя кривую температуры на графике обработки подъема радиозонда. Намечают предполагаемый уровень тропопаузы, а затем исследуется, удовлетворяет ли этот уровень критериям выбора тропопаузы. Для этого на кривой высоты находят момент времени, соответствующий верхней границе 2-километрового слоя выше предполагаемого уровня тропопаузы. Для этого момента времени наносят точку с температурой на 4° ниже температуры на уровне предполагаемой тропопаузы. Нанесенная точка соединяется пунктирной линией с точкой температуры на уровне предполагаемой тропопаузы. Эта линия называется демаркационной и по смыслу построения отделяет зону кривой температуры со средним вертикальным градиентом больше 2°/км от зоны со средним вертикальным градиентом, равным и меньшим 2°/км.

Если демаркационная линия, не пересекая кривую температуры, располагается выше и левее ее или совпадает с кривой температуры полностью или частично, то в этом случае средний вертикальный градиент температуры между предполагаемым уровнем тропопаузы и любым уровнем в пределах 2 км выше тропопаузы будет равен или меньше 2°/км, а предполагаемый уровень будет искомым уровнем тропопаузы. Если же демаркационная линия пересекает кривую температуры или проходит ниже и правее ее, то предполагаемый уровень не будет уровнем тропопаузы. В этом случае описанную процедуру поиска тропопаузы следует повторить для других вышележащих предполагаемых уровней тропопаузы.

Весьма важным значением при обработке данных радиозондирования является нахождение высот особых точек температуры и относительной влажности.

Особыми точками температуры являются: уровень станции, конечная высота зондирования по температуре, уровень тропопаузы, нижняя и верхняя границы слоев температурной инверсии в тропосфере, нижняя и верхняя границы слоев изотермии в тропосфере продолжительностью свыше  $3^{\circ}\text{C}$ , уровни резких изломов кривой температуры, удовлетворяющие критериям выбора особых точек температуры.

Особыми точками относительной влажности являются границы слоя (уровень) со значением относительной влажности, равным 100%, уровни резких изломов кривой относительной влажности, удовлетворяющие критерию выбора особых точек влажности.

В основу критерия выбора особых точек положена возможность восстановления по данным особых точек, включаемых в телеграмму, кривой температуры с точностью до  $1^{\circ}\text{C}$  в тропосфере и до  $2^{\circ}\text{C}$  в стратосфере; кривой влажности - с точностью до 15%. Выбор особых точек температуры и особых точек влажности производят независимо по кривым, построенным на графике обработки подъема радиозонда.

На кривых температуры и влажности одними условными знаками (обычно кружками) отмечают точки, являющиеся априори особыми, и другими знаками (галочками), отличными от первых, предполагаемые особые точки, т.е. точки изломов кривой, соответствие которых критерию особых точек нужно установить. Затем последовательно в порядке возрастания высоты исследуют каждую предполагаемую особую точку. Для этого на уровне предполагаемой особой точки определяют разность измеренной и линейно интерполированной температуры (влажности). При этом линейную интерполяцию температуры (влажности) производят между значениями температуры (влажности) в соседних двух точках: в нижележащей, уже выбранной особой точке (начиная всегда с уровня станции) и вышележащей предполагаемой (или априори) особой точке.

Практически интерполяцию осуществляют графическим способом. Соединяют пунктиром две соседние с исследуемой особые точки: нижележащую, уже выбранную, и вышележащую предполагаемую (или априори) особую точку. Исследуемую точку включают

в число особых точек температуры (влажности), если разность между измеренной температурой (влажностью) и отсчитанной по пунктирной прямой больше  $1^{\circ}\text{C}$  в тропосфере и  $2^{\circ}\text{C}$  в стратосфере (для относительной влажности 15% во всем исследуемом слое). Найденные особые точки по температуре и относительной влажности в порядке возрастания высоты следует записать в таблицу ТАЭ-4б.

Расчет давления на уровне особых точек (и уровне тропопаузы) можно выполнить по следующей формуле:

$$P_i = P_h \cdot \exp \left[ \frac{s(h-h_i)}{t_v + 273,15} \right], \quad (15)$$

где  $P_i$  – давление на ее уровне;  $h$  – ближайшая стандартная высота, расположенная ниже особой точки,  $P_h$  – давление на ней;  $h_i$  – высота особой точки;

$t_v$  – виртуальная температура слоя между стандартными высотами, где располагается найденная особая точка;  $s = 0,0341677$ .

