

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

К.Л. Восканян, Н.К. Екатериничева, А.Д. Кузнецов,
А.Г. Саенко, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина

ПРАКТИКУМ
ПО АЭРОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДАМ
ЗОНДИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Санкт-Петербург
РГГМУ
2020

УДК 528.8.04:[551.508:551.507.321.](076.5)
ББК 26.113.4я73

Рецензент: Г.Г. Щукин, д-р физ.-мат. наук, профессор, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Восканян К.Л., Екатериничева Н.К., Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е.

В76 Практикум по аэрологическим методам зондирования окружающей среды: учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 268 с.

В лабораторный практикум по дисциплине «Методы зондирования окружающей среды» включены лабораторные работы по основным разделам курса, относящимся к аэрологическим методам зондирования окружающей среды.

Практикум предполагает изучение существующих методов прямых (контактных) метеорологических измерений в атмосфере на различных высотах: шар-пилотное зондирование, радиозондирование, как основной метод современных контактных измерений.

Представленные в учебном пособии материалы предназначены для использования в процессе преподавания дисциплины «Методы зондирования окружающей среды» и при проведении учебных и производственных практик для студентов метеорологического профиля.

УДК 528.8.04:[551.508:551.507.321.](076.5)
ББК 26.113.4я73

© Восканян К.Л., Екатериничева Н.К., Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е., 2020

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2020

Введение

Аэрология (от греч. *aer* – «воздух» и *logos* – «учение») – раздел метеорологии, в котором изучаются методы и средства проведения метеорологических измерений в свободной атмосфере, а также происходящие здесь физические явления и процессы.

В задачи аэрологии входит:

– создание глобальной системы получения и сбора метеорологической информации (основанной на разработке методов и средств для исследования свободной атмосферы);

– организация аэрологических наблюдений на постоянно действующей сети аэрологических и радиолокационных станций, систем спутниковых наблюдений и т.д.

Одной из основных задач аэрологических измерений является получение информации о параметрах ветра и их распределении с высотой.

Для измерения скорости и направления ветра в атмосфере могут быть использованы различные методы. Но наиболее широко применяется метод, когда для получения информации о ветре в ее значительной нижней части (тропосфере и стратосфере) используются наблюдения за перемещением объектов (трассеров), которые одновременно перемещаются в горизонтальном и в вертикальном направлениях.

Перемещение в горизонтальном направлении осуществляется за счет движения воздушных потоков, а в вертикальном направлении – либо за счет силы Архимеда, либо за счет силы земного притяжения.

Трассерами могут являться:

– шары-пилоты, в качестве которых обычно используют оболочки, наполненные газами легче воздуха (зондирование снизу вверх),

– специальные мишени, опускающиеся на парашютах (зондирование сверху вниз).

Определение скорости и направления ветра при этом основано на измерении изменений координат таких трассеров за определенный интервал времени. По временным интервалам между измерениями координат могут быть рассчитаны средняя скорость ветра и его направление в слое атмосферы, толщина которого определяется вертикальной скоростью перемещения объекта и интервалами времени между смежными отчетами.

В зависимости от способа определения координат перемещающегося объекта в атмосфере можно выделить три разновидности данного метода:

- оптический,
- радиотехнический,
- навигационный.

При осуществлении оптического метода наблюдения за перемещением объекта в атмосфере выполняются с помощью специальных угломерных приборов – аэрологических теодолитов.

Радиотехнический метод предполагает измерение координат объекта с помощью специальных радиотехнических устройств – радиотеодолитов или радиолокационных станций.

В навигационном методе положение объекта в атмосфере определяется с помощью спутниковых навигационных систем (ранее – сигналов специальных навигационных наземных станций).

Среди указанных методов наибольшей простотой обладают оптические шар-пилотные наблюдения. Суть этих методов состоит в наблюдении с помощью аэрологического теодолита за перемещением в горизонтальной и вертикальной плоскостях оболочки, наполненной газом легче воздуха и свободно увлекаемой воздушным потоком.

Для организации оптических однопунктных шар-пилотных измерений скорости и направления ветра в свободной атмосфере необходимы:

- латексная оболочка;
- комплект аппаратуры для наполнения оболочки: баллон с водородом, редуктор и шланг для подачи водорода в оболочку, грузики для определения свободной подъемной силы оболочки, весы для взвешивания оболочки перед наполнением ее водородом;
- аэрологический теодолит, секундомер;
- бланки для записи данных наблюдений;
- два наблюдателя;
- аппаратура и специализированные таблицы для обработки данных наблюдений.

Раздел 1. Оптические методы наблюдения за ветром

Определение скорости и направления ветра оптическими методами основано на измерении изменения за определенный интервал времени координат шара, выпущенного в свободный полет в атмосферу. Такой шар-пилот, наполненный легким газом (водород, гелий), обладает подъемной силой, определяемой законом Архимеда. Поднимаясь вверх, одновременно с увлечением его воздушным потоком, последовательно проходит слои атмосферы. За перемещениями шара-пилота с земли следят с помощью оптических угломерных приборов – аэрологических теодолитов.

В зависимости от числа используемых теодолитов различают два способа измерения ветра оптическими методами: однопунктный и двухпунктный (базисный).

При однопунктных измерениях в свободный полет выпускается шар-пилот с известной вертикальной скоростью (известной подъемной силой), которую считают постоянной во времени (по высоте). По временным интервалам между измерениями координат шара-пилота с помощью аэрологического теодолита, которые проводятся двумя наблюдателями (см. рис. 1), и по известной



Рис. 1. Определение угловых координат шар-пилота с помощью аэрологического теодолита в полевых условиях

вертикальной скорости рассчитывают среднюю скорость ветра и его направление в слое атмосферы, толщина которого определяется вертикальной скоростью и временем между смежными отсчётами.

При двухпунктных измерениях нет необходимости в предварительном знании вертикальной скорости шара-пилота. В этом случае средняя скорость ветра и его направление в слое могут быть определены аналитически только по результатам наземных теодолитных измерений координат шара-пилота в функции времени.

Одним из существенных недостатков оптических методов наблюдений за ветром является резкое снижение их эффективности в темное время суток, а также в условиях низкой облачности.

Лабораторная работа № 1.

Организация и проведение однопунктных шар-пилотных наблюдений

Цель работы: изучить организацию и схему проведения однопунктных шар-пилотных наблюдений.

Материалы для работы:

1. описание лабораторной работы «Организация и проведение однопунктных шар-пилотных наблюдений».

1.1. Шар-пилот

Метод шаров-пилотов, наблюдаемых с одного пункта, является наиболее простым методом измерения ветра в свободной атмосфере. Шар-пилот представляет собой эластичную оболочку из синтетического каучука, наполненную водородом или гелием с таким расчётом, чтобы шар обладал некоторой подъёмной силой (рис. 1.1). Шар-пилот, выпущенный в свободный полёт, поднимается вверх и одновременно увлекается ветром по горизонтали. Благодаря малой массе шар движется в воздушном потоке в горизонтальном направлении практически без инерции. Определяя скорость и направление горизонтального смещения шара через определённые интервалы времени, можно получить среднюю скорость и направление ветра в слое атмосферы, который был пройден шаром за данный интервал времени. Наблюдение за полётом шара в пространстве производят

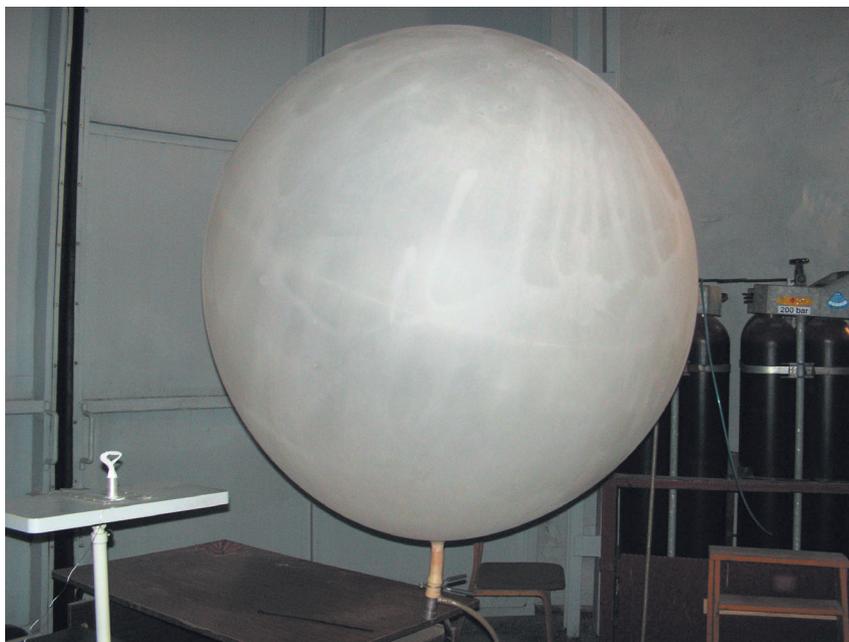


Рис. 1.1. Шар-пилот

с помощью специальных аэрологических теодолитов. При этом измеряют вертикальный и горизонтальный углы, под которыми виден шар в определённые моменты времени.

Вертикальную скорость шара при обработке однопунктных шар-пилотных наблюдений принимают постоянной за всё время полёта. Это допущение позволяет вычислять высоту шара-пилота для каждого момента времени. По высоте шара, вертикальному и горизонтальному углам находят проекции шара на горизонтальную плоскость. По горизонтальным проекциям шара, отнесённым к определённым моментам времени, определяют скорость и направление ветра в том или ином слое атмосферы.

При плановых наблюдениях в стандартные сроки в случае неблагоприятных погодных условий (умеренные или сильные осадки, дымка, низкий туман, мгла, низовая метель), не позволяющих видеть шар, выпуск следует перенести, но не более чем на 2 ч после установленного срока. Причины задержки выпуска или отсутствия наблюдений в данный срок должны быть указаны в книжке для записи данных шар-пилотных наблюдений. Низкая облачность

или сильный ветер не являются причиной переноса срока или отмены наблюдения. Наблюдения в стандартные сроки ведут до разрыва оболочки или до момента, когда шар сольётся с фоном или закроется облаком. Наблюдения, производимые по специальным заданиям, могут быть прекращены по достижении требуемой высоты.

Место для производства наблюдений за шарами-пилотами должно быть открытое (вертикальный угол закрытости горизонта не должен превышать 5°). Когда вблизи станции нет места с горизонтом, открытым во всех направлениях, используют переносную установку. Теодолит для каждого случая устанавливают на штативе, так, чтобы местные предметы не закрывали горизонта в направлении ожидаемого сноса шара ветром. Это направление определяют по наземному ветру и движению облаков.

Недопустимо располагать наблюдательную площадку в местах частого задымления и образования местных туманов. Следует учитывать характер почвы. Нельзя устанавливать теодолит на песке или болотистой почве из-за возможного оседания почвы.

Шар-пилотные оболочки изготавливают из синтетического каучука (латекса), способного значительно растягиваться при уменьшении плотности воздуха. Это условие определяет достаточное постоянство вертикальной скорости почти во все время подъема, если отсутствует диффузия газа. Кроме эластичности оболочки должны обладать малой газопроницаемостью. Оболочки снабжены аппендиксом, через который производится наполнение газом. Для придания ему необходимой прочности аппендикс делают из материала в 10–20 раз более толстого, чем основная оболочка.

Для лучшей видимости шаров-пилотов при наблюдениях в условиях облачного неба оболочки окрашивают в красный, черный и другие цвета. При безоблачной погоде применяют светлые шары, которые хорошо видны на фоне голубого неба, при разорванной облачности рекомендуется использовать красные, а при сплошной облачности – чёрные оболочки. Для улучшения видимости шара-пилота в темное время суток к нему подвешивают специальный источник света – шар-пилотный фонарик.

Для шар-пилотных наблюдений применяют оболочки, характеристики которых указаны в таблице 1.1.

Выбор размера оболочек для наблюдений производят в каждом отдельном случае в зависимости от ветра и облачности, учитывая, что шар с малой вертикальной скоростью при сильном ветре может очень быстро скрыться из поля зрения наблюдателя. Оболочки № 10

Основные параметры шар-пилотных оболочек

№ оболочки	Диаметр оболочки в нераздутном состоянии (см)	Масса (г)	Нормы максимального наполнения		Вертикальная скорость шара-пилота при максимальном наполнении (м/мин)	Разрывной диаметр (см)
			Длина окружности (см)	Грузоподъемность (г)		
10	10	10–15	140	35–40	130–140	50
20	20	30–40	250	200–230	200–220	100
30	30	75–90	280	300–350	230–240	150

следует использовать только при слабом ветре и низкой облачности. Оболочки № 20 выпускают при облаках среднего яруса и ветре у земли меньше 10 м/с. Оболочки № 30 – для достижения больших высот при ясной погоде независимо от скорости ветра, либо при наличии облаков верхнего или среднего яруса и сильном ветре (более 10 м/с).

Оболочки транспортируют и хранят в картонных коробках и во избежание склеивания пересыпают тальком. Хранить оболочки необходимо в заводской упаковке при умеренной влажности и температуре от 0 до 20 °С, при этом не допускать возможности попадания на оболочки масла, кислот и соприкосновения их с режущими и царапающими предметами.

С течением времени оболочки теряют свою эластичность. Для восстановления эластичности оболочек их нужно прогреть в специальном термостате в течение 15–20 мин при температуре 70–80 °С. Можно разогреть оболочки опусканием на 5–7 мин в горячую воду при той же температуре (предварительно завязав аппендикс).

1.2. Газы для наполнения шар-пилотных оболочек

Шар-пилотные оболочки обычно наполняются водородом и сравнительно редко – гелием.

Химически чистый водород представляет собой газ без запаха и цвета, он самый лёгкий из всех существующих газов. При температуре 0 °С и давлении 1013 гПа 1 м³ водорода весит 0,09 кг, то есть водород в 14,4 раза легче воздуха. Удельная подъёмная сила химически чистого водорода при указанных условиях составляет 1,203 кг. Технический водород, применяемый для наполнения оболочек, содержит примеси, которые утяжеляют его и уменьшают подъёмную силу, которая в среднем составляет 1,1–1,15 кг.

При доступе воздуха или кислорода водород горит. В смеси с кислородом водород образует гремучий газ, который взрывается от огня или искры, если примесь воздуха к водороду составляет от 25 до 96 %. Присутствие пыли в водороде делает его носителем зарядов статического электричества, что может способствовать искровому разряду и дальнейшему возгоранию или взрыву водорода.

Гелий тяжелее водорода примерно в два раза, не горюч и поэтому безопасен. Вес 1 м³ химически чистого гелия равен 0,179 кг, а удельная подъёмная сила равна 1,114 кг. Технический гелий, используемый для наполнения шар-пилотов, содержит примеси и за счёт этого его грузоподъёмность уменьшается до 0,95 кг.

Для наполнения шар-пилотных оболочек применяется водород, добываемый на станции или получаемый в готовом виде в баллонах. Гелий на станцию доставляется в готовом виде в баллонах. Баллон представляет собой герметически закрывающийся сосуд цилиндрической формы с закруглённым дном. Длина баллона 1,6 м, наружный диаметр 20 см и толщина стенок 9–14 мм. Вес баллона составляет около 62 кг. В баллоне заключено 40 л газа в сжатом состоянии под давлением 150 атм. При нормальном давлении содержащийся в баллоне газ займёт объём 5–5,5 м³. Баллоны для водорода окрашиваются в зелёный цвет, для гелия – в коричневый. Кроме того, выходной штуцер вентиля водородного баллона, в отличие от баллона для гелия, имеет левую резьбу.

Гелий является идеальным газом для наполнения шар-пилотных и радиозондовых оболочек вследствие безопасности его применения. Его получают только в стационарных заводских условиях, поскольку технология получения достаточно сложна и дорога. Именно поэтому гелий используется только там, где по соображениям техники безопасности использование водорода исключено, например, при организации шар-пилотных или радиозондовых наблюдений в корабельных условиях.

Для определения вертикальной скорости шара-пилота и наполнения его до стандартных скоростей используется шар-пилотный комплект ШК-50 (рис. 1.2).

В состав шар-пилотного комплекта ШК-50 входят: резиновый шланг длиной 1 м с накидной гайкой с одной стороны и наконечником с другой; переходной штуцер с ниппелем массой 24 г, который служит для регулировки наполнения шара; S-образный крючок массой 10 г; мягкая мерная лента и набор разновесов, указанных в таблице 1.2.

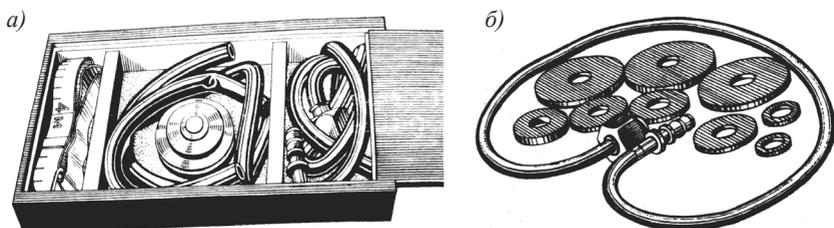


Рис. 1.2. Шар-пилотный комплект ШК-50:
а) общий вид; б) резиновый шланг с разновесами

Таблица 1.2

Набор разновесов,
входящих в шар-пилотный комплект ШК-50

Масса, г	100	40	30	20	10	4	3	2	1
Количество, шт.	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Для измерения длины окружности шара применяется мягкая лента, разделённая на сантиметры. Грузоподъёмность определяется подбором разновесов (см. таблицу 1.2). На станции должны быть также весы до 200 г для взвешивания оболочек и шар-пилотных фонариков.

1.3. Порядок наполнения шар-пилотных оболочек

Помещение, в котором производится наполнение шара-пилота, должно быть просторным и защищено от ветра (см. рис. 1.3).

При наполнении шар-пилотных оболочек из баллона следует проделать следующие операции.

1) Тщательно вытряхнуть из оболочки тальк и взвесить оболочку с точностью до 1 г, массу оболочки следует записать.

2) Снять колпак с баллона, отвинтить заглушку, закрывающую отверстие вентиля и присоединить к крану резиновый шланг с переходным штуцером из шар-пилотного комплекта.

3) Оболочку закатать со стороны, противоположной аппендиксу, для удаления из неё воздуха.

4) Поворотом маховичка вентиля открыть немного вентиль и пустить газ для удаления воздуха из шланга. Затем надеть аппендикс оболочки на переходной штуцер и привязать бечёвкой.