Для найденных особых точек по температуре и относительной влажности следует также определить значения температуры и относительной влажности, сняв их с графика обработки подъема радиозонда, дефицита точки росы, рассчитав его по описанной выше методике. Найденные значения указанных метеорологических величин для уровней особых точек следует записать в соответствующие ячейки таблицы ТАЭ-4б.

Используя формулу (15), следует определить давление и на уровне особых точек по ветру; полученные результаты необходимо записать в бланк КАЭ-3а.

Результаты комплексного температурно-ветрового зондирования записывают в таблицу ТАЭ-3. Запись осуществляют по уровням в порядке возрастания высоты. В ТАЭ-3 включают следующие уровни: высоту станции над уровнем моря; изобарические поверхности, входящие в телеграмму; особые точки; уровни 0,3, 0,6 и 0,9 км над поверхностью земли; уровень тропопаузы; стандартные вы-

соты; уровень максимальной скорости ветра; максимальную высоту зондирования. Заглавную часть таблицы ТАЭ-3 заполняют в соответствии с названием граф.

В графу *H* записывают высоту в километрах над уровнем моря с двумя десятичными знаками, высоты изобарических поверхностей 1000, 850 и 700 гПа - с тремя десятичными знаками.

В графе *P* приводят давление с той точностью, с которой оно вычислялось при обработке.

В графе *t* указывают температуру в градусах Цельсия с десятичными долями.

В графу *u* записывают значения относительной влажности в процентах.

В графах *d* и *v* помещают данные о направлении (в градусах) и скорости (в м/с) ветра соответственно.

В графе *t<sub>d</sub>* указывают значение температуры точки росы с десятичными долями градуса на уровнях изобарических поверхностей и особых точек температуры и относительной влажности.

При составлении таблицы ТАЭ-3 вычисляют вертикальный градиент температуры  $\gamma$  и вертикальную скорость подъема радиозонда *w*.

Вертикальный градиент температуры рассчитывают для слоев, ограниченных либо двумя особыми точками температуры, либо одной особой точкой температуры и соседней стандартной высотой либо двумя стандартными высотами. Если толщина слоя между особой точкой и стандартным уровнем составляет 200 м или меньше, градиент вычисляют, пропустив этот стандартный уровень. Верхней границей слоя в этом случае будет или вышележащая особая точка или следующий стандартный уровень. Между двумя особыми точками температуры (включая и высоту станции над уровнем моря) градиент рассчитывают при любой толщине слоя.

Вычисление вертикального градиента температуры в заданном слое производят с точностью 0,010/100 м путем деления разности температур на границах слоя на разность высот, выраженную в сотнях метров. Знак градиента зависит от распределения температуры по высоте: если температура с высотой понижается, градиент положительный; если же температура с высотой повышается, то градиент отрицательный (перед ним ставят знак минус).

Вычисленное значение вертикального градиента температуры записывают в графу  $\gamma$  на высоте, являющейся верхней границей данного слоя.

Вертикальная скорость подъема радиозонда в слоях вычисляется за 10-минутные интервалы времени путем деления разности высот в метрах на разность соответствующих моментов времени в минутах. Точность вычисления 1 м/мин.

В таблицу ТАЭ-3 вычисленную вертикальную скорость записывают в графу  $w$  на стандартной высоте, ближайшей к верхней границе соответствующего слоя.

### Составление телеграммы с данными зондирования атмосферы по коду КН-04

Передача результатов радиозондирования осуществляется в закодированном виде в виде телеграмм. Кодирование осуществляется с помощью кода КН-04. Кодовая структура телеграммы представлена в табл. 5. Рассмотрим особенности кодирования данных радиозондирования.

#### Часть А

**Раздел I.** Сведения о месте и времени наблюдений.

Группа *TTAA* - буквенный указатель кодовой формы и ее части.

Группа *YYGGI<sub>d</sub>*: *YY* - число месяца, *GG* - срок наблюдения по МСВ, округленный до целых часов, *I<sub>d</sub>* - указатель последней стандартной изобарической поверхности, для которой в сводку включены данные о ветре; кодируется следующим образом:

Стандартная изобарическая поверхность	1000	925	850	700	---	500	400	300	200 или 250	100 или 150
Кодовая цифра <i>I<sub>d</sub></i>	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Группа *Iiii* - индекс стационарной наземной аэрологической станции; аэрологическая станция Воейково имеет индекс 26063.

## Кодовая форма

Часть А			
<i>Раздел 1.</i>	ТТАА	УУГГІ <sub>d</sub>	ІІІІі
<i>Раздел 2.</i>	99P <sub>0</sub> P <sub>0</sub> P <sub>0</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub> h <sub>1</sub>	T <sub>0</sub> T <sub>0</sub> T <sub>a0</sub> D <sub>0</sub> D <sub>0</sub> T <sub>1</sub> T <sub>1</sub> T <sub>a1</sub> D <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	d <sub>0</sub> d <sub>0</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> d <sub>1</sub> d <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub>
	P <sub>n</sub> P <sub>n</sub> h <sub>n</sub> h <sub>n</sub> h <sub>n</sub>	T <sub>n</sub> T <sub>n</sub> T <sub>an</sub> D <sub>n</sub> D <sub>n</sub>	d <sub>n</sub> d <sub>n</sub> f <sub>n</sub> f <sub>n</sub> f <sub>n</sub>
<i>Раздел 3.</i>	88P <sub>i</sub> P <sub>i</sub> P <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> T <sub>i</sub> T <sub>ai</sub> D <sub>i</sub> D <sub>i</sub> или 88999	d <sub>i</sub> d <sub>i</sub> f <sub>i</sub> f <sub>i</sub> f <sub>i</sub>
<i>Раздел 4.</i>	77P <sub>m</sub> P <sub>m</sub> P <sub>m</sub>  66P <sub>m</sub> P <sub>m</sub> P <sub>m</sub> или	d <sub>m</sub> d <sub>m</sub> f <sub>m</sub> f <sub>m</sub> f <sub>m</sub> или ..... 77999	(Aν <sub>b</sub> ν <sub>b</sub> ν <sub>a</sub> ν <sub>a</sub> )
Часть В			
<i>Раздел 1.</i>	ТТВВ далее, как в части А.		
<i>Раздел 5.</i>	00P <sub>0</sub> P <sub>0</sub> P <sub>0</sub> T <sub>1</sub> T <sub>1</sub> T <sub>a1</sub> D <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	T <sub>0</sub> T <sub>0</sub> T <sub>a0</sub> D <sub>0</sub> D <sub>0</sub>	n <sub>1</sub> n <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub>
	n <sub>n</sub> n <sub>n</sub> P <sub>n</sub> P <sub>n</sub> P <sub>n</sub>	T <sub>n</sub> T <sub>n</sub> T <sub>an</sub> D <sub>n</sub> D <sub>n</sub>	d <sub>0</sub> d <sub>0</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0</sub> f <sub>0</sub>
<i>Раздел 6.</i>	21212 n <sub>1</sub> n <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	00P <sub>0</sub> P <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	d <sub>1</sub> d <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub> f <sub>1</sub>
	n <sub>n</sub> n <sub>n</sub> P <sub>n</sub> P <sub>n</sub> P <sub>n</sub>	d <sub>n</sub> d <sub>n</sub> f <sub>n</sub> f <sub>n</sub> f <sub>n</sub>	
<i>Раздел 8.</i>	41414	N <sub>h</sub> C <sub>1</sub> hC <sub>M</sub> C <sub>H</sub>	

*Раздел 2.* Данные наблюдений у поверхности земли и на стандартных изобарических поверхностях.

Группа 99P<sub>0</sub>P<sub>0</sub>P<sub>0</sub> : 99 - отличительные цифры того, что далее кодируются данные у поверхности земли; P<sub>0</sub>P<sub>0</sub>P<sub>0</sub> - давление у поверхности земли в целых гПа; если давление равно или больше 1000 гПа, то при кодировании число тысяч отбрасывается.

Группа T<sub>0</sub>T<sub>0</sub>T<sub>a0</sub>D<sub>0</sub>D<sub>0</sub> : T<sub>0</sub>T<sub>0</sub> - температура воздуха у поверхности земли в целых градусах Цельсия (не округленная); T<sub>a0</sub> - приближенное значение десятых долей градуса температуры воздуха у по-

верхности земли и одновременно указатель знака температуры воздуха; при положительных значениях температура округляется до четных десятых долей градуса Цельсия (цифры кода 0,2,4,6,8, соответственно), а при отрицательных значениях округление ведется до нечетных долей (цифры кода 1,3,5,7,9, соответственно).  $D_0D_0$  - дефицит точки росы; при значениях дефицита менее 5 °С цифра кода равна значению дефицита, умноженному на 10; при значениях дефицита в 6 °С (цифра кода 56) и более, цифра кода увеличивается на 1 при увеличении значения дефицита на 1 °С.