Рис. 1.3. Помещение для наполнения газом шар-пилотных оболочек

5) Осторожно и понемногу открывая вентиль, усиливать выход газа, следя за тем, чтобы струя не порвала оболочку, особенно в начале наполнения шара. Вентиль следует открывать с таким расчётом, чтобы оболочка № 10 наполнилась до нормы примерно в течении 3 мин, оболочки № 20 и 30 – в течение 5–6 мин.

Для того чтобы штуцер с разновесами случайно не улетел вместе с шаром, к ушку штуцера следует привязать длинный шпагат, другой конец которого нужно привязать к какому-нибудь неподвижному тяжёлому предмету.

Для получения стандартной вертикальной скорости шара-пилота используются только оболочки № 20 и 30.

Грузоподъёмность оболочек № 20 для получения вертикальной скорости 200 м/мин определяется по данным таблицы Приложения 1.2, а корректировочный множитель определяется по данным таблицы Приложения 1.1. Здесь для данной массы оболочки q при данном поправочном множителе $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$ приводятся значения грузоподъёмности A в граммах. Для тех значений q и $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$, которые

не совпадают с табличными, нормы наполнения грузоподъемности определяются интерполированием между ближайшими значениями этих величин, имеющимися в таблицах.

Грузоподъёмность оболочек № 30 для получения вертикальной скорости 200 и 240 м/мин определяется по таблицам Приложений 1.3 и 1.4 соответственно. Корректировочный множитель $\sqrt{\rho_0/\rho}$ определяется по данным таблицы Приложения 1.1.

Рекомендации для выбора размера оболочки и вертикальной скорости шара-пилота в зависимости от метеорологических условий в момент выпуска представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Выбор оболочки и вертикальной скорости шара-пилота в зависимости от метеорологических условий выпуска

Состояние неба	Скорость ветра, м/с	Номер оболочки	Стандартная вертикальная скорость, м/мин
Ясно или облака верхнего яруса	До 5	30	200
То же	Более 5	30	240
Неплотная облачность среднего яруса – 5 баллов и менее	До 5	30	200
То же	Более 5	30	240
Плотная облачность среднего яруса	До 5–7	20	200
То же	Более 5–10	30	240
Неплотная облачность нижнего яруса без облаков среднего яруса – 5 баллов и менее	До 5	30	200
То же	Более 5	30	240
То же с облаками среднего яруса	До 5–7	20	200
То же	Более 7–10	30	240
Плотная облачность нижнего яруса	До 10–15	20	200
То же	Более 15	30	240

Наполнение оболочки до заданной грузоподъёмности осуществляют с помощью разновесов комплекта ШК-50 (см. рис. 1.2).

Перед наполнением оболочки на штуцер надевают разновесы, общая масса которых с учётом массы штуцера (24 г) должна быть равна необходимой грузоподъёмности, и закрепляют их круглой гайкой, имеющейся на штуцере. Надевают аппендикс оболочки на горловину штуцера и завязывают шпагатом. Затем соединяют штуцер с наконечником, жёстко скреплённым со шлангом, присоединённым к баллону, и открывают кран.

Наполнение производят до тех пор, пока шар не приподнимет штуцер с разновесами. После этого шар со штуцером снимают со шланга и окончательно уравнивают шар, выпуская нажатием пальца на клапан штуцера лишний газ. Когда шар будет уравновешен, аппендикс прочно завязывают шпагатом выше штуцера. После этого штуцер вынимают из аппендикса.

При наполнении оболочек до стандартной вертикальной скорости для ночных выпусков следует учесть массу фонарика и уменьшение вертикальной скорости на 6 % из-за сопротивления фонарика.

При использовании оболочек № 10 шары-пилоты выпускают всегда с нестандартной вертикальной скоростью. Её определяют либо для стандартных условий по грузоподъёмности A и массе оболочки q (Приложение 1.5), либо по грузоподъёмности A и длине окружности C (Приложение 1.8). Полученное таким образом значение вертикальной скорости корректируют с помощью поправочного множителя, определяемого по данным таблицы Приложения 1.9, путем умножения вертикальной скорости для стандартных условий на поправочный множитель.

Для определения грузоподъёмности в шар-пилотном комплекте ШК-50 имеется специальный S-образный крючок. Крючок прицепляют к верёвке, которой завязан аппендикс шара, и на него накладывают столько разновесов-шайбочек, сколько необходимо для уравнивания шара. Масса крючка составляет 10 г.

Массу оболочки q определяют взвешиванием перед наполнением с точностью до 1 г. При отсутствии весов за массу оболочки можно принять значение, поставленное заводом на самой оболочке.

Измерение длины окружности производят с помощью мерной ленты с точностью до 1 см так, чтобы она плотно охватывала шар по дуге большого круга, то есть делила бы шар на две равные части. Измерение длины окружности следует производить по двум взаимно перпендикулярным направлениям: в вертикальной плоскости, проходящей близ аппендикса шара, и в горизонтальной плоскости по дуге большого круга, и взять среднее значение из полученных результатов.

Нестандартные вертикальные скорости по грузоподъёмности и массе оболочки определяют с помощью таблиц, содержащихся в Приложениях 1.5, 1.6, 1.7 и 1.9, в следующем порядке:

1) из приложений 1.5, 1.6 и 1.7, в зависимости от номера оболочки, по массе оболочки q (в граммах) и грузоподъёмности A (в граммах) определяют значение табличной (для плотности воздуха

при температуре +20 °С и давлении 1013 гПа) вертикальной скорости шара W ;

2) для исправления найденной по таблицам вертикальной скорости из Приложения 1.9, по фактическим давлению P и температуре T воздуха, определяют поправочный множитель $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$ на фактическую плотность воздуха;

3) фактическую вертикальную скорость W_ϕ определяют умножением табличной вертикальной скорости W_T на поправочный множитель $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$.

Для определения нестандартной вертикальной скорости шара-пилота с фонариком нужно предварительно вычистить из грузоподъемности оболочки без фонарика массу подготовленного к выпуску электрического вращающегося фонарика с лампочкой, с замоченной батареей и шпагатом. Затем найденную вертикальную скорость надо уменьшить на 6 % (сопротивление фонарика движению).

Нестандартную вертикальную скорость шара по грузоподъемности A и средней длине окружности C определяют из данных таблицы Приложения 1.8 в следующем порядке:

1) из Приложения 1.8 определяют табличное значение вертикальной скорости W по грузоподъемности A (в граммах) и длине окружности C (в сантиметрах);

2) из Приложения 1.9 по давлению P и температуре воздуха T определяют поправочный множитель $\sqrt{\rho_0/\rho}$ для исправления табличной скорости на фактическую плотность воздуха;

3) фактическую вертикальную скорость W_ϕ определяют путём умножения табличной вертикальной скорости на поправочный множитель $\sqrt{\rho_0/\rho}$.

При выпуске шара-пилота с фонариком его вертикальная скорость, исправленная на фактическую плотность воздуха, уменьшается на 6 %.

1.4. Порядок выполнения расчетного задания

1. Рассчитать объем оболочки, необходимый для обеспечения заданной грузоподъемности, использовать в качестве наполнителя водород. Значения грузоподъемности, веса оболочки, давления воздуха и температуры воздуха задаются преподавателем.

2. Определить грузоподъемность оболочки № 20 для получения вертикальной скорости 200 м/мин. Значения веса оболочки, давления воздуха и температуры воздуха задаются преподавателем.

3. Определить грузоподъемность оболочки № 30 для получения вертикальной скорости 200 м/мин. Значения веса оболочки, давления воздуха и температуры воздуха задаются преподавателем.

4. Определить грузоподъемность оболочки № 30 для получения вертикальной скорости 240 м/мин. Значения веса оболочки, давления воздуха и температуры воздуха задаются преподавателем.

1.5. Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Письменные ответы на контрольные вопросы.
3. Таблицы с данными, полученными при выполнении расчетных заданий.
4. Письменные ответы на контрольные вопросы.

1.6. Контрольные вопросы

1. Какие номера оболочек используются для проведения оптических однопунктных шар-пилотных наблюдений?

2. Как связаны между собой номер оболочки и ее размер?

3. Как связаны выбор номера оболочки и значения вертикальной скорости шара-пилота с метеорологическими условиями выпуска шар-пилота?

4. Какова величина стандартной скорости подъема шар-пилота для оболочки № 30?

5. От каких метеорологических величин зависит величина поправочного коэффициента при расчете фактической вертикальной скорости шар-пилота?

1.7. Приложение

Приложение 1.1

Поправочный множитель $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$ для расчёта грузоподъёмности шара-пилота при наполнении его до стандартной вертикальной скорости по массе оболочки (по приложению 3) и для исправления нестандартной вертикальной скорости, полученной по грузоподъёмности и массе оболочки (по приложению 4)

Температура, °С	Давление, гПа										
	1067	1040	1013	987	960	933	907	880	853	827	800
	мм рт. ст.										
	800	780	760	740	720	700	680	660	640	620	600
-50	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
-40	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
-30	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
-20	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02
-10	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02
0	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
10	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
20	0,99	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04
30	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05
40	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05
50	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06

Приложение 1.2

Таблица для определения значения грузоподъёмности шара в граммах, до которого следует наполнять оболочку № 20, чтобы получить стандартную вертикальную скорость $W = 200$ м/мин в зависимости от массы оболочки q в граммах и поправочного множителя $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$

Для шаров без фонарика $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$	Масса оболочки, г						Для шаров с фонариком $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$
	30	32	34	36	38	40	
1,06	168	169	170	171	172	173	
1,05	171	172	173	174	175	176	
1,04	174	175	176	177	178	179	
1,03	176	177	178	180	181	182	
1,02	179	180	181	182	183	184	
1,01	181	182	183	185	186	187	
1,00	184	185	186	187	188	189	1,06

Для шаров без фонарика $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$	Масса оболочки, г						Для шаров с фонариком $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$
	30	32	34	36	38	40	
0,99	186	187	188	190	191	192	1,05
0,98	189	190	191	192	193	194	1,04
0,97	191	192	193	194	195	196	1,03
0,96	194	195	196	197	198	199	1,02
0,95	196	197	198	199	200	202	1,01
	199	200	201	202	203	204	1,00
	201	203	204	204	206	207	0,99
	204	205	206	207	208	209	0,98
	206	207	208	209	210	212	0,97
	209	210	211	212	213	214	0,96
	211	212	213	214	216	217	0,95

Примечание. Для получения стандартной вертикальной скорости шара-пилота с фонариком следует пользоваться значениями $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$ в правой графе, а значения грузоподъёмности, найденные из таблицы, увеличить на массу фонарика.

Приложение 1.3

Таблица для определения значения грузоподъёмности шара в граммах, до которого следует наполнять оболочку № 30, чтобы получить стандартную вертикальную скорость $W = 200$ м/мин в зависимости от массы оболочки q в граммах и поправочного множителя $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$

Для шаров без фонарика $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$	Масса оболочки, г					Для шаров с фонариком $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$
	70	75	80	85	90	
1,06	183	184	186	187	189	
1,05	185	187	188	190	191	
1,04	188	189	191	192	194	
1,03	190	192	193	195	197	
1,02	193	195	196	198	199	
1,01	195	197	198	200	202	
1,00	197	199	201	203	205	1,06
0,99	200	201	203	205	207	1,05
0,98	202	204	206	208	210	1,04
0,97	205	207	209	212	214	1,03
0,96	209	211	213	215	218	1,02
0,95	212	214	217	219	222	1,01

Для шаров без фонарика $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$	Масса оболочки, г					Для шаров с фонариком $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$
	70	75	80	85	90	
0,94	216	218	221	224	227	1,00
	220	223	227	231	236	0,99
	226	229	234	239	245	0,98
	233	238	244	249	254	0,97
	243	249	254	259	263	0,96

Приложение 1.4

Таблица для определения значения грузоподъемности шара в граммах, до которого следует наполнять оболочку № 30, чтобы получить стандартную вертикальную скорость $W = 240$ м/мин в зависимости от массы оболочки q в граммах и поправочного множителя $\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$

$\sqrt[3]{\rho_0/\rho}$	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
1,06	270	275	281	286	291
1,05	281	286	292	297	303
1,04	293	298	304	310	315
1,03	305	311	317	322	328
1,02	319	324	330	336	342
1,01	333	339	345	351	356
1,00	348	354	360	366	372
0,99	364	370	376	382	388
0,98	381	388	394	400	406
0,97	400	406	413	419	425
0,96	420	426	432	439	445
0,95	441	447	454	460	467
0,94	463	470	476	483	489

Приложение 1.5

Таблица вертикальных скоростей шаров-пилотов по данным грузоподъемности A и массы оболочки q для оболочки № 10

A	Масса оболочки, г										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
10	95	92	90	88	86	83	82	80	79	77	76
12	101	99	97	94	92	90	88	86	85	83	81

А	Масса оболочки, г										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
14	106	104	102	99	97	95	93	92	90	88	87
16	111	108	106	104	101	99	98	96	94	93	91
18	114	112	110	108	105	103	102	100	99	97	96
20	118	116	114	111	109	107	106	104	102	101	99
22	121	119	117	115	112	110	109	107	106	104	103
24	124	122	120	118	116	114	112	111	109	108	106
26	126	124	123	121	119	117	115	114	112	111	109
28	129	127	125	123	122	119	118	116	115	113	112
30	131	130	128	126	124	122	120	119	118	116	114
32	134	132	130	128	126	124	123	121	120	118	117
34	136	134	132	130	128	126	125	124	122	121	119
36	138	136	134	132	131	129	127	126	124	123	122
38	139	138	136	134	132	130	129	128	127	125	124
40	141	139	138	136	134	132	131	130	129	127	126

Приложение 1.6

Таблица вертикальных скоростей шаров-пилотов
по данным грузоподъёмности А и массы оболочки q для оболочки № 20

А	Масса оболочки, г					
	30	32	34	36	38	40
102	162	162	161	160	159	159
104	163	162	162	161	160	159
106	164	163	162	162	161	160
108	165	164	163	162	161	161
110	165	165	164	163	162	162
112	166	165	164	164	163	162
114	167	166	165	164	164	163
116	167	166	166	165	164	164
118	168	167	166	166	165	164
120	168	168	167	166	166	165
122	169	168	168	167	166	166
124	170	169	168	168	167	166
126	170	170	169	168	168	167
128	171	170	170	169	168	168
130	172	171	170	170	169	168
132	172	172	171	171	170	169

Продолжение таблицы

А	Масса оболочки, г					
	30	32	34	36	38	40
134	173	172	172	171	171	170
136	174	173	172	172	171	171
138	174	174	173	173	172	171
140	175	174	174	173	173	172
142	176	175	175	174	173	173
144	177	176	176	175	174	174
146	178	177	176	176	175	174
148	178	178	177	176	176	175
150	179	178	178	177	177	176
152	180	179	179	178	178	177
154	181	180	180	179	178	178
156	182	181	182	180	179	179
158	183	182	183	181	180	180
160	184	183	184	182	181	181
162	185	184	185	183	182	182
164	186	185	186	184	183	183
166	187	186	187	185	184	184
168	188	188	188	186	186	185
170	189	189	190	188	187	186
172	191	190	191	189	188	188
174	192	192	192	190	190	189
176	194	193	194	192	191	191
178	195	194	194	193	193	192
180	196	196	195	194	194	193
182	198	197	197	196	196	195
184	200	199	198	198	197	196
186	201	201	200	200	199	198
188	203	202	202	201	201	200
190	205	204	204	203	202	202
192	206	206	205	204	204	203
194	208	207	207	206	205	205
196	210	209	208	208	207	207
198	211	211	210	210	209	208
200	213	212	212	211	211	210
202	215	214	214	213	213	212
204	217	216	216	215	214	214
206	218	218	217	217	216	216

А	Масса оболочки, г					
	30	32	34	36	38	40
208	220	219	219	218	218	217
210	221	220	220	220	219	218
212	222	222	221	220	220	219
214	223	223	222	221	221	220
216	224	223	223	222	222	221
218	225	224	224	223	222	222
220	225	224	224	223	223	222
222	226	225	224	224	223	223
224	226	226	225	225	224	224
226	227	226	225	225	225	224
228	228	227	226	226	226	225
230	228	227	226	226	226	225
232	229	228	227	227	227	226
234	229	229	228	228	227	227
236	230	229	228	228	228	227
238	230	230	229	229	228	228
240	231	230	230	230	229	228
242	231	231	230	230	229	228
244	232	231	230	230	229	229
246	232	232	230	230	230	229
248	233	232	230	230	230	229
250	233	232	231	231	230	230

Приложение 1.7

Таблица вертикальных скоростей шаров-пилотов по данным грузоподъёмности А и массы оболочки q для оболочки № 30

А	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
102	149	148	146	145	143
104	150	148	147	146	144
106	150	149	148	146	145
108	151	150	149	148	146
110	152	151	150	148	147
112	153	152	150	149	148
114	154	152	151	150	149
116	154	153	152	151	150

А	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
118	155	154	153	152	150
120	156	155	153	152	151
122	156	155	154	153	152
124	157	156	155	154	152
126	158	157	156	154	153
128	159	158	156	155	154
130	160	158	157	156	154
132	160	159	158	156	155
134	161	160	158	158	156
136	162	160	159	158	157
138	163	161	160	159	157
140	163	162	161	159	158
142	164	163	162	160	159
144	165	164	162	161	160
146	166	164	163	162	161
148	167	165	164	163	162
150	167	166	165	164	163
152	168	167	166	165	164
154	169	168	167	166	165
156	170	169	168	167	166
158	171	170	169	168	167
160	172	171	170	169	168
162	173	172	171	170	169
164	174	173	172	171	170
166	176	174	173	172	171
168	177	176	175	174	172
170	178	177	176	175	174
172	180	178	177	176	175
174	181	180	179	177	176
176	182	181	180	179	178
178	184	182	181	180	179
180	185	184	183	182	181
182	187	186	184	183	182
184	189	187	186	187	184
186	190	189	188	187	186
188	192	191	190	188	187
190	194	192	191	190	189

Продолжение таблицы

А	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
192	195	194	193	192	191
194	197	195	195	194	192
196	199	198	196	195	194
198	200	199	198	197	196
200	202	201	200	198	197
202	204	202	201	200	199
204	205	204	203	201	200
206	206	205	204	203	201
208	207	206	205	204	203
210	209	208	206	205	204
212	210	209	207	206	205
214	211	210	208	207	206
216	212	211	210	208	207
218	213	212	210	209	208
220	214	213	211	210	209
224	216	214	213	212	210
228	217	216	215	213	212
232	218	217	216	215	213
236	220	218	217	216	215
240	221	220	218	217	216
244	222	221	219	218	217
248	223	221	220	219	218
252	223	222	221	220	218
256	224	223	222	221	219
260	225	224	223	221	220
264	225	224	223	222	221
268	226	225	224	223	222
272	227	226	225	224	222
276	228	227	225	224	223
280	228	227	226	225	224
284	229	228	227	226	225
288	230	229	228	227	226
292	230	230	229	228	226
296	231	230	229	228	227
300	232	231	230	229	228
304	233	232	231	230	229
308	233	232	231	230	230

А	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
312	234	233	232	231	230
316	235	234	233	232	231
320	236	235	234	233	232
324	236	235	234	233	233
328	237	236	235	234	233
332	238	237	236	235	234
336	239	238	237	236	235
340	239	238	237	236	235
344	240	239	238	237	236
348	241	240	239	238	237
352	241	240	239	238	237

Примечание. Таблицы 1.2–1.7 рассчитаны по формуле:

$$W = \frac{b\sqrt{A}}{\sqrt[3]{A+q}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$$

Значения коэффициента b в зависимости от грузоподъемности A взяты следующие:

А	и ме- нее	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	и бо- лее
		82,0	82,5	83,6	84,9	87,0	89,6	92,4	94,3	95,5	96,0	96,2	
b													

Грузоподъемность 1 м^3 водорода при давлении 1013 гПа и температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ взята равной 1084 г.