Группа  $d_0d_0f_0f_0f_0$  :  $d_0d_0$  - направление ветра (откуда дует), округленное до ближайших 5 или 10°; округленное значение направления ветра сообщается в группе следующим образом: на месте  $d_0d_0$  указываются цифры сотен и десятков, а цифра единиц прибавляется к цифре сотен скорости ветра;  $f_0f_0f_0$  - скорость ветра в м/с.

Далее в разделе 2, начиная с группы  $P_1P_1h_1h_1h_1$ , передаются данные на стандартных изобарических поверхностях. Кодирование осуществляется следующим образом:  $P_1P_1 \dots P_nP_n$  - давление на стандартных изобарических поверхностях (указываются десятки и сотни гПа);  $h_1h_1h_1 \dots h_nh_nh_n$  - геопотенциал соответствующих стандартных изобарических поверхностей (до 700 гПа включительно сообщается в геопотенциальных метрах, при этом цифры тысяч отбрасываются; с 500 гПа - в геопотенциальных декаметрах, цифры десятков тысяч отбрасываются; если поверхность 1000 гПа расположена ниже уровня моря, т.е. получается отрицательное значение геопотенциала, то к абсолютному значению геопотенциала прибавляется 500).

Остальные группы раздела кодируются аналогично соответствующим группам, описанным выше.

*Раздел 3.* Сведения о тропопаузе.

Группа 88  $P_tP_tP_t$  : 88 - отличительные цифры раздела 3;  $P_tP_tP_t$  - давление на уровне тропопаузы, сообщается в целых гПа.

Остальные группы раздела кодируются аналогично соответствующим группам раздела 2.

88999 - кодовая группа; включается вместо раздела 3, если тропопауза в соответствующем слое атмосферы не наблюдалась.

*Раздел 4.* Сведения о максимальном ветре и вертикальных сдвигах ветра.

Уровень максимального ветра определяется как уровень, расположенный выше изобарической поверхности 500 гПа, на котором скорость ветра, превышая 30 м/с, больше скоростей, наблюдаемых на выше- и нижележащих уровнях  $\pm 2$  км) по крайней мере на 10 м/с.

Группа 77  $P_m P_m P_m$ : 77 - отличительные цифры раздела;  $P_m P_m P_m$  - давление на уровне максимального ветра, кодируется так же, как и давление на уровне тропопаузы.

Группа  $d_m d_m f_m f_m$  - направление и скорость максимального ветра, кодируется так же, как и соответствующие группы раздела 2.

Группа  $(4, b, b, v_a)$  - сведения о вертикальных сдвигах ветра, расположенных между уровнем максимума ветра и уровнями на 1 км ниже и выше него; группа может включаться в сводку только в случае запроса на эту информацию.

Группа 77999 включается в сводку вместо раздела 4, если в ходе зондирования уровни максимального ветра не были зафиксированы.

## Часть В

**Раздел 1.** Сведения о месте и времени наблюдений.

Группа *TTBB* - буквенный указатель части *B* кодовой формы.

Остальные группы раздела 1 кодируются так же, как соответствующие группы раздела 1 части А кодовой формы, за исключением последнего символа (а4) в группе *YYGga4*, на месте которого сообщается тип используемого измерительного оборудования; для систем радиозондирования "Метеорит - MAP3-2" а4 равно 3.

**Раздел 5.** Данные на уровнях особых точек в профилях температуры и относительной влажности.

Группы  $00P_0P_0P_0 T_0T_0T_{a0}D_0D_0$  - данные у поверхности земли (на уровне станции) в момент выпуска радиозонда.

00 - отличительные цифры,  $P_0P_0P_0$  - давление в целых гПа, кодируется так же, как соответствующая группа в разделе 2 части А.

Группа  $T_0T_0T_{a0}D_0D_0$  температура и дефицит точки росы, кодируется так же, как соответствующая группа в разделе 2 части А.

Группы  $n_1n_1 P_1P_1P_1 \dots nnnnP_nP_nP_n : n_1n_1 \dots nnnn$  - порядковые номера уровней особых точек, нумеруются от нижнего уровня к верхнему (11, 22, ... ,

99, 11, ...);  $P_1P_1P_1 \dots P_nP_nP_n$  - давление на уровнях особых точек в профилях температуры и относительной влажности; кодируется так же, как в разделе 3 части А кодировалось давление на уровне тропопаузы.

Группы  $T_1T_1T_{01}D_1D_1 \dots T_nT_nT_{nn}D_nD_n$  - температура воздуха и дефицит точки росы на уровнях особых точек; кодируются так же, как и соответствующие группы для стандартных изобарических поверхностей в части А.

**Раздел 6.** Данные на уровнях особых точек в профиле ветра.

21212 - отличительная группа раздела.

Группы  $00P_0P_0P_0 d_0d_0f_0f_0$  - данные у поверхности земли (на уровне станции) в момент выпуска радиозонда.

00 - отличительные цифры,  $P_0P_0P_0$  - давление в целых гПа, кодируется так же, как и в разделе 5 соответствующая группа.

Группы  $n_1n_1P_1P_1P_1 \dots n_nn_nP_nP_nP_n$  - порядковые номера и давление на уровнях особых точек ветра; кодируются так же, как и соответствующие группы в разделе 5 части В.

Группы  $d_1d_1f_1f_1f_1 \dots d_nd_nf_nf_nf_n$  - скорость и направление ветра на уровнях особых точек ветра; кодируются так же, как в разделе 2 части А соответствующие группы для основных изобарических поверхностей.

**Раздел 8.** Данные об облачности в срок наблюдения.

41414 - отличительная группа раздела;  $N_hC_lhC_MC_n$ .  $N_h$  - количество облаков;  $h$  - высота нижней границы нижнего яруса;  $C_n$  - облака нижнего яруса,  $C_c$  - облака среднего яруса,  $C_v$  - облака верхнего яруса.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Темы:

1. Теоретические основы радиолокации.
2. Методы получения метеорологической информации с помощью радиолокационных станций.

### З а д а н и е 1. Анализ основного уравнения радиолокации

Выполнить анализ основного уравнения радиолокации метеорологических объектов.

Для решения этой задачи воспользуйтесь основным уравнением радиолокации облаков и осадков, которое с учетом технических параметров станции МРЛ следует записать в виде

$$\bar{P}_r = \frac{0,1\pi^6 P_t A_p l k}{\lambda^4} \frac{z}{R^2} \psi \varphi k_3 \quad (1)$$

Здесь  $\bar{P}_r$  – средняя мощность отраженного сигнала, принимаемого антенной радиолокатора; 0,1 – численное значение, полученное экспериментальным путем при учете коэффициента использования волноводного тракта, коэффициента связи между усилением и шириной диаграммы направленности и др.  $P_t$  – мощность излучаемого импульса;  $A_p$  – поперечное сечение параболической антенны ( $A_p = 2/3 A_3$ , где  $A_3$  – эффективная поверхность антенны);  $l = ct$  – протяженность зондирующего радиоимпульса (где  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн,  $t$  – длительность импульса излучения);  $k$  – коэффициент полезного действия антенно-волноводного тракта;  $\lambda$  – длина волны радиолокатора;  $z$  – радиолокационная отражаемость;  $R$  – расстояние до объекта;  $\psi$  – суммарный коэффициент ослабления;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий влияние земной поверхности на распространение радиоволн;  $k_3$  – коэффициент заполнения объема импульса отражающими частицами.

Примем в дальнейшем

$$\psi = \varphi = k_3 = 1, \quad (2)$$

а величина  $z$  рассчитывается по формуле:

$$z = \sum_i r_i \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \quad (3)$$

где суммирование производится по единичному объему;  $r$  – радиус частиц;  $m$  – комплексный показатель преломления.

Формула для  $z$  справедлива, если  $r \ll 0,03 \lambda$ , т.е. можно принять, что обратное рассеяние может быть описано формулой Релея.

Практически при измерениях определяют уровень отраженного сигнала, как отношение  $\bar{P}/P_{\text{ш}}$ , где  $P_{\text{ш}}$  — мощность шумов.