Приложение 1.8

Таблица для определения вертикальной скорости шара-пилота W в м/мин по грузоподъемности A в граммах и длине окружности C в сантиметрах

А	С														
	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	
2	63	89	55	52											
2,5	70	66	61	58	55										
3	77	72	67	63	60	57									
3,5	83	78	73	68	64	61	58								
4	89	83	78	73	69	65	62								
4,5		88	83	78	73	69	66								
5		93	87	82	78	74	70	63	58						
6		102	95	90	85	80	76	69	63	59					
7		110	103	97	92	87	82	75	68	63	59				

Продолжение таблицы

A	C														
	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	
8			110	103	98	93	88	80	73	68	63	59			
9			117	110	104	99	93	85	78	72	67	62	58		
10			123	116	109	104	98	89	82	76	70	66	61	58	
15				142	134	127	121	110	100	93	86	80	75	71	
20					155	146	139	126	116	107	99	93	87	82	
25					173	164	156	141	130	120	111	104	97	91	
30					189	179	170	155	142	131	122	114	106	100	
35							184	167	153	142	131	123	115	108	
40							197	178	164	151	141	131	123	116	
45							209	190	174	160	149	139	130	123	
50							220	200	183	169	157	147	137	129	
55							231	210	192	177	165	154	144	136	
60									201	185	172	161	151	142	
65									209	193	179	167	157	147	
70									217	200	186	174	163	153	
75									224	207	192	180	168	158	
80									232	214	199	185	174	164	
85												191	179	169	
90												197	184	174	
95												202	189	178	
100												207	194	183	
105												212	199	187	
110														192	
115														196	
120														200	
125														205	
130														209	

A	C													
	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
10	58													
15	71	67	63	60										
20	82	77	73	70	66	63	60	58						
25	91	86	82	78	74	71	68	65	62	60	58	56	54	52
30	100	95	90	85	81	77	74	71	68	66	63	61	59	57
35	108	102	97	92	88	84	80	77	74	71	68	66	63	61
40	116	109	104	98	94	89	86	82	79	76	73	70	68	66
45	123	116	110	104	99	95	91	87	83	80	77	74	72	70

A	C													
	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
50	129	122	116	110	105	100	96	92	88	85	81	78	76	73
55	136	128	121	115	110	105	100	96	92	89	85	82	80	77
60	142	134	127	120	115	110	105	100	96	93	89	86	83	80
65	147	139	132	125	119	114	109	104	100	96	93	90	86	84
70	153	145	137	130	124	118	113	108	104	100	96	93	90	87
75	158	150	142	135	128	122	117	112	108	104	100	96	93	90
80	164	155	146	139	132	126	121	116	111	107	103	99	96	93
85	169	159	151	143	136	130	125	119	115	110	106	102	99	96
90	174	164	155	148	140	134	128	123	118	113	109	105	102	98
95	178	169	160	152	144	138	132	126	121	117	112	108	105	101
100	183	173	164	156	148	141	136	130	124	120	115	111	107	104
105	187	177	168	159	152	145	139	133	127	123	118	114	110	106
110	192	181	171	163	155	148	142	136	130	125	121	116	112	109
115	196	185	176	167	159	152	145	139	133	128	123	119	115	111
120	200	189	179	170	162	155	148	142	136	131	126	122	117	114
125	205	193	183	174	165	158	151	145	139	133	129	125	120	116
130	209	197	186	177	169	161	154	148	142	136	131	127	122	118
135		201	190	181	172	164	157	150	144	139	134	129	125	120
140		203	194	184	175	167	160	153	147	141	136	131	127	123
145		208	198	188	178	170	163	156	150	144	139	134	130	126
150		213	202	192	182	174	166	160	153	147	142	137	132	128
155		219	206	196	186	178	170	163	156	150	145	140	135	130
160						182	174	167	160	154	148	143	138	133
165						186	178	171	164	158	152	146	141	136
170						191	183	175	168	162	156	150	145	140
175						196	188	180	173	166	160	154	149	144
180						202	193	185	178	171	165	159	153	148
185						207	198	190	183	176	169	164	157	152
190						214	204	196	188	181	174	168	162	157
195						219	210	201	193	186	179	173	167	161
200						225	215	206	198	191	184	177	171	165
205						230	220	210	202	195	188	180	174	168
210						235	225	215	207	198	191	184	178	172
215						239	229	219	210	202	195	188	182	176
220						244	233	224	215	206	199	192	185	178
225						248	237	227	218	209	202	195	188	182
230						251	240	230	221	212	204	197	190	184

А	С							
	230	240	250	260	270	280	290	300
230	240	230	221	212	204	197	190	184
235	243	233	224	215	207	200	192	186
240	246	236	227	218	210	202	195	189
245	249	238	229	220	212	204	197	191
250	251	241	231	222	214	206	199	193
255	254	243	233	224	216	208	201	195
260		246	236	227	218	210	203	197
265		248	238	229	220	212	205	199
270		250	240	231	222	214	207	200
275		252	242	233	224	216	209	202
280		254	245	235	226	218	211	204
285		257	247	238	228	220	213	206
290		259	249	240	230	222	215	207
295		262	251	242	232	224	217	209
300		264	253	244	234	226	219	211
305		266	255	246	237	228	220	213
310				248	238	230	222	215
320				252	242	234	226	218
330				256	246	237	229	221
340				259	250	241	233	225
350				263	253	244	236	228
370						251	243	235
390						258	249	241
410							255	247
430							261	252
450							267	259

Приложение 1.9

Поправочный множитель $\sqrt{\rho_0/\rho}$ для исправления вертикальной скорости шара-пилота, полученной по грузоподъемности и длине окружности шара (по приложению 1.8)

Температура, °С	Давление, гПа										
	1067	1053	1040	1027	1013	1000	987	973	960	947	933
	мм рт. ст.										
	800	790	780	770	760	750	740	730	720	710	700
-50	0,85	0,86	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91

Температура, °C	Давление, гПа										
	1067	1053	1040	1027	1013	1000	987	973	960	947	933
	мм рт. ст.										
	800	790	780	770	760	750	740	730	720	710	700
-45	0,86	0,87	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92
-40	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93
-35	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94
-30	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95
-25	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96
-20	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97
-15	0,92	0,92	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
-10	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
-5	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00
0	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01
5	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02
10	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02
15	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
20	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04
25	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05
30	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06
35	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07
40	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08
45	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09
50	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10

Температура, °C	Давление, гПа										
	933	920	907	893	880	867	853	840	827	813	800
	мм рт. ст.										
	700	690	680	670	660	650	640	630	620	610	600
-50	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98
-45	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99
-40	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00
-35	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,02
-30	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03
-25	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04
-20	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05
-15	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06
-10	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07
-5	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08

Окончание таблицы

Темпе- ратура, °С	Давление, гПа										
	933	920	907	893	880	867	853	840	827	813	800
	мм рт. ст.										
	700	690	680	670	660	650	640	630	620	610	600
0	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09
5	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10
10	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11
15	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12
20	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13
25	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14
30	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14
35	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15
40	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16
45	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17
50	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18

Лабораторная работа № 2.

Аэрологические теодолиты

Цель работы: изучить устройство аэрологических теодолитов и получить навыки их практического использования при проведении оптических шар-пилотных наблюдений.

Материалы для работы:

- 1) аэрологический теодолит, установленный на штативе;
- 2) секундомер;
- 3) бланк отчета по лабораторной работе, карандаш.

2.1. Введение

Аэрологический теодолит – угломерный инструмент для измерения угловых координат при наблюдениях за шарами-пилотами. Теодолиты различных систем отличаются друг от друга конструкцией некоторых деталей и оптическими характеристиками. Однако общей особенностью всех аэрологических теодолитов является применение ломаной зрительной трубы для обеспечения возможности удобных и беспрепятственных наблюдений за движущимся шаром при различных его положениях, не исключая того, когда шар находится в зените или вблизи от него. При таком устройстве при любом положении объектива окулярная часть трубы и глаз наблюдателя располагаются в одной горизонтальной плоскости.

В каждом аэрологическом теодолите должна быть предусмотрена возможность достаточно быстрого отсчета показаний, чтобы при большой скорости перемещения шара-пилота он не вышел из поля зрения трубы за время производства отсчета.

Для первых моментов наблюдения после выпуска шара очень существенно иметь возможность значительных перемещений трубы рукой как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости с тем, чтобы «поймать» шар-пилот в поле зрения теодолита и в дальнейшем перейти к медленным перемещениям оптической оси теодолита с помощью микрометрических винтов.

Оптическая система аэрологического теодолита обладает достаточным увеличением, хорошей светосилой и большим полем зрения. Выполнение этих требований позволяет без особого труда проводить наблюдения и в первые моменты после выпуска шара, и при больших его удалениях, и в условиях ночного времени.

Совмещение изображений шара-пилота с плоскостью креста или сетки (фокусировка) в аэрологических теодолитах осуществляется одноразово (постоянная фокусировка на бесконечность), в результате чего изображение предмета всегда совпадает с плоскостью креста или сетки вне зависимости от дальности.

2.2. Аэрологический шар-пилотный теодолит АШТ

Теодолит АШТ, внешний вид которого представлен на рис. 2.1, является монокулярным оптическим прибором с двумя металлическими кругами, визиром и коленчатой зрительной трубой.

Теодолит состоит из следующих основных элементов: корпуса, объективной части, визира и стойки.

Основные характеристики теодолита следующие:

- увеличение зрительной трубы: 20X;
- угол поля зрения: $2,2^\circ$;
- увеличение визира: 4X;



Рис. 2.1 (Начало). Внешний вид и детали аэрологического теодолита

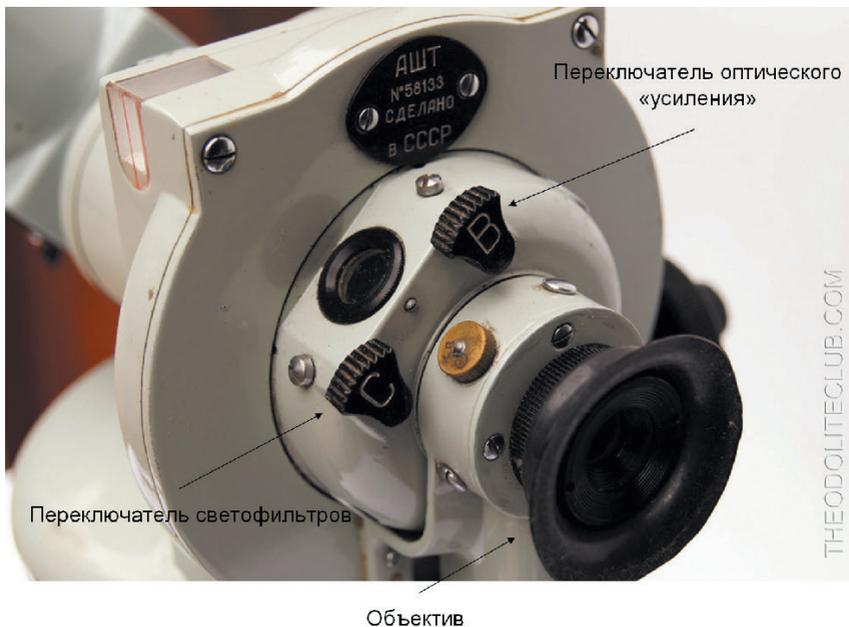


Рис. 2.1 (Окончание). Внешний вид и детали аэрологического теодолита

- угол поля зрения визира: $11,5^\circ$;
- цена деления шкал горизонтального и вертикального кругов: $0,1^\circ$;
- точность отсчёта: $0,01^\circ$;
- масса теодолита в футляре: 8,2 кг;
- масса теодолита с подставкой: 3 кг.

Основные элементы теодолита и их положение иллюстрируют рис. 2.2 и 2.3. Корпус теодолита (5 на рис. 2.2) литой, к нему прикреплены все основные узлы и детали. Снизу прикреплена коническая вертикальная ось, опирающаяся на коническую базу. На базе закреплён винтами горизонтальный круг и фрикцион с наводящим устройством. При помощи этого устройства корпус можно вращать относительно горизонтального круга вручную при грубой наводке или с помощью червяка при точной наводке.

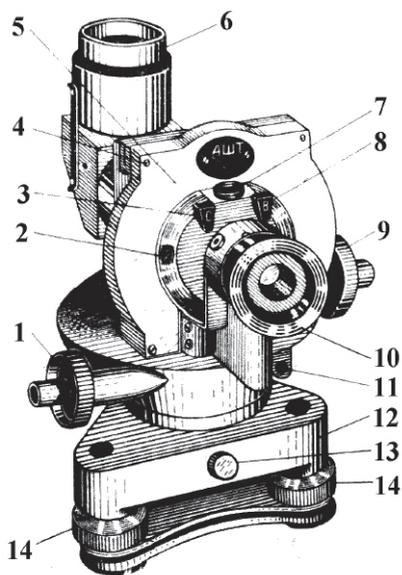


Рис. 2.2. Общий вид теодолита АШТ:

1, 9 – наводящие винты; 2, 11 – заглушки; 3 – рукоятка светофильтра; 4 – винты; 5 – корпус; 6 – объектив в оправе; 7 – объектив визира; 8 – рукоятка визира; 10 – окуляр; 12 – подставка; 13 – зажимной винт; 14 – подъемные винты

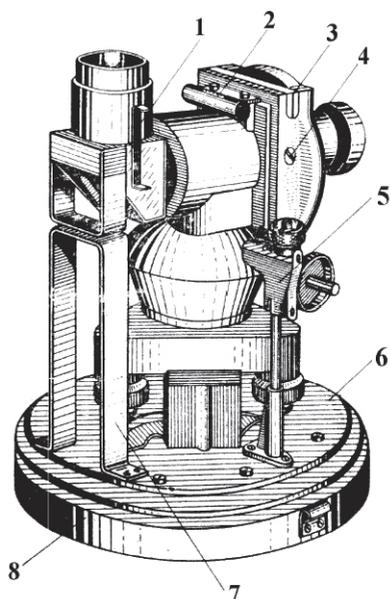


Рис. 2.3. Теодолит АШТ с установочным основанием:

1 – целик; 2 – уровень; 3 – буссоль с индексом; 4 – крышка; 5 – прижимы; 6 – плата; 7 – стойка с пружиной; 8 – основание

Для предохранения прибора от пыли и влаги снизу к корпусу прикреплено дно, на котором закреплён червяк, и электрические контакты. В средней части корпуса во втулках вращается полая горизонтальная ось, составляющая одно целое со зрительной трубой.

В верхней части корпуса находится цилиндрический уровень (2 на рис. 2.3) и буссоль (3 на рис. 2.3). Передняя стенка буссоли у южного конца магнитной стрелки изготовлена из оргстекла. На ней имеется индекс – штрих, против которого при ориентировании теодолита устанавливают южный конец магнитной стрелки. Для закрепления стрелки в нерабочем положении служит винт арретира.

Объективная часть теодолита закреплена на горизонтальной оси тремя стопорами. Она состоит из корпуса, объектива в оправе (6 на рис. 2.2) и прямоугольной призмы. Для грубого наведения на шар-пилот на корпусе установлен целик (1 на рис. 2.3).

Визир имеет большой угол поля зрения и предназначен для облегчения наводки теодолита на шар-пилот в первые минуты наблюдения, когда он перемещается с большими угловыми скоростями. Визир состоит из корпуса, объектива в эксцентрической оправе (7 на рис. 2.2) и выключаемой прямоугольной призмы и прикреплён к вертикальному кругу. Включение призмы осуществляют поворотом рукоятки визира (8 на рис. 2.2), обозначенной буквой «В». В корпусе визира встроен механизм смены светофильтров. Включение того или иного светофильтра производят рукояткой (3 на рис. 2.2), обозначенной буквой «С».

Стойка винтами и штифтами укреплена на передней крышке корпуса. Внутри корпуса стойки укреплены сетка, отсчётная система и лампочки для подсветки лимбов и сетки. К корпусу стойки винтами прикреплен окуляр (10 на рис. 2.2). Он состоит из втулки, оправы окуляра с закреплёнными в ней линзами, диоптрийного кольца и резинового наглазника.

В теодолите имеются три оптические системы: зрительная, система визира и отсчётная. Изображение, передаваемое каждой системой на плоскость сетки, рассматривают через один общий окуляр.