Преобразуем выражение (1) с учетом (2):

$$\frac{\bar{P}_r}{P_{\text{ш}}} = \Pi_{\text{М}} \frac{z}{R^2}, \quad (4)$$

где метеорологический потенциал

$$\Pi_{\text{М}} = \frac{0,1\pi^6 P_t A p l k}{P_{\text{ш}} \lambda^4}. \quad (5)$$

Чтобы получить  $z$  в  $\text{мм}^6/\text{м}^3$  в формуле (4) приведем  $\Pi_{\text{М}}$  к размерности  $\frac{\text{км}^2}{\text{мм}^6/\text{м}^3}$  по соотношению

$$\Pi_{\text{М}} [\text{М}^{-1}] = 10^{-24} \left[ \frac{\text{км}^2}{\text{мм}^6/\text{М}^3} \right] \quad (6)$$

Прологарифмировав выражение (4) и умножив левую и правую части полученного равенства на 10, получаем рабочий вид основного уравнения радиолокации метеорологических объектов

$$\left( \frac{\bar{P}_r}{P_{\text{ш}}} \right)' + \Pi'_{\text{М}} + 10 \lg z - 20 \lg R, \quad (7)$$

$$\text{где } \left( \frac{\bar{P}_r}{P_{\text{ш}}} \right)' = 10 \lg \frac{\bar{P}_r}{P_{\text{ш}}} \quad \text{и} \quad \Pi'_{\text{М}} = 10 \lg \Pi_{\text{М}}.$$

Размерность величин  $\left(\frac{\bar{P}_r}{P_{ш}}\right)'$  и  $\Pi'_m$  — в децибеллах (дБ).

Теоретический анализ возможностей практического применения выражения (7) предполагает использование следующих основных понятий: предельный радиус действия МРЛ (зона радиовидимости); максимальный радиус действия МРЛ, минимальный метеорологический потенциал  $\Pi_{m_{\min}}$  и минимальная радиолокационная отражаемость на заданном расстоянии.

Необходимым условием при этом является введение коэффициента различимости ( $K_p$ ), необходимого для надежного определения сигнала относительно уровня шумов.

Для МРЛ

$$K_p = \left(\frac{\bar{P}_r}{P_{ш}}\right)'_{\min} = 2 \text{ дБ} \quad (8)$$

Решая уравнение (7) относительно  $\lg R$  и учитывая соотношение (8), приходим к выражению, описывающему максимальный радиус действия МРЛ:

$$\lg R_{\max} = 0,05(\Pi'_m - 10 \lg z - K_p). \quad (9)$$

Следует учитывать, что при распространении радиоволн над сферической поверхностью Земли в результате радиорефракции появляется так называемый радиогоризонт, т.е. граница, определяемая точкой касания линии "радиозрения" с поверхностью Земли. Поэтому при использовании МРЛ часто вводят понятие предельной дальности действия радиолокатора ( $R_{\text{пр}}$ ), т.е. такое расстояние, при котором объект, находящийся на определенной высоте ( $H$ ), будет расположен на границе радиовидимости. При этом для определения  $R_{\text{пр}}$  может быть использовано следующее выражение:

$$R_p = \sqrt{2R_e}(\sqrt{H} + \sqrt{h_o}), \quad (10)$$

где  $R_3$  – "эквивалентный" радиус Земли, относительно которого при радиорефракции траектория распространения радиоволн является прямолинейной;  $h_0$  – высота МРЛ над поверхностью земли.

При этом

$$R_3 = R_3 \left( 1 + R_3 \frac{dn}{dh} \right)^{-1}, \quad (11)$$

где  $R_3 = 6370$  км – радиус Земли;  $\frac{dn}{dh}$  – вертикальный градиент показателя преломления в тропосфере. Коэффициент преломления радиоволн в атмосфере  $n$  определяется по формуле

$$n = 1 + \frac{78,5}{T} \left( P + \frac{4799e}{T} \right) 10^{-6} \quad (12)$$

где  $P$  – давление воздуха, гПа;  $T$  – температура воздуха, К;  $e$  – парциальное давление водяного пара, гПа.

Поскольку при радиозондировании атмосферы обычно измеряется не парциальное давление водяного пара, а относительная влажность воздуха  $u$ , для выполнения соответствующих расчетов может быть использовано следующее соотношение:

$$e = 0,0063 u 10^{(7,5t/237,3+t)}, \quad (13)$$

где  $t$  – температура воздуха, °С.

Для данных МРЛ в зависимости от радиолокационной отражаемости метеорологического объекта  $R_{\max} \leq R_{\text{пр}}$ .