Зрительная система предназначена для наблюдения за летящим шаром-пилотом. Она состоит из объектива (1 на рис. 2.4), прямоугольной отражательной призмы (2 на рис. 2.4), светофильтра (10 на рис. 2.4), сетки (4 на рис. 2.4) и окуляра (5 на рис. 2.4). В нижней части сетки находится диафрагма, ограничивающая поле зрения отсчётной системы. На ту часть сетки, в которой расположено

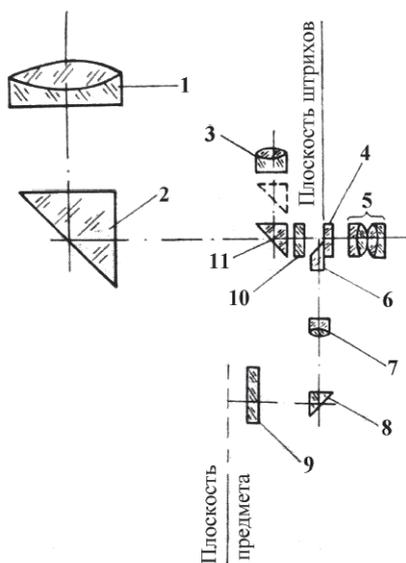


Рис. 2.4. Оптическая схема теодолита АШТ: 1 – объектив зрительной трубы; 2, 6, 8, 11 – призмы; 3 – объектив визира; 4 – сетка; 5 – окуляр; 7 – объектив отсчётной системы; 9 – защитное стекло; 10 – светофильтр

перекрестие, передаётся изображение шара-пилота, одновременно на нижнюю часть, ограниченную диафрагмой, передаётся изображение участков вертикального и горизонтального кругов.

Система визира состоит из объектива (3 на рис. 2.4), откидной прямоугольной призмы (11 на рис. 2.4), светофильтра (10 на рис. 2.4), сетки (4 на рис. 2.4) и окуляра (5 на рис. 2.4). Системе визира можно включать и выключать перемещением призмы (7 на рис. 2.4).

Отсчётная система предназначена для снятия отсчётов с вертикального и горизонтального кругов при наблюдении за шар-пилотом. Она состоит из защитного стекла (9 на рис. 2.4), прямоугольной призмы (8 на рис. 2.4), объектива

отсчётной системы (7 на рис. 2.4), призмы (6 на рис. 2.4), сетки (4 на рис. 2.4) и окуляра (5 на рис. 2.4). Защитное стекло является окном для подсветки металлических лимбов, а также предохраняет их от влаги, пыли и грязи.

Объектив (7 на рис. 2.4) через защитное стекло и призмы передаёт изображение участков вертикального и горизонтального кругов на сетку. В нижнее окно диафрагмы, обозначенное буквой «В», передаётся изображение участка шкалы вертикального круга, а в верхнее, обозначенное буквой «Г» – изображение шкалы горизонтального круга (рис. 2.5). Круги штрихами разделены на 3600 равных частей. Цена каждого деления $0,1^\circ$ Отсчёт производят по индексу, нанесённому на сетку, с точностью $0,1^\circ$.

Для работы в тёмное время суток теодолит имеет электрическое освещение горизонтального и вертикального кругов, а также сетки. Источником электрического питания служит аккумулятор или любой другой источник постоянного тока напряжением 2,5 В.

2.3. Теодолит 2АШТ

Теодолит 2АШТ состоит из следующих основных частей: узлов поворота вокруг вертикальной и горизонтальной осей, оптического визира, зрительной трубы, отсчётного микроскопа, окуляра, уровня, наводящих винтов и подставки. Основные элементы теодолита и их положение иллюстрируют рис. 2.5 и 2.6.

В корпусе визира теодолита 2АШТ расположена турель со сменными светофильтрами. Переключение светофильтров осуществляют рукояткой (1 на рис. 2.5) устанавливаемой в трёх положениях:

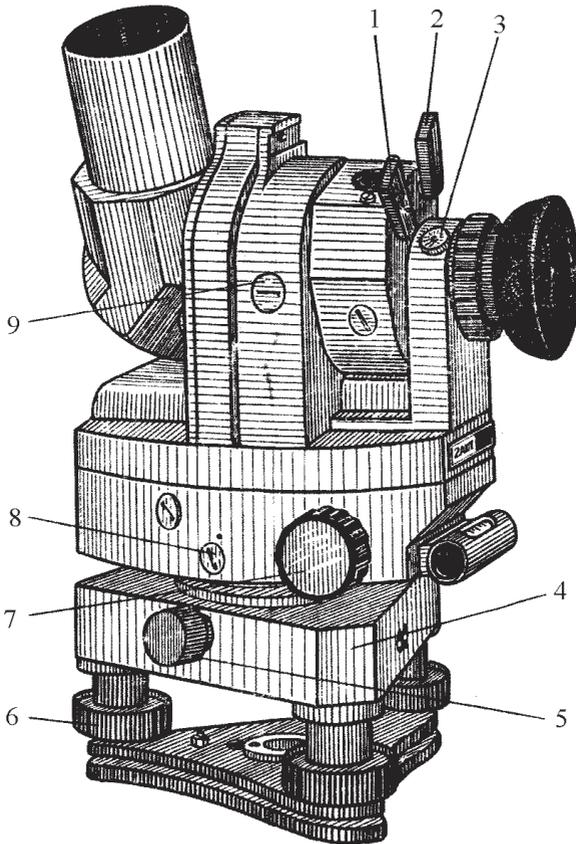


Рис. 2.5. Теодолит 2АШТ со стороны окуляра:
1, 2 – рукоятки; 3 – лампа; 4 – подставка; 5 – зажимной винт; 6 – подъёмный винт;
7 – горизонтальный наводящий винт; 8, 9 – резьбовые пробки

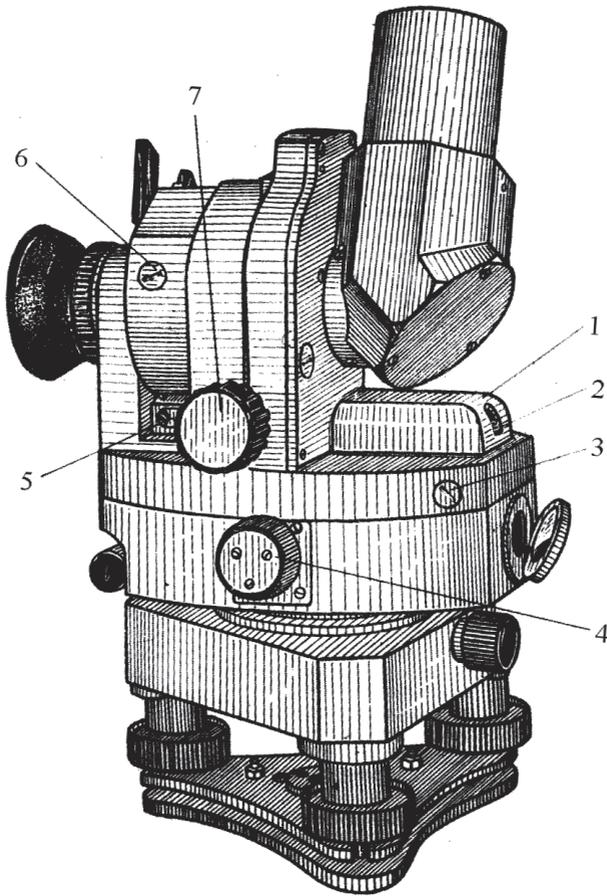


Рис. 2.6. Теодолит 2АШТ со стороны объектива: 1, 5 – крышки; 2 – винт; 3, 6 – пробки; 4 – рукоятка перевода лимба горизонтального круга; 7 – вертикальный наводящий винт

для работы в ночных условиях и пасмурную погоду, на фоне яркого неба, на участках вблизи солнца. При этом в оптическую систему вводятся бесцветный, оранжевый, жёлто-зелёный светофильтры соответственно.

На рис. 2.7. представлена оптическая схема теодолита 2АШТ.

В теодолите один окуляр (10 на рис. 2.7) используется для трёх оптических систем – зрительной трубы, визира и отсчётного микроскопа. Изображение, передаваемое каждой системой на плоскость

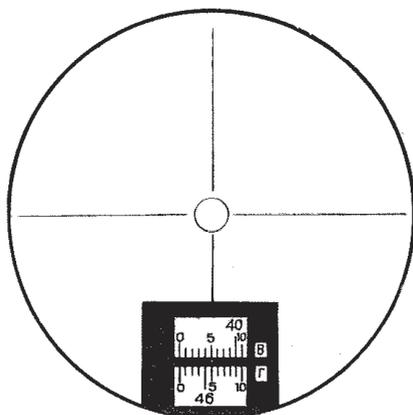


Рис. 2.8. Вид поля зрения отсчётного микроскопа теодолита 2АШТ: отсчёт по вертикальному кругу $40,90^\circ$, отсчёт по горизонтальному кругу $46,40^\circ$

Отсчётный микроскоп предназначен для считывания показаний с угломерных кругов и разделён на две части для горизонтальных и вертикальных отсчётов (рис. 2.8).

Вертикальный круг, как и горизонтальный, представляют собой стеклянное кольцо, на поверхности которого нанесены штрихи и цифры через 1° .

Отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам берут по шкалам с оценкой на глаз десятых долей деления, что соответствует $0,01^\circ$. Если отсчет по вертикальному кругу меньше нуля, то к нему берут дополнение до 360° и записывают со знаком минус.

Окуляр служит для рассматривания изображения шара-пилота, спроецированного на сетку, на которой нанесено перекрестие и окружность в центре, объективом зрительной трубы или объективом визира, а также изображений угломерных кругов и отсчётных шкал (рис. 2.8). С помощью диоптрийного кольца можно регулировать резкость изображения в окуляре в пределах ± 5 диоптрий.

Теодолит горизонтируют уровнем, выставляя его вертикальную ось отвесно. Подставка служит для установки теодолита на штативе или тумбе с помощью резьбового соединения $M16 \times 1,5$. Три подъёмных винта необходимы для горизонтирования теодолита по уровню.

Ориентир-буссоль (рис. 2.9) служит для ориентирования теодолита относительно магнитного меридиана. Буссоль устанавливают в паз в верхней части колонки и закрепляют винтом. За положением магнитной стрелки наблюдают в зеркале, которому придают

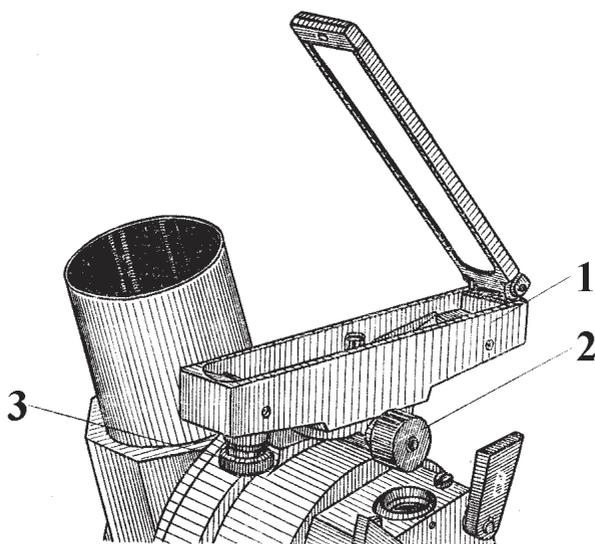


Рис. 2.9. Ориентир-буссоль:

1 – ориентир-буссоль, 2 – закрепительный винт, 3 – винт арретира

нужный наклон. Северный конец стрелки окрашен в синий цвет. После окончания работы магнитную стрелку арретируют (стопорят) вращением винта.

Для работы в тёмное время суток теодолит имеет электрическое освещение горизонтального и вертикального кругов, а также сетки. Источником электрического питания служит аккумулятор или любой другой источник постоянного тока напряжением 2,5 В.

Футляр теодолита предназначен для предохранения прибора от влаги, пыли и механических повреждений при транспортировке и хранении.

Основные характеристики теодолита следующие: увеличение зрительной трубы 20X, угол поля зрения 2° , увеличение визира 4X, угол поля зрения визира 11° , цена деления шкал горизонтального и вертикального кругов $0,1^\circ$, точность отсчёта $0,01^\circ$, масса теодолита в футляре 8,2 кг, масса теодолита с подставкой 3 кг.

2.4. Установка и проверка теодолита

Перед наблюдением теодолит устанавливается на штативе или на специально врытом столбе на площадке аэрологической станции.

После установки теодолит подготавливается для наблюдений. Подготовка теодолита к шар-пилотному наблюдению состоит из следующих операций: нивелировки, регулировки окуляра и ориентировки.

При пользовании теодолитом нужно соблюдать следующие правила.

– Перевозку, переноску и хранение теодолита необходимо производить только в футляре. Закрывая крышку футляра, не следует применять силу. Если крышка свободно не закрывается, то теодолит уложен неправильно, и надо найти и устранить причину.

– Нельзя оставлять теодолит на штативе, не укрепив его становым винтом. Не следует также переносить теодолит вместе со штативом. После окончания наблюдений теодолит нужно снять со штатива и убрать в ящик.

– При наличии в стационарных условиях специального столба (платформы) для установки теодолита в условиях, обеспечивающих его сохранность, теодолит можно оставлять укрепленным на столбе между наблюдениями. В этом случае теодолит должен быть укрыт футляром, надёжно предохраняющим его от воздействия осадков и пыли.

– Если теодолит попадает под дождь, необходимо по окончании работы тщательно протереть его чистой сухой тряпкой, объектив осторожно протереть замшей или чистой ваткой.

– В процессе работы с теодолитом как при установке и укладке, так и при наблюдениях и чистке не разрешается прикасаться руками к стёклам оптической системы.

– Удаление пыли со стёкол необходимо производить сухой чистой кисточкой. Совершенно недопустимо протирать стёкла пальцем.

– Теодолит нужно хранить в сухом помещении.

Теодолит в рабочем положении должен устанавливаться так, чтобы его вертикальная ось совпадала с отвесом. Подобная установка теодолита называется нивелировкой и производится сначала на глаз, а затем установочными винтами теодолита при помощи уровня.

Установку и закрепление теодолита в полевых условиях на штативе нужно производить в следующем порядке:

1) освободив зажимные замки, установить штатив так, чтобы его верхняя часть была на глаз горизонтальна, вдавить ножки штатива в грунт и закрепить замки;

2) вынуть теодолит из футляра;

3) взять теодолит за основание, поставить его на штатив и немедленно прикрепить становым винтом штатива;

4) снять крышку с объектива и убрать на время работы в футляр, футляр закрыть.

Установку теодолита АШТ (2АШТ) по уровню производят следующим образом. Алидаду теодолита (вся вращаемая средняя часть аэрологического теодолита называется алидадой) устанавливают так, чтобы уровень расположился параллельно направлению двух подъёмных винтов подставки. Вращением этих винтов в противоположных направлениях выводят пузырёк уровня алидады на середину. Поворачивают алидаду на 90° и третьим подъёмным винтом устанавливают пузырёк уровня на середину. Затем поворачивают алидаду на 180° . Если пузырёк отклонился от среднего положения более одного деления шкалы, то одну половину отклонения исправляют подъёмным винтом подставки, а другую – юстировочными винтами уровня. Регулировку производят одновременно обоими юстировочными винтами, откручивая один и закручивая другой. Если уровень установлен правильно, то при последующем вращении теодолита вокруг вертикальной оси пузырёк уровня не будет смещаться. Точной установки достигают в несколько приёмов.

Перед началом наблюдений следует произвести фокусировку окуляра зрительной трубы теодолита. Фокусировку всегда должен производить человек, ведущий наблюдение. Фокусировка имеет целью получение одновременно резкого изображения наблюдаемого шар-пилота и креста нитей. Для фокусировки окуляра нужно направить зрительную трубу на хорошо видимый предмет, расположенный на расстоянии 200–250 м, и, вращая кремальеру окулярной трубки, добиться резкого изображения этого предмета и креста нити.

Параллакс является следствием неправильной установки креста нитей относительно главной фокальной плоскости объектива. Определение параллакса производится следующим образом. Смотрят в окуляр на миру, смещают глаз вправо и влево, вверх и вниз. Если при этом точка, на которую сделана наводка, не сходит с центра креста нитей, то параллакса нет. В случае его наличия он не должен превышать 1 мм смещения изображения от центра креста нитей. Если значение параллакса превышает 1 мм, то теодолит неисправен, его надо отдать в ремонт.

Ориентировку теодолита по сторонам света производят так, чтобы при направлении объектива трубы на север отсчёт по горизонтальному кругу был равен 0° . Тогда при направлении объектива на восток отсчёт будет равен 90° , на юг – 180° , на запад – 270° .

Ориентировку можно производить по магнитной стрелке или по миру. Ориентировка по миру проще и точнее, однако применима только для стационарной установки теодолита (на столбе или на бетонной тумбе). Мирой может служить какая-нибудь труба, шпиль, мачта или другой подобный предмет, располагающийся не ближе 250 м от пункта наблюдений, азимут которого определён заранее. Для ориентировки переносных теодолитов, устанавливаемых на штативе, пользуются магнитной стрелкой.

Географические и магнитные полюса не совпадают. Кроме того, магнитные полюса постоянно дрейфуют. Поэтому северная стрелка магнитного компаса указывает не на географический, а на северный магнитный полюс, который находится примерно в 560 км (для эпохи 2010 года) от географического. Если же поблизости присутствуют сильные локальные магнитные аномалии, то стрелка компаса не будет указывать и на магнитный полюс. Но в любом случае стрелка компаса направлена вдоль силовых линий магнитного поля земли.

Магнитное склонение считается восточным (положительным), если северный конец магнитной стрелки компаса отклонен к востоку от географического меридиана, и западным (отрицательным) – если к западу. На рис. 2.10 представлена схематическая карта магнитного склонения, а на рис. 2.11 – адрес сайта и пример его использования для расчета магнитного склонения по заданным географическим координатам. Для Санкт-Петербурга (при задании географических координат как 30° E и 60° N) по данным этого сайта магнитное склонение равно +10,9° E.

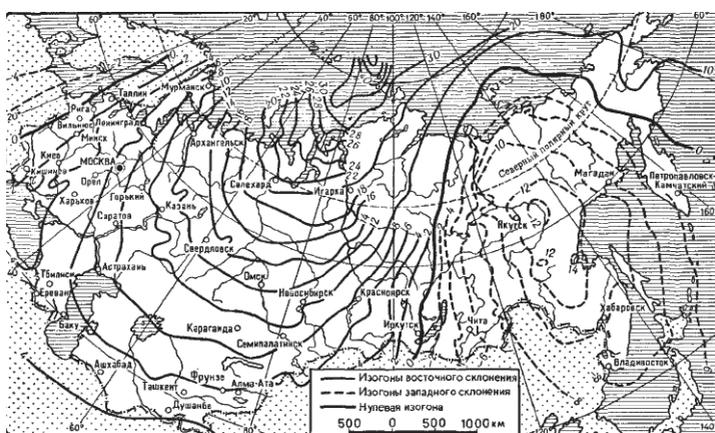


Рис. 2.10. Схематическая карта магнитного склонения

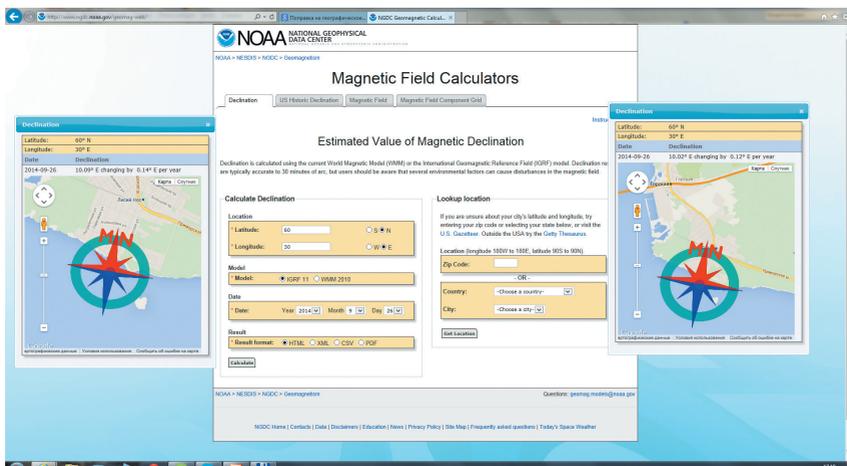


Рис. 2.11. Калькулятор магнитного склонения:
<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>

Для ориентировки теодолита по магнитной стрелке нужно:

- 1) вращением корпуса теодолита установить на горизонтальном круге при восточном магнитном склонении отсчёт равный склонению, при западном – отсчёт равный 360° минус склонение. При этом отсчёт по вертикальному кругу не должен превышать 90° ;
- 2) отпустить арретир буссоли до свободного вращения магнитной стрелки;
- 3) ослабить зажимной винт подставки и вращать теодолит в подставке до тех пор, пока конец стрелки буссоли не совместится с индексом;
- 4) закрепить теодолит в подставке и проверить установку буссоли и отсчёт по кругу;
- 5) закрепить стрелку буссоли, вращая винт арретира до упора.

Ориентировку теодолита по миру производят следующим образом. Вращая корпус теодолита вокруг вертикальной оси, нужно подвести индекс, по которому будут производиться отсчёты горизонтальных углов, к делению, равному азимуту мира. Освободив стопорный винт подставки и наведя трубу теодолита точно на мир, вновь закрепляют его. После этого необходимо проверить, не сместился ли индекс с деления, на которое он был установлен.

Азимут мира должен быть заранее определён по теодолиту с помощью магнитной стрелки (с учётом магнитного склонения) или по Полярной звезде.

В первом случае теодолит ориентируют по магнитной стрелке. Затем трубу теодолита наводят на мир так, чтобы изображение выбранной миры совпало с крестом нитей, и по горизонтальному кругу отсчитывают азимут миры. Во избежание случайных ошибок установку и ориентировку теодолита производят три раза и за азимут миры принимают среднее из полученных отсчётов.

Полярная звезда расположена почти над Северным полюсом и совершает за сутки один оборот вокруг полюса, поэтому два раза в сутки направление на Полярную звезду совпадает с направлением на север. Наибольшее отклонение направления на Полярную звезду от направления на север составляет около 1° . Следовательно, наибольшая ошибка определения направления на север при одном наблюдении не может быть больше 1° . Если за ночь провести несколько наблюдений и взять среднее из всех, можно увеличить точность определения азимута миры по Полярной звезде.

Полярную звезду легче всего найти по созвездию Большая Медведица, имеющему форму ковша. В средних широтах Большую Медведицу можно видеть в любое время года (рис. 2.12). Для того чтобы найти Полярную звезду, нужно мысленно провести прямую, соединяющую две крайние звёзды «ковша» (отмеченные на

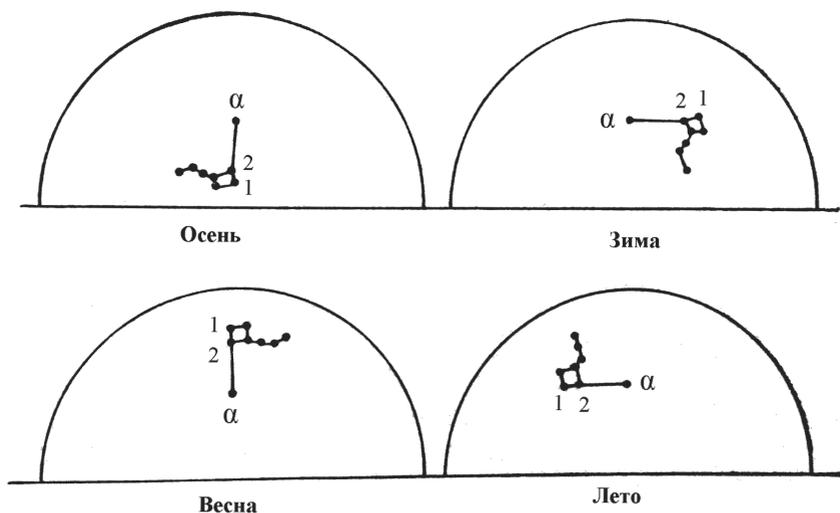


Рис. 2.12. Положение созвездия Большой Медведицы и Полярной звезды по отношению к горизонту в северной части неба в различные времена года около 22 ч в средних широтах России (для нахождения азимута миры по Полярной звезде)

рис. 2.12 цифрами 1 и 2), и на этой прямой от звезды 2 пять раз отложить расстояние между звёздами 1 и 2. Полярная звезда на рисунке обозначена буквой α .

Способ определения азимута миры заключается в следующем:

1) подводят индекс, по которому будут производить отсчёт азимута, к 0° горизонтального круга и освобождают стопорный винт;

2) наводят трубу теодолита на Полярную звезду так, чтобы изображение звезды находилось на пересечении креста нитей, и закрепляют стопорный винт. Теодолит при этом будет направлен с некоторой погрешностью на север;

3) наводят крест нитей на миру, отсчёт по горизонтальному кругу будет азимутом миры.

Поскольку азимут миры по Полярной звезде определяют ночью, мира должна иметь достаточно заметный световой ориентир.

Азимут выбранной миры заносят в книжку КАЭ-1 и в паспорт станции.

Магнитное склонение места наблюдения может быть определено также по Полярной звезде. Для этого нужно произвести первые два пункта, как и для определения азимута миры. Далее отпустить арретир буссоли до свободного вращения магнитной стрелки и вращением горизонтального наводящего винта совместить конец стрелки буссоли с индексом. Далее по горизонтальному кругу отсчитывают значение угла, которое будет равно: восточному магнитному склонению, если оно меньше 180° , или дополнению до 360° , взятому с отрицательным знаком, для западного склонения.

Теодолит должен регулярно поверяться 1, 10 и 20 числа каждого месяца и, кроме того, после каждого случая аварии, которая может сказаться на исправности инструмента. В процессе поверки выясняются поправки на смещение вертикального круга, угла коллимации, исправность уровня и чувствительность магнитной стрелки.

Приступая к проверке, следует, прежде всего, установить теодолит по уровню и отфокусировать окуляр.

Выявление места нуля вертикального круга и определение угла коллимации производят одновременно. Для этого теодолит наводят на какой-либо неподвижный ориентир с малыми угловыми размерами (шпиль, труба), находящийся на расстоянии не менее 1000 м и производят отсчёт по горизонтальному (Γ_H) и вертикальному (B_H) кругам с точностью до $0,1^\circ$ (теодолит в положении «наводка», объектив направлен вправо от наблюдателя). После этого поворачивают трубу теодолита на 180° вокруг горизонтальной оси, а затем на

180° вокруг вертикальной оси. Теодолит будет находиться в положении «перекидка», объектив направлен влево от наблюдателя. В этом положении теодолит наводят на тот же ориентир и делают отсчёты по горизонтальному ($\Gamma_{\text{п}}$) и вертикальному ($B_{\text{п}}$) кругам.

Чтобы получить поправку на место нуля вертикального круга, нужно сложить отсчёты по вертикальному кругу при наводке и перекидке. При правильной установке вертикального круга сумма отсчётов должна быть равна 180°. В противном случае следует найти разность между 180 и суммой отсчётов и разделить пополам. Это и будет поправка на место нуля вертикального круга:

$$M_0 = \frac{180(B_{\text{н}} + B_{\text{п}})}{2}. \quad (2.1)$$

Поправка по абсолютному значению 0,2° или меньшая при обработке во внимание не принимается, большая поправка прибавляется ко всем отсчётам вертикального круга с учётом знака поправки.

Для определения угла коллимации нужно из отсчёта по горизонтальному кругу при перекидке вычесть отсчёт по горизонтальному кругу при наводке. Если отсчёт по горизонтальному кругу при наводке больше, чем при перекидке, то к отсчёту при перекидке прибавляют 360°. Угол коллимации равен половине избытка или недостатка между вычисленной разностью и 180°:

$$k = \frac{(\Gamma_{\text{п}} - \Gamma_{\text{н}}) - 180}{2}. \quad (2.2)$$

Поправка к отсчетам горизонтального круга за счет коллимации не является постоянной, а зависит не только от величины коллимационного угла, но также и от величины вертикального угла, под которым находится оптическая ось. Поправку на коллимацию на станциях при однопунктных шар-пилотных наблюдениях не учитывают. Теодолит считается годным, если абсолютное значение угла коллимации не превосходит 0,2°, в противном случае требуется замена или ремонт теодолита.

Для базисных шар-пилотных наблюдений коллимационная поправка рассчитывается для каждого отсчёта по формуле:

$$\Delta\alpha = k \left(\frac{1}{\cos\delta} - 1 \right), \quad (2.3)$$

где $\Delta\alpha$ – коллимационная поправка к горизонтальному углу, δ – значение вертикального угла. Знак поправки тот же, что и знак угла

коллимации, с возрастанием вертикального угла эта поправка возрастает.

Значения поправок к вертикальному кругу и углу коллимации между соседними и любыми сроками проверки для одного теодолита не должны превышать $0,1^\circ$. В случае превышения указанных допусков теодолит необходимо сдать в ремонт.

Для проверки параллельности визирных осей зрительной трубы и визира необходимо навести перекрестие сетки зрительной трубы теодолита на неподвижную цель с малыми угловыми размерами, удалённую не менее чем на 1000 м, и взять отсчёты по вертикальному (B_T) и горизонтальному (Γ_T) кругам теодолита. Включить оптический визир и наблюдая через него, снова навести перекрестие на тот же предмет. Взять отсчёты по кругам ВВ и ГВ.

Если разности отсчётов ($B_T - B_B$) и ($\Gamma_T - \Gamma_B$) или одна из них превышает $\pm 0,05^\circ$, необходимо добиться параллельности осей вращением эксцентриковой оправы объектива визира в ту или другую сторону, предварительно отвинтив и затем завинтив стопорный винт. Если совмещения достичь не удаётся, то необходима дополнительная юстировка с наклоном призмы, которая производится в мастерской.

Проверку чувствительности магнитной стрелки теодолита производят после каждой его перевозки. Установив для этого теодолит по уровню и магнитной стрелке и проверив, полностью ли освобождён арретир стрелки, подносят к концу стрелки сбоку какой-либо железный или стальной предмет и тотчас же убирают его. Исправная, хорошо намагниченная стрелка, немного покачавшись из стороны в сторону, быстро останавливается и затем возвращается в прежнее положение. Если стрелка качается долго, то это указывает на её слабую намагниченность. Если же она останавливается быстро, но в прежнее положение не возвращается, а при повторном воздействии на неё железом останавливается в разных местах, то это означает, что износился или сломался шпиль стрелки или её подпятник.

Необходимо не менее трёх раз подряд проверить однообразие показаний, для чего после каждого успокоения стрелки следует вращением механизма горизонтальной наводки совместить её конец с риской на индексе и снять отсчёт по горизонтальному кругу. Разность полученных отсчётов не должна превышать $\pm 0,5^\circ$. Если это условие не выполняется, буссоль необходимо сдать в ремонт.

При потере магнитной стрелкой чувствительности буссоль теодолита подлежит ремонту.

2.5. Проведение наблюдений

За 10–15 мин до срока выпуска шар-пилота наблюдатель выполняет следующие операции:

1) отсчитывает и заносит в книжку для записи наблюдений над шар-пилотами КАЭ-1 (см. рис. 3.4 в лаб. работе № 3) в соответствующие строки порядковый номер шар-пилота (с начала года), дату, давление по барометру, температуру и влажность с введением инструментальных поправок:

2) устанавливает теодолит для наблюдений, подготавливает часы, секундомер, книжку КАЭ-1, два простых хорошо отточенных карандаша;

3) взвешивает оболочку и определяет норму наполнения оболочки для получения стандартной вертикальной скорости шар-пилота;

4) наполняет оболочку.

При наполнении шара до нестандартной вертикальной скорости норму наполнения оболочек предварительно не определяют. В остальной операции и их порядок остаются теми же.

Результаты измерений грузоподъёмности, массы оболочки или длины окружности, массы фонарика и результаты вычислений поправочного множителя на фактическую плотность воздуха, табличной и фактической вертикальной скорости шар-пилота записывают в книжку КАЭ-1.



Рис. 2.13. Проведение шар-пилотных наблюдений в офицерской школе морской авиации (Баку, 1915 г.)

За 5 мин до срока выпуска наблюдатель определяет ветер, облачность в соответствии с требованиями Наставления по гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, ч. 1 и записывает в книжку КАЭ-1, в строку «До подъёма».

В момент выпуска шара определяют следующие атмосферные явления: осадки, дымка, низкие туманы, мгла, низовые метели с указаниями интенсивности. Атмосферные явления записываются условными

обозначениями после данных облачности и отделяются от них запятой.

Перед самым выпуском шара наблюдатель направляет трубу теодолита в ту сторону, куда должен полететь шар, то есть по направлению ветра.

В момент выпуска шара наблюдатель включает секундомер и записывает в книжку КАЭ-1 с точностью до 1 мин время выпуска (местное среднее солнечное).

Через 10–15 с после выпуска шара наблюдатель наводит на него трубу теодолита, пользуясь мушкой и целиком. Глаз при этом должен находиться от целика на расстоянии вытянутой руки, а линия визирования должна проходить так, чтобы шар казался «сидящим» на мушке.

Как только шар-пилот попадает в поле зрения трубы, наблюдатель прекращает наводку на шар вручную. Пользуясь одновременно обоими микрометрическими винтами, наблюдатель ведёт трубу за шаром так, чтобы его изображение находилось всё время вблизи креста нитей в той четверти зрительного поля трубы теодолита, которая противоположна направлению движения шар-пилота. Одновременно наблюдатель следит за показаниями секундомера.

Для того, чтобы одному человеку было проще одновременно следить за временем по секундомеру и за тем, чтобы шар во время команды «отсчёт» был в центре креста нитей зрительной трубы, рекомендуется научиться в соответствии с ходом секундомера произносить вслух или про себя слова «без пяти», «без двух», «отсчёт» за 5 с. Следя за ходом стрелки секундомера, наблюдатель за 5 с до отсчёта прикладывает свой глаз к окуляру теодолита и, действуя микрометрическими винтами, наводит крест нитей точно на шар. Одновременно он начинает произносить «без пяти», «без двух», «отсчёт». При последнем слове шар должен быть точно в центре креста нитей. Такой способ счёта секунд освобождает наблюдателя от необходимости следить за секундной стрелкой и позволяет перенести своё внимание на точную подводку креста нитей к движущейся цели.

После слова «отсчёт» наблюдатель прекращает вращать микрометрические винты и производит отсчёт показаний по вертикальному и горизонтальному кругам с точностью до $0,1^\circ$, после чего оба отсчёта повторяет вслух и записывает.

Для того чтобы научиться отсчитывать время в течение 5 с без секундомера, необходима тренировка.

Во избежание потери шара следует тщательно следить за шар-пилотом в теодолит и не допускать выхода его из поля зрения окуляра.

Шар-пилотные наблюдения обычно проводит один наблюдатель, однако эту работу удобнее делать вдвоём. Первый наблюдатель производит выпуск шара, следит за секундомером, давая команды на отсчёт данных, и записывает полученные углы в книжку наблюдений. Второй наблюдатель следит за полётом шара в теодолит и по командам первого наблюдателя производит отсчёты углов.

Запись следует производить простым карандашом в строки, соответствующие минутам, прошедшим от момента выпуска. Десятые доли градусов отделяются точками. В случае пропуска отсчёта на его месте следует ставить тире (—).

При прохождении шара вблизи зенита горизонтальный угол изменяется часто настолько быстро, что удержать изображение шара в поле зрения, действуя только микрометрическими винтами, невозможно. В таких случаях, чтобы не упустить шар и в то же время не допустить перевода трубы через зенит, приходится поворачивать трубу вокруг вертикальной оси рукой. Если же труба всё-таки будет переведена через зенит (отсчёты по вертикальному кругу будут больше 90°), наблюдения следует продолжить, как и при нормальном положении трубы.

Отсчёты и запись углов производят через каждые 0,5 мин в течение первых трёх минут наблюдения и далее до конца наблюдения через 1 мин. Если наблюдение длится более 32 мин, то запись углов следует продолжить на следующих страницах книжки.

Наблюдения, если нет специального распоряжения, следует вести до тех пор, пока шар-пилот виден в теодолит. Причинами прекращения наблюдений могут быть следующие:

- шар вошёл в облако;
- шар лопнул;
- шар закрыло нижележащее облако;
- шар стал невидимым вследствие тумана, мглы или выпадающих осадков;
- шар стал невидимым вследствие слияния с фоном;
- шар пропал из поля зрения.

В случае прекращения наблюдений при ясном небе или облаках среднего яруса из-за того, что шар лопнул или пропал из поля зрения на высотах ниже 3 км над поверхностью земли в светлое время

суток и 2 км в тёмное время суток, следует производить повторный выпуск шар-пилота.

Момент, когда шар-пилот, входя в облако, начинает туманиться, отмечают с точностью до 1 с и записывают в книжку в конце наблюдений. Там же указывают форму облака и время, когда шар окончательно скрылся в облаках. Если шар не входит в облако, а его закрывает облако, расположенное ниже шара, то время, когда шар туманится и скрывается, не записывают, а указывают, что «шар закрыло облаком» и форму облака.

Если шар, закрытый облаками, через некоторое время вновь виден, наблюдения следует продолжить.