Наибольший интерес представляет случай, когда  $R_{\max} = R_{\text{пр}}$ . Тогда, заменив в выражении (9)  $R_{\max}$  на  $R_{\text{пр}}$  и разрешив полученное уравнение относительно  $\Pi'_M$ , получим формулу, позволяющую рассчитать  $\Pi'_{M_{\min}}$  – минимальный потенциал МРЛ, при котором метеорологический объект с отражаемостью  $z$ , находящийся на предельном расстоянии, может быть уверенно обнаружен МРЛ:

$$\Pi_{M_{\min}} = 20 \lg R_{\text{пр}} - 10 \lg z + K_p \quad (14)$$

Можно определить минимальную отражаемость метеорологического объекта  $z_{\min}$ , обнаруженную радиолокатором с потенциалом  $\Pi'_M$  на предельном расстоянии:

$$\lg z_{\min} = 0,1(20 \lg R_{\text{пр}} - \Pi'_M + K_p). \quad (15)$$

При выполнении задания требуется определить:

1. величину  $\Pi'_M$ , если  $P_t = (150+10N)$  кВт;  $P_{\text{ш}} = 0,55 \cdot 10$  Вт;  $k = 0,16$ ;

$A_p = 7$  м;  $\lambda = 3,2$  см;  $l = 300$  м (при  $N = 0-5$ ) и  $l = 600$  м (при  $N = 6-9$ );

где  $N$  – последняя цифра номера зачетной книжки.

2. величины  $R_{\text{пр}}$ ,  $R_{\text{max}}$ ,  $\Pi_{M_{\min}}$  и  $\lg z_{\min}$  для исходных данных, приведенных в таблице.

#### Исходные данные

Тип метеообъекта	$H$ , км	$\lg z$	$\Pi'_M = R_{\text{пр}}$ , км	$R_{\text{max}}$ , км	$\Pi_{M_{\min}}$ , км	$\lg z_{\min}$
Ci, Cs	$7+0,1N$	$-3,0+0,2N$				
As, Ac	$5+0,1N$	$-1,0+0,2N$				
Ns	$1+0,2N$	$0,0+0,2N$				
Cb	$7+0,2N$	$1,5+0,2N$				

Для определения  $\frac{dn}{dh}$  в тропосфере следует использовать результаты обработки данных радиозондирования атмосферы из контрольной работы № 1.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

### **1. Определение метеорологических параметров в свободной атмосфере**

1. Изучение устройства, правил установки и настройки радиолокаторов "Метеорит" и АВК-1, проверка технических характеристик радиозонда с помощью КИПАС.

2. Обработка радиопилотных наблюдений за ветром, составление аэрологических телеграмм. Использование вычислительной техники.

3. Комплексное температурно-ветровое зондирование атмосферы.

### **Радиолокационные наблюдения за облаками и связанными с ними явлениями**

1. Изучение основ эксплуатации метеорологических радиолокаторов типа МРЛ.

2. Производство радиометеорологических наблюдений. Получение первичной радиолокационной информации на МРЛ-2 и МРЛ-5.

3. Обработка и анализ результатов радиометеорологических наблюдений. Штормовая и срочная метеорологическая информация. Составление программ. Автоматизация радиометеорологических наблюдений с помощью систем Метеоячейка-2, АКСОПРИ.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	3
УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ.....	5
Введение.....	5
Методы обработки информации.....	5
Средства зондирования атмосферы.....	6
Дистанционные методы зондирования атмосферы.....	7
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ.....	8
1. Основные технические характеристики радиозондов МАРЗ.....	8
2. Основные узлы радиозондов МАРЗ и их назначение.....	9
3. Принцип действия радиозондов МАРЗ.....	11
4. Исходные данные.....	11
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1.....	16
Задание 1. Обработка радиоветровых наблюдений.....	17
Задание 2. Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда МАРЗ – 2.....	20
Составление телеграммы с данными зондирования атмосферы по коду КН-04.....	31
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2.....	35
З а д а н и е 1. Анализ основного уравнения радиолокации.....	35
ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ.....	41
1. Определение метеорологических параметров в свободной атмосфере.....	41
Радиолокационные наблюдения за облаками и связанными с ними явлениями.....	41

*Учебное издание*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению контрольных работ  
по дисциплине  
**"МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ"**

*Составители*

Юрий Германович Осипов  
Нина Васильевна Герасимова

*Редактор* О.С. Крайнова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

---

Подписано в печать 26.06.08. Формат 60 × 90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать офсетная.  
Печ. л. 3,00. Тираж 300 экз. Зак. № 37.

---

195196, СПб, Малоохтинский пр. 98. РГТМУ