По окончании наблюдений в книжку для записи наблюдений КАЭ-1 в соответствующие строки записывают:

- причину прекращения наблюдений;
- направление, в котором скрылся шар (отмечают один из восьми румбов: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ), определённое на глаз;
- облачность и ветер по флюгеру в строку «После подъёма»;
- осадки во время подъёма (дождь, снег, и т.п.), их записывают условным знаком рядом с формой облаков.

Не разрешается подчищать или исправлять записи, произведённые во время наблюдений, переделывать одни цифры на другие. При необходимости нужно аккуратно зачеркнуть ошибочную цифру так, чтобы она была видна, а правильную записать возле неё. Допускается зачеркнуть всю строку при неправильной записи и повторить её в новой строке.

Отсчёты вертикального угла по теодолиту в книжку КАЭ-1 записывают без учёта поправки. Значение поправки приводят в книжке над графой вертикальных углов и учитываются при обработке наблюдения.

Для наблюдений в тёмное время к шар-пилоту подвешивают специальный фонарик, свет которого и наблюдают в теодолит.

Фонарик подготавливают заблаговременно до выпуска шара и подвешивают к шар-пилоту после измерения свободной подъёмной силы.

При определении вертикальной скорости шар-пилота необходимо учитывать массу фонарика и сопротивление фонарика движению.

Для наблюдений в тёмное время суток необходимо заранее подготовить теодолит:

- 1) проверить освещение нитей,
- 2) проверить исправность фонаря для освещения кругов и освещения книжки для записи шар-пилотных наблюдений,
- 3) если нет постоянных достаточно удалённых огней, отфокусировать теодолит при дневном свете.

Порядок шар-пилотных наблюдений в тёмное время суток и их запись те же, что и в дневное время. Однако имеются следующие особенности:

- нити и круги теодолита освещаются специальной лампочкой в теодолите,
- книжка для записи наблюдений за шар-пилотами освещается электрическим фонариком.

При освещении свет фонарика должен быть направлен от наблюдателя, чтобы не слепить глаза.

При порче лампы теодолита для освещения поля зрения трубы можно пользоваться тем же фонариком, который служит для освещения книжки. Для этого фонарь по команде «без пяти» осторожно подносят к иллюминатору теодолита, так чтобы не ослепить наблюдателя.

Во время наблюдений следует тщательно следить за тем, чтобы шар-пилот не спутать со звездой. В первые 10–15 мин фонарик обычно хорошо виден и его легко отличить от звёзд. При дальнейших наблюдениях, чтобы не спутать фонарик со звездой, нужно помнить о двух отличительных его признаках:

- 1) жёлтоватый мигающий свет,
- 2) движение среди звёзд.

Иногда стандартный срок наблюдений совпадает с сумерками или рассветом, когда шар и свет фонарика виден плохо. В этом случае разрешается произвести выпуск шара на полчаса раньше или позже стандартного срока с тем, чтобы шар можно было наблюдать без фонарика в более светлое время или в темноте, когда свет фонарика лучше заметен.

2.6. Порядок выполнения лабораторной работы

Внимание! Выполнение каждого пункта задания должно быть зафиксировано в отчете по лабораторной работе подписью преподавателя.

1. Работа выполняется двумя студентами, поэтому перед началом ее выполнения необходимо согласовать с преподавателем разделение студентов группы на пары.

2. Внимательно изучить описание лабораторной работы и получить у преподавателя допуск к ее выполнению.

3. Произвести установку теодолита по уровню.

4. Произвести фокусировку окуляра зрительной трубы теодолита.

5. Проверить параллельность внутренних осей зрительной трубы теодолита.

6. Выявить место нуля вертикального круга и определить угол коллимации.

7. Проверить чувствительность магнитной стрелки.

8. Для географических координат, заданных преподавателем, определить магнитное склонение предполагаемого пункта наблюдения.

9. Произвести ориентацию теодолита по магнитной стрелке (значение магнитного склонения определено при выполнении пункта 8).

10. Произвести имитацию проведения однопунктных шар-пилотных наблюдений, выполняя отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам. При выполнении этого этапа один студент, медленно вращая горизонтальный и вертикальный наводящие винты, снимает отсчеты, второй – по секундомеру дает команды на снятие отсчетов и записывает их в таблицу № 1 (см. Приложение 2.1). После снятия 10 отсчетов студенты меняются местами, и запись отсчетов производится в таблицу № 2.

2.7. Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Подписи преподавателя, подтверждающие выполнение каждого пункта, указанного в разделе «Порядок выполнения лабораторной работы».

3. Письменные ответы на контрольные вопросы.

4. Таблицы с данными, полученными при имитации проведения однопунктных шар-пилотных наблюдений.

5. Письменные ответы на контрольные вопросы.

6. Форма бланка отчета приведена в Приложении 2.1

2.8. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен аэрологический теодолит?
2. Для чего предназначен уровень аэрологического теодолита?
3. Для чего предназначен ориентир-буссоль аэрологического теодолита?
4. Из каких операций состоит подготовка теодолита к проведению однопунктных шар-пилотных наблюдений?
5. Для чего нужно знать магнитное склонение пункта проведения шар-пилотных наблюдений?
6. Как учитывается величина магнитного склонения при подготовке аэрологического теодолита к проведению шар-пилотных наблюдений?
7. Для чего перед выпуском шар-пилота взвешивают оболочку?
8. С какой точностью производится отсчёт показаний по вертикальному и горизонтальному кругам аэрологического теодолита?

2.9. Приложение

Приложение 2.1.

Бланк отчета (без титульного листа)

Отчет по лабораторной работе № 2. Аэрологические теодолиты

1. Установка теодолита по уровню выполнена: _____
подпись преподавателя
2. Фокусировка окуляра зрительной трубы выполнена: _____
подпись преподавателя
3. Проверка параллельности внутренних осей зрительной трубы выполнена: _____
подпись преподавателя
4. Место нуля вертикального круга выявлено и угол коллимации определен: _____
подпись преподавателя
5. Чувствительность магнитной стрелки проверена: _____
подпись преподавателя
6. Имитация проведения однопунктных шар-пилотных наблюдений произведена: _____
подпись преподавателя

Таблица №1

Минуты	Угол	
	горизонт.	вертикал.
	отсчеты	
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3		
4		
5		
6		
7		

Таблица №2

Минуты	Угол	
	горизонт.	вертикал.
	отсчеты	
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3		
4		
5		
6		
7		

Ответы на контрольные вопросы

Работу выполнили: студент _____ группы _____
 студент _____ группы _____

Работу принял: _____ / _____ /
 ФИО преподавателя

« ___ » _____ 20__ г.

Лабораторная работа № 3.

Получение информации о распределении скорости и направления ветра с высотой при использовании оптических однопунктных шар-пилотных наблюдений

Цель работы: изучить основные методы производства и обработки данных оптических аэрологических измерений; приобрести навыки в обработке данных оптических аэрологических измерений; освоить принципы анализа распределения скорости и направления ветра в атмосфере.

Материалы для работы:

- 1) данные оптических аэрологических измерений – бланк КАЭ-1 (выдаются преподавателем, см. рис. 3.4);
- 2) аэрологический планшет А-30 («круг Молчанова», см. рис. 3.1);
- 3) таблицы для определения вертикальных скоростей шар-пилота (см. Приложения 3.1–3.4);
- 4) файл «Шар-ПКЗ.xls», содержащий программу обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений «Шар-пилот.xls» (выдается преподавателем);
- 5) файл с презентацией, описывающей использование программы обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений: «Обработка данных шар-пилотных наблюдений.ppt» (выдается преподавателем);
- 6) калькулятор для проведения инженерных расчетов;
- 7) миллиметровка, линейка, карандаш.

3.1. Теоретические сведения

Определение направления и скорости ветра на различных высотах может быть выполнено при наличии информации о координатах шар-пилота (азимута α , вертикального угла β и высоты H) для определенных моментов времени. Значения α и β определяются с помощью аэрологических теодолитов, а высота H (в предположении постоянства вертикальной скорости шара) вычисляется по формуле:

$$H = wt, \quad (3.1)$$

где w – вертикальная скорость в м/мин; t – время в минутах, прошедшее с момента выпуска шара.

Обработка наблюдений включает в себя:

- определение высоты подъема шара;
- нахождение средних значений направления и скорости ветра в слоях, определяемых интервалами времени между отсчетами углов;

- определение высот средин слоев, к которым относят полученные значения направления и скорости ветра;

- определение направления и скорости ветра для высот изобарических поверхностей, выбранных стандартных уровней или других интересующих высот (например, высот особых точек, т. е. точек, где резко меняется значение метеорологической величины) путем интерполяции по высоте.

При необходимости вычисляются и другие характеристики ветра (средний ветер в слоях от земли до заданного уровня и др.). Заканчивается обработка составлением итоговой таблицы, а в случае оперативного зондирования – телеграммой по коду КН-03.

Информация о распределении скорости и направления ветра по высотам может быть получена путем графического или аналитического решения.

Графический метод обработки основан на применении круга Молчанова (планшет А-30).

3.2. Планшет А-30

Планшет аэрологический А-30 (рис. 3.1) предназначен для графического определения скорости и направления ветра в слоях атмосферы по результатам шар-пилотных наблюдений.

Определение скорости и направления ветра в слоях атмосферы при помощи планшета основано на графическом построении горизонтальных проекций пути свободнолетающего шар-пилота за время, в течение которого шар-пилот, поднимаясь в вертикальном направлении, отклоняется от вертикали под влиянием ветра, господствующего в каждом из слоев атмосферы, пересекаемых шар-пилотом.

Планшет А-30 состоит из следующих основных частей:

- круглого металлического основания (1 на рис. 3.1), на одной из плоскостей которого отпечатана номограмма Молчанова;

– цапфы (4 на рис. 3.1), при помощи которой осуществляется соединение основания планшета с подвижным радиусом-линейкой и диском;

– чехла для хранения и переноски планшета.

На правой стороне номограммы, оцифрованной значениями вертикальных углов β от 0 до 90°, построены линии горизонтальных удалений проекции шар-пилота L , соответствующие высотам шара H от 100 до 9000 м. Они построены по формуле:

$$L = H \operatorname{ctg} \beta \quad (3.2)$$

в масштабе 1:30000, т. е. 1 мм на планшете соответствует 30 м. Цифры на кривых означают высоты в сотнях метров. До высоты 2000 м кривые проведены через каждые 100 м, с 2000 до 6000 м – через каждые 200 м и с 6000 до 9000 – через каждые 500 м высоты. Точки первой кривой соответствуют горизонтальным удалениям проекции шар-пилота от центра номограммы, вычисленным по различным значениям вертикальных углов для высоты 100 м, точки второй кривой – для высоты 200 м и так далее.

На свободной части номограммы нанесена прямоугольная сетка со сторонами, параллельными осям север–юг и запад–восток; она образует квадраты размерами 2×2 мм (60×60 м). Сетка служит для определения значений скорости ветра путём совмещения измеряемого вектора горизонтальной проекции пути шар-пилота, нанесённого на подвижный прозрачный диск планшета, с какой-либо прямой линией этой сетки. По количеству квадратиков сетки, уместившихся на длине измеряемого вектора, определяется скорость ветра в метрах за наблюдаемый отрезок времени.

Правая половина круга номограммы, центр которого принимается за местонахождение аэрологического теодолита, имеет шкалу с делениями от 0 до 90°, соответствующую шкале вертикального лимба аэрологического теодолита. Для достижения большей точности графических вычислений деления этой шкалы удвоены относительно углового масштаба, и цена каждого из делений полуокружности равна 0,5°. Оцифровка шкалы произведена через 5°.

Подвижный радиус-линейка служит для построения проекций шара по значениям вертикальных и горизонтальных углов, измеренных с помощью аэрологического теодолита при шар-пилотных наблюдениях. Во время работы необходимо пользоваться только рабочей гранью линейки, проходящей через центр круга номограммы.

На подвижном диске нанесена окружность, разделённая аналогично горизонтальному лимбу аэрологического теодолита на 360 градусных делений с оцифровкой углов через 10° . Плоскость диска предназначена для графических построений горизонтальных проекций пути шар-пилота.

Горизонтальные проекции пути шар-пилота наносят на подвижный диск планшета, сквозь который просматриваются кривые номограммы.

Определение ветра с помощью планшета А-30 осуществляется путем построения проекции шар-пилота на подвижном круге по измеренным координатам α , β и H и последующего отсчета скорости ветра путем определения величины каждого отрезка построенной проекции. Для этого отрезки поочередно располагаются параллельно вертикальным или горизонтальным линиям сетки. Модуль скорости ветра отсчитывается по числу клеток n между точками, а направление – против соответствующих концов диаметров номограммы. Однако скорость ветра равна числу клеток n только в том случае, если отрезок времени, соответствующий положению шар-пилота в выбранных точках горизонтальной проекции, равен 1 мин. Если же интервал времени (или масштаб по высоте при нанеске точек на планшет А-30) изменен, число клеток нужно увеличить или уменьшить в соответствующее число раз.

Точность определения скорости и направления ветра при графической обработке зависит от используемого масштаба и при его уменьшении более чем в 4 раза существенно понижается.

Схему определения положения проекции шар-пилота на горизонтальную плоскость поясняет рис. 3.2.

3.3. Аналитическая обработка

Аналитическая обработка сводится к решению тригонометрической задачи. Ниже приведен алгоритм обработки данных однопунктных оптических шар-пилотных наблюдений.

На рис. 3.3 использованы следующие обозначения: высота H_i – для момента времени t_i ; W – вертикальная скорость шар-пилота; x_i и y_i – декартовы координаты положения проекции шар-пилота на горизонтальную плоскость для момента времени t_i ; α_i и β_i – вертикальный и горизонтальный углы; V_i и d_i – скорость и направление ветра; $\Delta x_{i,i-1}$ и $\Delta y_{i,i-1}$ – изменение декартовых координат положения

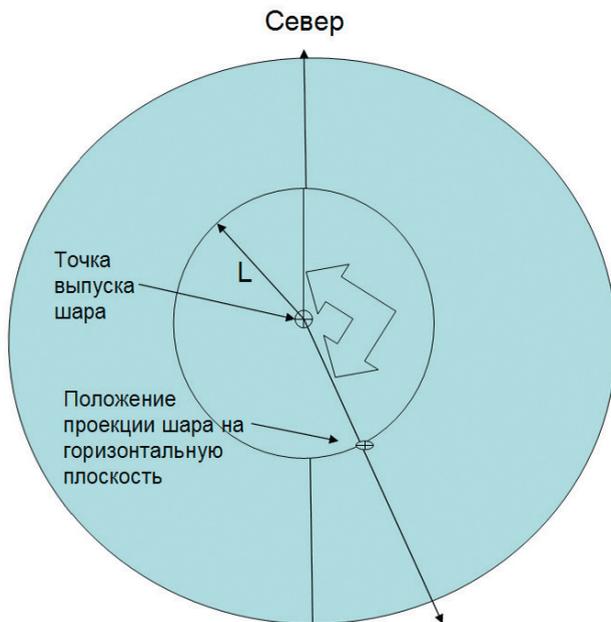


Рис. 3.2. Схема определения положения проекции шар-пилота на горизонтальную плоскость графическим методом: L – удаление проекции шар-пилота от точки выпуска (от центра круга), двойной стрелкой указано значение горизонтального угла

$$H_i = Wt_i$$

$$x_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \cos \alpha_i$$

$$y_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \sin \alpha_i$$

$$V_{i,i-1}(\Delta t_{i,i-1}) = \frac{\sqrt{\Delta x_{i,i-1}^2 + \Delta y_{i,i-1}^2}}{60 \Delta t_{i,i-1}^2} \quad \Delta x_{i,i-1} = x_i - x_{i-1} \quad \Delta y_{i,i-1} = y_i - y_{i-1} \quad \Delta t_{i,i-1} = t_i - t_{i-1}$$

$$a_{i,i-1} = \operatorname{arctg} \left| \frac{\Delta y_{i,i-1}}{\Delta x_{i,i-1}} \right|$$

$$180^\circ + a_{i,i-1} \quad \text{если} \quad \Delta x_{i,i-1} > 0, \quad \Delta y_{i,i-1} > 0$$

$$d_i = a_{i,i-1} \quad \text{если} \quad \Delta x_{i,i-1} < 0, \quad \Delta y_{i,i-1} < 0$$

$$360^\circ - a_{i,i-1} \quad \text{если} \quad \Delta x_{i,i-1} < 0, \quad \Delta y_{i,i-1} > 0$$

$$180^\circ - a_{i,i-1} \quad \text{если} \quad \Delta x_{i,i-1} > 0, \quad \Delta y_{i,i-1} < 0$$

Рис. 3.3. Алгоритм обработки данных одноpunktных оптических шар-пилотных наблюдений

проекции шар-пилота на горизонтальную плоскость между моментами времени t_i и t_{i-1} .

Пример записи результатов аналитической обработки данных однопунктных оптических шар-пилотных наблюдений представлен в Приложении 3.5.

Для передачи результатов, полученных после обработки данных шар-пилотных наблюдений, используется код КН-03.

3.4. Порядок обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений графическим методом с использованием планшета А-30

Данные, необходимые для проведения обработки результатов однопунктных шар-пилотных наблюдений, содержатся в бланке КАЭ-1, выдаваемом преподавателем. В него же заносятся все результаты обработки. Пример бланка КАЭ-1 представлен на рис. 3.4.

Обработку данных однопунктных шар-пилотных наблюдений графическим методом с использованием планшета А-30 выполнить в нижеприведенной последовательности.

Шар-пилот № 100										Нумер=105м											
Дата		16.06.1988		Время		15 час 50 мин		Шар-пилот №		100		Угол		Высота шаров над поверхностью земли		Высота середины слоя		Ветер			
Оболочка №		Свободн		Подъемн.		Сила		199		Длина окруж		76		Вес фонарика		см		Попр. множитель		гр.	
Высказанная скорост		Давление		Влажность относит.		Облачность кол-во общ. ниж. и		Ветер (по флюгеру) направл		Термический ветер		горизонтальный		вертикальный		над поверхн. земли		над уровнем моря		направлени	
м/мин		ммб		%		мм		мм		мм/мин		отсчеты		отсчеты		отсчеты		отсчеты		отсчеты	
1010		54		19,8		14,2		19,8		14,2		0,5		159,5		47,7					
54		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		1,0		155,5		47,2					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		1,5		150,0		47,2					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		2,0		157,0		49,0					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		2,5		157,0		47,7					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		3		161,5		45,5					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		4		164,3		43,8					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		5		169,0		43,9					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		6		172,0		45,8					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		7		169,8		46,7					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		8		165,0		46,2					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		9		159,2		42,9					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		10		153,5		39,8					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		11		149,1		36,1					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		12		145,8		33,6					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		13		143,4		31,1					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		14		141,2		29,0					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		15		139,7		27,3					
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		16		138,1		26,2					
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		17									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		18									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		19									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		20									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		21									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		22									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		23									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		24									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		25									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		26									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		27									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		28									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		29									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		30									
14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		31									
19,8		14,2		19,8		14,2		19,8		14,2		32									

Рис. 3.4. Пример бланка КАЭ-1 с данными однопунктных оптических шар-пилотных наблюдений

1. Для обрабатываемых моментов времени (через 0,5 мин до 3-й мин, через 1 мин с 3-й до 10-й мин и далее через 2 мин) вычислить высоту шара над поверхностью земли по формуле (3.1).

Вертикальную скорость шара определяют по свободной подъемной силе A и весу оболочки q (в граммах) в следующем порядке:

а) по таблицам Приложения (3.1, 3.2 или 3.3 – в зависимости от номера оболочки) определяется величина вертикальной скорости шара w (м/мин) и найденное значение записывается в бланк КАЭ-1 в графу «Вертикальная скорость» (см. рис. 3.4). Таблицы Приложения для определения величины вертикальной скорости шара рассчитаны на температуру 20 °С и давление 1013,3 гПа;

б) по таблице 3.4 Приложения определяется поправочный множитель на отклонение плотности воздуха при данной температуре и давлении от значения плотности при температуре 20 °С и давлении 1013,3 гПа, найденная величина записывается в графу «Поправочный множитель» бланка КАЭ-1 (см. рис. 3.4);

в) перемножением табличного значения w на поправочный множитель определяют исправленное значение вертикальной скорости подъема шара, результат записывают в графу «Исправлена на плотность» (см. рис. 3.4).

2. Вычисленные значения высот записать в соответствующую графу бланка КАЭ-1 (см. рис. 3.4).

3. По измеренным значениям вертикального и горизонтального углов и вычисленным значениям высот над поверхностью земли нанести горизонтальные проекции шара для каждого обрабатываемого момента времени на планшете А-30.

Для этого рабочий край линейки, проходящий через центр круга, устанавливают против деления на неподвижном круге, соответствующего вертикальному углу. Вращая подвижный круг, подводят его к рабочему краю линейки против деления на подвижном круге, соответствующего данному горизонтальному углу. Затем на пересечении края линейки с кривой горизонтальных удалений на неподвижном круге, соответствующей высоте шара в обрабатываемый момент времени, на подвижном круге наносят точку и подписывают ее данной минутой. Линия, соединяющая нанесенные точки, представляет собой траекторию перемещения шара в горизонтальной плоскости – результат воздействия на шар сносящего потока воздуха (ветра).

Если за первые минуты полета точки на круге располагаются близко одна к другой, рекомендуется увеличить масштаб построений в 2–10 раз. В случае, если последующие точки не помещаются

на круге, масштаб построения следует уменьшить. При этом последняя точка, нанесенная в прежнем масштабе, обязательно повторяется в новом масштабе.

4. Используя построенную горизонтальную проекцию движения шар-пилота, определить скорость и направление ветра для соответствующих интервалов времени (с учетом масштаба построения).

5. Скорость ветра с точностью до 1 м/с и направление ветра с точностью до 1° записать в соответствующие графы бланка КАЭ-1 в строки, соответствующие концу обрабатываемого интервала времени.

Если при штиле шар находится в зените и наблюдения произвести нельзя или если между соседними точками скорость составляет 0,5 м/с и менее, то в графу «Скорость» ставится цифра 0, а графа «Направление» не заполняется (тире ставить не нужно).

6. Осуществить привязку ветровых характеристик к высоте. Полученные значения v_i относятся к высотам середины слоя, пройденного шаром за интервал времени между двумя соседними моментами. Высоты средин слоев вычисляются как среднее арифметическое из соседних высот шара над поверхностью земли (или над уровнем моря) с округлением до 10 м.

7. Полученные значения скорости и направления ветра, отнесенные к высотам средин слоев над уровнем моря, нанести на график в масштабе: по вертикали – 1 см \sim 1 км; по горизонтали – 1 см \sim 2 м/с и 1 см \sim 10° . Нанесенные точки соединяют непрерывными ломаными линиями.

8. С графика снять значения скорости и направления ветра на стандартных высотах: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6 и 0,9 км над поверхностью земли и 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 и т.д. до 10 км, затем 10, 12, 14, 16 км и т.д. над уровнем моря.

9. Выбрать особые точки ветра. С этой целью на построенных кривых изменения ветра с высотой намечают предполагаемые особые точки, то есть точки, в которых наблюдается значительный излом кривых. Далее последовательно, начиная с поверхности земли (эта точка всегда относится к числу особых), в порядке возрастания высоты, исследуют все изломы на кривых $v(H)$ и $d(H)$. Для этого соединяют пунктирной прямой две соседние с исследуемой точкой (нижележащую, уже выбранную особую точку, и вышележащую предполагаемую особую точку). На этой прямой на уровне исследуемой точки отсчитывают линейно интерполированное значение скорости и направления ветра – рис. 3.5.

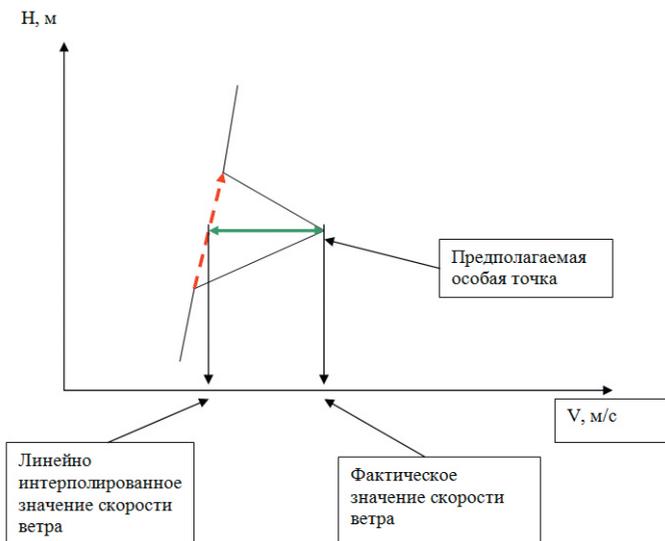


Рис. 3.5. Схема определения особых точек

Исследуемую точку включают в число особых по скорости или направлению ветра, если выполняются следующие условия:

- для скорости ветра: линейно интерполированное значение скорости отличается от действительного более чем на 5 м/с;
- для направления ветра: линейно интерполированное значение направления ветра отличается от действительного более чем на 10° .

10. По окончании первичной обработки провести критический просмотр результатов наблюдений в следующем порядке:

а) обратить внимание на ветровые характеристики у поверхности земли (по флюгеру) и на первой высоте середины слоя. Эти данные при умеренных и сильных ветрах должны быть близки между собой. В противном случае сказывается либо влияние местных условий, либо допущенные ошибки;

б) сравнить первое вычисленное значение направления ветра с первым отсчетом горизонтального угла. Расхождение между ними должно быть около 180° ($180^\circ \pm 5^\circ$);

в) обратить внимание на соответствие между последним отсчетом горизонтального угла и записью в таблице КАЭ-1: «Направление, в котором скрылся шар». Расхождение должно быть в пределах одного румба (11.25°);

г) проанализировать плавность хода горизонтальных и вертикальных углов и хода значений скорости и направления ветра с высотой. Как правило, уменьшению вертикальных углов соответствует усиление скорости ветра и наоборот, увеличение вертикальных углов – уменьшению скорости ветра. Увеличение горизонтальных углов эквивалентно правому повороту ветра с высотой.

11. Полученные данные будут использоваться при выполнении лабораторной работы № 4 для составления телеграммы по коду КН-03. Телеграмма по коду КН-03 содержит в закодированном виде все основные сведения о распределении ветра с высотой.

3.5. Порядок обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений аналитическим методом

Рассчитать распределение скорости и направления ветра по высоте аналитическим методом. Алгоритм аналитического метода обработки данных однопунктных оптических шар-пилотных наблюдений представлен на рис. 3.3.

Для записи получаемых в процессе проведения расчетов данных удобно воспользоваться таблицей 3.1.

Таблица 3.1

Вид вспомогательной таблицы для записи результатов расчетов

T , мин	α , °	β , °	H , м	x	y	V , м/с	Δx	Δy	a	d , °
0,5	159,5	47,7	100	-85,3	31,9	3,0	-85,3	31,9	20,5	340
1,0	155,5	47,2	200	-168,5	75,9	3,1	-83,2	44,0	27,9	332
1,5	158,0	47,2	300	-258,4	102,8	3,1	-89,9	26,9	16,7	343
2,0	157,0	49,0	400	-310,1	135,6	2,3	-61,7	32,8	28,0	332
2,5	157,0	47,7	500	-419,1	177,5	3,6	-99,0	41,9	22,9	337
3,0	164,5	45,5	600	-568,7	159,3	5,0	-149,6	-18,2	6,9	344
4,0	164,3	43,8	800	-803,5	225,3	4,1	-234,8	66,0	15,7	353
5,0	169,0	43,9	1000	-1020,3	197,4	3,6	-216,8	-27,9	7,3	346
6,0	172,0	45,8	1200	-1155,9	163,3	2,3	-135,6	-34,1	14,1	332

После завершения расчетов сравнить полученные аналитическим и графическим методами значения направлений и скоростей ветра, заполнив таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Вид таблицы для сравнения результатов аналитического и графического методов расчета значений направления и скорости ветра

T, мин	Графический метод		Аналитический метод	
	V, м/с	D, град	V, м/с	D, град
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				
2,5				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

3.6. Порядок обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений с использованием программы «Шар-пилот.xls»

Файл «Шар-ПК3.xls», содержащий программу обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений, выдается преподавателем. Для ее использования необходимо в настройках табличного процессора «Excel» установить режим, позволяющий использование макросов. Текст программы, содержащейся в файле «Шар-ПК3.xls», представлен в Приложении 3.6. Для обработки данных шар-пилотных наблюдений при использовании этой программы в первом диалоговом окне необходимо ввести цифру 1 (см. рис. 3.6).

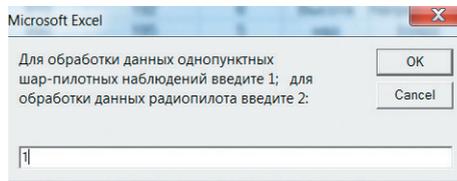


Рис. 3.6. Диалоговое окно при работе с файлом «Шар-ПК3.xls»

Входные параметры программы из файла «Шар-РКЗ.xls»:

- ввод параметра, указывающего тип данных (в данном случае таким параметром является цифра 1);
- общее число значений угловых координат шар-пилота;
- вертикальная скорость подъема шар-пилота [м/мин];
- высота пункта наблюдения над уровнем моря [м];
- схема ввода данных: вводится 1 для ввода угловых координат с клавиатуры или вводится 2 – для считывания угловых координат с Листа 2, куда они должны быть предварительно записаны (вертикальные углы в колонку В, горизонтальные углы в колонку С).

Дискретность обрабатываемых моментов времени стандартная:

- через 0,5 мин до 3-й мин включительно;
- через 1 мин с 3-й до 10-й мин;
- через 2 мин с 10-й мин до 40 мин,
- через 4 мин с 40 мин до конца подъёма, включая последнюю минуту наблюдения.

Данные зондирования содержатся в таблице ТАЭ-1.

Порядок использования программы из файла «Шар-РКЗ.xls» для обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений подробно описан в презентации «Обработка данных шар-пилотных наблюдений.ppt». Файл с данной презентацией выдается преподавателем.

Приложение 3.7 содержит иллюстрации результатов обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений программой «Шар-пилот.xls».

3.7. Содержание отчета

1. Бланк КАЭ-1 с результатами обработки данных оптического аэрологического зондирования (форма бланка представлена в Приложении 3.1).

2. Таблицы с данными по формам, представленным в таблицах 3.1 и 3.2.

3. Файл с результатами обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений по программе, содержащейся в файле «Шар-пилот.xls».

4. Графики распределения скорости и направления ветра с высотой.

5. Письменные ответы на контрольные вопросы.

3.8. Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы обработки данных шар-пилотно-го зондирования атмосферы?
2. Перечислите основные недостатки и погрешности однопунктных шар-пилотных наблюдений.
3. При каких допущениях подъемную силу шар-пилота можно считать постоянной?
4. В чем состоит сущность графического метода обработки шар-пилотных наблюдений?
5. В чем состоит сущность аналитического метода обработки шар-пилотных наблюдений?
6. Как осуществляется выбор особых точек?

3.9. Приложения

Приложение 3.1

Таблица вертикальных скоростей шар-пилотов по данным грузоподъемности A и массы оболочки q для оболочки № 10

A	Масса оболочки, г										
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
10	95	92	90	88	86	83	82	80	79	77	76
12	101	99	97	94	92	90	88	86	85	83	81
14	106	104	102	99	97	95	93	92	90	88	87
16	111	108	106	104	101	99	98	96	94	93	91
18	114	112	110	108	105	103	102	100	99	97	96
20	118	116	114	111	109	107	106	104	102	101	99
22	121	119	117	115	112	110	109	107	106	104	103
24	124	122	120	118	116	114	112	111	109	108	106
26	126	124	123	121	119	117	115	114	112	111	109
28	129	127	125	123	122	119	118	116	115	113	112
30	131	130	128	126	124	122	120	119	118	116	114
32	134	132	130	128	126	124	123	121	120	118	117
34	136	134	132	130	128	126	125	124	122	121	119
36	138	136	134	132	131	129	127	126	124	123	122
38	139	138	136	134	132	130	129	128	127	125	124
40	141	139	138	136	134	132	131	130	129	127	126

Примечание. Таблицы 3.1а, 3.1б и 3.1в рассчитаны по формуле:

$$W = \frac{b\sqrt{A}}{\sqrt[3]{A+q}} \cdot \sqrt[6]{\frac{\rho_0}{\rho}}$$

Значения коэффициента b в зависимости от грузоподъемности A взяты следующие:

A	и ме-	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	и бо-
b	нее	82,0	82,5	83,6	84,9	87,0	89,6	92,4	94,3	95,5	96,0	96,2	лее

Грузоподъемность 1 м^3 водорода при давлении 1013 гПа и температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ взята равной 1084 г.

Приложение 3.2

Таблица вертикальных скоростей шар-пилотов по данным грузоподъемности A и массы оболочки q для оболочки № 20

A	Масса оболочки, г					
	30	32	34	36	38	40
102	162	162	161	160	159	159
104	163	162	162	161	160	159
106	164	163	162	162	161	160
108	165	164	163	162	161	161
110	165	165	164	163	162	162
112	166	165	164	164	163	162
114	167	166	165	164	164	163
116	167	166	166	165	164	164
118	168	167	166	166	165	164
120	168	168	167	166	166	165
122	169	168	168	167	166	166
124	170	169	168	168	167	166
126	170	170	169	168	168	167
128	171	170	170	169	168	168
130	172	171	170	170	169	168
132	172	172	171	171	170	169
134	173	172	172	171	171	170
136	174	173	172	172	171	171
138	174	174	173	173	172	171
140	175	174	174	173	173	172
142	176	175	175	174	173	173
144	177	176	176	175	174	174
146	178	177	176	176	175	174
148	178	178	177	176	176	175

Продолжение таблицы

А	Масса оболочки, г					
	30	32	34	36	38	40
150	179	178	178	177	177	176
152	180	179	179	178	178	177
154	181	180	180	179	178	178
156	182	181	182	180	179	179
158	183	182	183	181	180	180
160	184	183	184	182	181	181
162	185	184	185	183	182	182
164	186	185	186	184	183	183
166	187	186	187	185	184	184
168	188	188	188	186	186	185
170	189	189	190	188	187	186
172	191	190	191	189	188	188
174	192	192	192	190	190	189
176	194	193	194	192	191	191
178	195	194	194	193	193	192
180	196	196	195	194	194	193
182	198	197	197	196	196	195
184	200	199	198	198	197	196
186	201	201	200	200	199	198
188	203	202	202	201	201	200
190	205	204	204	203	202	202
192	206	206	205	204	204	203
194	208	207	207	206	205	205
196	210	209	208	208	207	207
198	211	211	210	210	209	208
200	213	212	212	211	211	210
202	215	214	214	213	213	212
204	217	216	216	215	214	214
206	218	218	217	217	216	216
208	220	219	219	218	218	217
210	221	220	220	220	219	218
212	222	222	221	220	220	219
214	223	223	222	221	221	220
216	224	223	223	222	222	221
218	225	224	224	223	222	222
220	225	224	224	223	223	222
222	226	225	224	224	223	223

A	Масса оболочки, г					
	30	32	34	36	38	40
224	226	226	225	225	224	224
226	227	226	225	225	225	224
228	228	227	226	226	226	225
230	228	227	226	226	226	225
232	229	228	227	227	227	226
234	229	229	228	228	227	227
236	230	229	228	228	228	227
238	230	230	229	229	228	228
240	231	230	230	230	229	228
242	231	231	230	230	229	228
244	232	231	230	230	229	229
246	232	232	230	230	230	229
248	233	232	230	230	230	229
250	233	232	231	231	230	230

Приложение 3.3

Таблица вертикальных скоростей шар-пилотов по данным грузоподъёмности A и массы оболочки q для оболочки № 30

A	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
102	149	148	146	145	143
104	150	148	147	146	144
106	150	149	148	146	145
108	151	150	149	148	146
110	152	151	150	148	147
112	153	152	150	149	148
114	154	152	151	150	149
116	154	153	152	151	150
118	155	154	153	152	150
120	156	155	153	152	151
122	156	155	154	153	152
124	157	156	155	154	152
126	158	157	156	154	153
128	159	158	156	155	154
130	160	158	157	156	154
132	160	159	158	156	155

А	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
134	161	160	158	158	156
136	162	160	159	158	157
138	163	161	160	159	157
140	163	162	161	159	158
142	164	163	162	160	159
144	165	164	162	161	160
146	166	164	163	162	161
148	167	165	164	163	162
150	167	166	165	164	163
152	168	167	166	165	164
154	169	168	167	166	165
156	170	169	168	167	166
158	171	170	169	168	167
160	172	171	170	169	168
162	173	172	171	170	169
164	174	173	172	171	170
166	176	174	173	172	171
168	177	176	175	174	172
170	178	177	176	175	174
172	180	178	177	176	175
174	181	180	179	177	176
176	182	181	180	179	178
178	184	182	181	180	179
180	185	184	183	182	181
182	187	186	184	183	182
184	189	187	186	187	184
186	190	189	188	187	186
188	192	191	190	188	187
190	194	192	191	190	189
192	195	194	193	192	191
194	197	195	195	194	192
196	199	198	196	195	194
198	200	199	198	197	196
200	202	201	200	198	197
202	204	202	201	200	199
204	205	204	203	201	200
206	206	205	204	203	201

Продолжение таблицы

А	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
208	207	206	205	204	203
210	209	208	206	205	204
212	210	209	207	206	205
214	211	210	208	207	206
216	212	211	210	208	207
218	213	212	210	209	208
220	214	213	211	210	209
224	216	214	213	212	210
228	217	216	215	213	212
232	218	217	216	215	213
236	220	218	217	216	215
240	221	220	218	217	216
244	222	221	219	218	217
248	223	221	220	219	218
252	223	222	221	220	218
256	224	223	222	221	219
260	225	224	223	221	220
264	225	224	223	222	221
268	226	225	224	223	222
272	227	226	225	224	222
276	228	227	225	224	223
280	228	227	226	225	224
284	229	228	227	226	225
288	230	229	228	227	226
292	230	230	229	228	226
296	231	230	229	228	227
300	232	231	230	229	228
304	233	232	231	230	229
308	233	232	231	230	230
312	234	233	232	231	230
316	235	234	233	232	231
320	236	235	234	233	232
324	236	235	234	233	233
328	237	236	235	234	233
332	238	237	236	235	234
336	239	238	237	236	235
340	239	238	237	236	235

A	Масса оболочки, г				
	70	75	80	85	90
344	240	239	238	237	236
348	241	240	239	238	237
352	241	240	239	238	237

Приложение 3.4

Поправочный множитель $\sqrt[6]{\rho_0/\rho}$ для коррекции вертикальной скорости шар-пилота, полученной по грузоподъёмности и массе оболочки (по приложению 1) для стандартных условий

Температура, °С	Давление, гПа										
	1067	1040	1013	987	960	933	907	880	853	827	800
	мм. рт. ст.										
	800	780	760	740	720	700	680	660	640	620	600
-50	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
-40	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
-30	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
-20	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02
-10	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02
0	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
10	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
20	0,99	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04
30	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05
40	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05
50	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06

Приложение 3.5

Пример записи результатов обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений:

$$H_i = Wt_i \quad W = 200 \text{ м/мин}; \quad H_1 = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ м}; \quad H_2 = 200 \cdot 1,0 = 200 \text{ м}$$

$$x_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \cos \alpha_i$$

$$X_1 = 100 \operatorname{ctg}(47,7) \cos(159,9) = 100 \cdot 0,91(-0,937) = -85,3$$

$$X_2 = 200 \operatorname{ctg}(47,2) \cos(155,5) = 200 \cdot 0,926(-0,91) = -168,5$$

$$y_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \sin \alpha_i$$

$$Y_1 = 100 \operatorname{ctg}(47,7) \sin(159,9) = 100 \cdot 0,91 \cdot 0,35 = 31,9$$

$$Y_2 = 200 \operatorname{ctg}(47,2) \sin(155,5) = 200 \cdot 0,926 \cdot 0,41 = 75,9$$

$$V_{1,0} = \frac{\left[(-85,3 - 0)^2 + (31,9 - 0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[60(0,5 - 0) \right]} = 3,0$$

$$V_{2,1} = \frac{\left[(-168,5 + 85,3)^2 + (75,9 - 31,9)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[60(1 - 0,5) \right]} = 3,1$$

Приложение 3.6

Текст программы обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений, содержащейся в файле «Шар-ПКЗ.xls»:

```
Sub ШарПКЗ ()
  \ "      РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ»
  \ "      УНИВЕРСИТЕТ" ' "
  \      Профессор Кузнецов Анатолий Дмитриевич
MsgBox "Программа обработки данных однопунктных шар-пилот-
ных наблюдений и радиопилота"
va = CDb1(InputBox("Для обработки данных однопунктных
шар-пилотных наблюдений введите 1; " _
& " для обработки данных радиопилота введите 2:"))
If va = 1 Then n = CDb1(InputBox("Введите число данных
в таблице КАЭ-1"))
If va = 2 Then n = CDb1(InputBox("Введите число отсчетов
координат радиопилота в индивидуальном задании"))
If va = 1 Then w = CDb1(InputBox("Введите вертикальную
скорость подъема шар-пилота [м/мин]"))
zpn = CDb1(InputBox("Введите высоту пункта наблюдения над
уровнем моря [м]"))
Dim alf() As Double, bet() As Double, v() As Double, d()
As Double
Dim x() As Double, y() As Double, a() As Double, t() As
Double, h() As Double, nd() As Double
Dim hsz() As Double, hsm() As Double, zka() As Double
ReDim alf(n) As Double, bet(n) As Double, v(n) As Double,
d(n) As Double
ReDim x(n) As Double, y(n) As Double, a(n) As Double, t(n)
As Double, h(n) As Double, nd(n) As Double
```

```

ReDim hsz(n) As Double, hsm(n) As Double, zka(48) As Double
vd = Cdbl(InputBox("Для ввода информации с клавиатуры введите 1, для чтения данных с Листа 2 - введите 2"))
If va = 1 Then
If vd <> 1 Then
MsgBox "Порядок записи данных для их чтения с Листа 2: " _
& "      1. В колонке А - время [мин] отсчета как в таблице КАЭ-1 (не обязательно!)." _
& "      2. В колонке В - вертикальные углы [град]. " _
& "      3. В колонке С - горизонтальные углы [град]. "
End If
End If
If va = 2 Then
If vd <> 1 Then
MsgBox "Порядок записи данных для их чтения с Листа 2: " _
& "      1. В колонке А - время [мин] отсчета из индивидуального задания (не обязательно!).» _
& "      2. В колонке В - вертикальные углы, У.М.[ДУ]. " _
& "      3. В колонке С - горизонтальные углы, АЗМ[ДУ]. " _
& "      4. В колонке D - наклонная дальность, Дальн [м]. "
End If
End If
`Время
Лист1.Cells(1, 2) = 0.5
For i = 1 To n
If i > 1 And i < 7 Then Лист1.Cells(i, 2) = Лист1.Cells(i - 1, 2) + 0.5
If i >= 7 And i < 14 Then Лист1.Cells(i, 2) = Лист1.Cells(i - 1, 2) + 1
If i >= 14 Then Лист1.Cells(i, 2) = Лист1.Cells(i - 1, 2) + 2
If i > 28 Then Лист1.Cells(i, 2) = Лист1.Cells(i - 1, 2) + 4
Next i
If va = 1 Then
If vd = 1 Then Call Ввод1(n, t, alf, bet) Else Call Ввод2(n, alf, bet)
End If
If va = 2 Then `Радиопилот
If vd = 1 Then `Радиопилот-ввод с клавиатуры
For i = 1 To n
alf(i) = Cdbl(InputBox("Введите У.М.[ДУ] (вертикальный угол) для времени " & t(i) & " [мин]"))

```

```

bet(i) = CDb1(InputBox("Введите АЗМ [ДУ] (горизонтальный
угол) для времени " & t(i) & " [мин]"))
nd(i) = CDb1(InputBox("Введите Дальн [м] (наклонную даль-
ность) для времени " & t(i) & " [мин]"))
alf(i) = alf(i) / 180 * 3.1415192654 * 6
bet(i) = bet(i) / 180 * 3.1415192654 * 6
h(i) = nd(i) * Sin(alf(i))
If nd(i) > 20000 Then h(i) = h(i) + 0.5887 * 10 ^ (-7) *
nd(i) ^ 2
Next i
End If
If vd = 2 Then `Радиопилот-ввод с Листа2
For i = 1 To n
alf(i) = Лист2.Cells(i, 2) * 6 * 3.1415192654 / 180
bet(i) = Лист2.Cells(i, 3) * 6 * 3.1415192654 / 180
nd(i) = Лист2.Cells(i, 4)
h(i) = nd(i) * Sin(alf(i))
If nd(i) > 20000 Then h(i) = h(i) + 0.5887 * 10 ^ (-7) *
nd(i) ^ 2
Next i
End If
End If
If va = 1 Then
Лист1.Cells(n + 6, 1) = "Вертикал. "
Лист1.Cells(n + 6, 2) = "скорость"
Лист1.Cells(n + 6, 3) = "шара:"
Лист1.Cells(n + 6, 4) = w
Лист1.Cells(n + 6, 5) = " [м/мин]"
End If
Лист1.Cells(n + 7, 1) = "Высота "
Лист1.Cells(n + 7, 2) = "пункта"
Лист1.Cells(n + 7, 3) = "над морем: "
Лист1.Cells(n + 7, 4) = zpn
Лист1.Cells(n + 7, 5) = " [м]"
Лист1.Cells(n + 2, 1) = "№№"
Лист1.Cells(n + 3, 1) = "отсчетов"
Лист1.Cells(n + 2, 2) = "Время"
Лист1.Cells(n + 3, 2) = " [мин]"
If va = 1 Then
Лист1.Cells(n + 2, 3) = "Вертик."
Лист1.Cells(n + 3, 3) = " [град]"
Лист1.Cells(n + 2, 4) = "Горизонт."

```

```

Лист1.Cells(n + 3, 4) = "[град]"
End If
If va = 2 Then
Лист1.Cells(n + 2, 3) = "Вертик."
Лист1.Cells(n + 3, 3) = "[ДУ]"
Лист1.Cells(n + 2, 4) = "Горизонт."
Лист1.Cells(n + 3, 4) = "[ДУ]"
End If
Лист1.Cells(n + 2, 5) = "Высота над": Лист1.Cells(n + 3, 5)
= "поверх."
Лист1.Cells(n + 4, 5) = "земли"
Лист1.Cells(n + 5, 5) = " [м]"
Лист1.Cells(n + 2, 6) = "Высота": Лист1.Cells(n + 2, 7) =
"середины": Лист1.Cells(n + 3, 7) = "слоя"
Лист1.Cells(n + 4, 6) = "над землей": Лист1.Cells(n + 4, 7)
= "над морем"
Лист1.Cells(n + 5, 6) = " [м]": Лист1.Cells(n + 5, 7) = " [м]"
Лист1.Cells(n + 2, 9) = "Скорость"
Лист1.Cells(n + 3, 9) = "[м/с]"
Лист1.Cells(n + 2, 8) = "Направление"
Лист1.Cells(n + 3, 8) = "[град]"
Лист1.Cells(n + 2, 16) = "Координаты"
Лист1.Cells(n + 2, 17) = "проекции"
Лист1.Cells(n + 2, 18) = "Удаление"
If va = 1 Then
Лист1.Cells(n + 3, 16) = "шар-"
Лист1.Cells(n + 3, 17) = "пилота"
End If
If va = 2 Then
Лист1.Cells(n + 3, 16) = "радио-"
Лист1.Cells(n + 3, 17) = "пилота"
End If
Лист1.Cells(n + 4, 16) = "на гор."
Лист1.Cells(n + 4, 17) = "плоскость"
Лист1.Cells(n + 5, 16) = "x [м]"
Лист1.Cells(n + 5, 17) = "y [м]"
Лист1.Cells(n + 3, 18) = " Sqr(y^2 + x^2) [м]"
    For i = 1 To n
        Лист1.Cells(i, 1) = i
        `Время
        t(i) = Лист1.Cells(i, 2)
        `Высота

```

```

If va = 1 Then h(i) = w * t(i)

`Угловые координаты и высота
Лист1.Cells(i, 3) = alf(i) * 180 / 3.1415192654
Лист1.Cells(i, 4) = bet(i) * 180 / 3.1415192654
Лист1.Cells(i, 5) = Int(h(i) * 10) / 10
`Координаты на плоскости
x(i) = h(i) * Cos(alf(i)) / Sin(alf(i)) * Cos(bet(i))
y(i) = h(i) * Cos(alf(i)) / Sin(alf(i)) * Sin(bet(i))
Лист1.Cells(i, 16) = Int(x(i))
Лист1.Cells(i, 17) = Int(y(i))
Лист1.Cells(i, 18) = Int(Sqr(y(i) ^ 2 + x(i) ^ 2))
`Скорость
If i = 1 Then dx = x(1): dy = y(1): dt = t(1)
If i > 1 Then dx = x(i) - x(i - 1): dy = y(i) - y(i -
1): dt = t(i) - t(i - 1)
v(i) = Sqr(dx ^ 2 + dy ^ 2) / dt / 60
`Направление
If dx = 0 And dy > 0 Then d(i) = 180: GoTo met
If dx = 0 And dy <= 0 Then d(i) = 0: GoTo met
If dx <> 0 Then a(i) = Atn(Abs(dy / dx))
a(i) = a(i) / 3.1415192654 * 180
If dx > 0 And dy > 0 Then d(i) = a(i) + 180
If dx < 0 And dy < 0 Then d(i) = a(i)
If dx < 0 And dy > 0 Then d(i) = 360 - a(i)
If dx > 0 And dy < 0 Then d(i) = 180 - a(i)
If dx = 0 And dy = 0 Then d(i) = 0
met:
Лист1.Cells(i, 8) = Int(d(i) * 10) / 10
Лист1.Cells(i, 9) = Int(v(i) * 10) / 10
Next i
hsz(1) = h(1) / 2
Лист1.Cells(1, 6) = Int(hsz(1) * 10) / 10
hsm(1) = hsz(1) + zpn
Лист1.Cells(1, 7) = Int(hsm(1) * 10) / 10
For i = 2 To n
`СЕРЕДИНА СЛОЯ НАД ЗЕМЛЕЙ
hsz(i) = (h(i) - h(i - 1)) / 2 + h(i - 1)
Лист1.Cells(i, 6) = Int(hsz(i) * 10) / 10
`СЕРЕДИНА СЛОЯ НАД МОРЕМ
hsm(i) = hsz(i) + zpn

```

```

Лист1.Cells(i, 7) = Int(hsm(i) * 10) / 10
Next i
`Высоты над поверхностью земли для таблицы КАЭ-1
Лист1.Cells(1, 10) = 0.1
For i = 2 To 3
Лист1.Cells(i, 10) = Лист1.Cells(i - 1, 10) + 0.1
Next i
Лист1.Cells(4, 10) = 0.5: Лист1.Cells(5, 10) = 0.6:
Лист1.Cells(6, 10) = 0.9
`Для ТАЭ-3а z[км]
zka(1) = 0.5
For i = 2 To 4
zka(i) = zka(i - 1) + 0.5
Next i
For i = 5 To 48
zka(i) = zka(i - 1) + 1
Next i
Лист1.Cells(8, 10) = "Высота": Лист1.Cells(9, 10) = "над":
Лист1.Cells(10, 10) = "землей"
Лист1.Cells(11, 10) = "[м]"
Лист1.Cells(8, 12) = "Скорость"
Лист1.Cells(9, 12) = "[м/с]"
Лист1.Cells(8, 11) = "Направление"
Лист1.Cells(9, 11) = "[град]"
`Определение числа уровней в колонке 13
n1 = 0
For i = 1 To 48
If Лист1.Cells(n, 7) >= zka(i) * 1000 Then n1 = n1 + 1
Next i
For i = 1 To n1
Лист1.Cells(i, 13) = zka(i)
Next i
Лист1.Cells(n1 + 2, 13) = "Высота": Лист1.Cells(n1 + 3, 13)
= "над": Лист1.Cells(n1 + 4, 13) = "морем"
Лист1.Cells(n1 + 5, 13) = "[км]"
Лист1.Cells(n1 + 2, 15) = "Скорость"
Лист1.Cells(n1 + 3, 15) = "[м/с]"
Лист1.Cells(n1 + 2, 14) = "Направление"
Лист1.Cells(n1 + 3, 14) = "[град]"
Call Сплайн1(n, 6, 8, 6, 10, 11)
Call Сплайн1(n, 6, 9, 6, 10, 12)
Call Сплайн1(n, 7, 8, n1, 13, 14)

```

```

Call Сплайн1(n, 7, 9, n1, 13, 15)
End Sub
Sub Ввод2(n, alf, bet) `Шар-пилот-ввод данных с Листа2
For i = 1 To n
alf(i) = Лист2.Cells(i, 2) / 180 * 3.1415192654
bet(i) = Лист2.Cells(i, 3) / 180 * 3.1415192654
Next i
End Sub
Sub Ввод1(n, t, alf, bet) `Шар-пилот-ввод данных с клави-
атуры
For i = 1 To n
alf(i) = CDBl(InputBox("Введите горизонтальный угол [град]
для времени " & t(i) & " [мин]"))
bet(i) = CDBl(InputBox("Введите вертикальный угол [град]
для времени " & t(i) & " [мин]"))
alf(i) = alf(i) / 180 * 3.1415192654
bet(i) = bet(i) / 180 * 3.1415192654
Next i
End Sub
Sub Сплайн1(n, zv1, zv2, ns, zs1, zs2)
`zv1 = CDBl(InputBox("Введите номер колонки, содержащей
аргументы X (для исходного ряда на Листе 1)"))
`zv2 = CDBl(InputBox("Введите номер колонки, содержащей
значения функции F(X) (для исходного ряда на Листе 1)"))
`n = CDBl(InputBox("Введите общую длину исходного времен-
ного ряда: N "))
`zs = CDBl(InputBox("Введите номер колонки, содержащей ряд
значений аргумента на Листе 1, для которых будут рассчитаны
значения сплайна"))
`ns = CDBl(InputBox("Введите общую длину колонки с аргу-
ментами"))
Dim x1() As Double, y1() As Double, x() As Double, y()
As Double, L() As Double, r() As Double, ss() As Double,
M() As Double
ReDim x1(ns) As Double, y1(ns) As Double, x(n) As
Double, y(n) As Double, L(n) As Double, r(n) As Double,
ss(n) As Double, M(n) As Double
For i = 1 To n
x(i) = Лист1.Cells(i, zv1): y(i) = Лист1.Cells(i, zv2)
Next i
d = x(2) - x(1): e = (y(2) - y(1)) / d
For k = 2 To n - 1: h = d: d = x(k + 1) - x(k)
f = e: e = (y(k + 1) - y(k)) / d: L(k) = d / (d + h)

```

```

r(k) = 1 - L(k): ss(k) = 6 * (e - f) / (h + d)
Next k
For k = 2 To n - 1: p = 1 / (r(k) * L(k - 1) + 2): L(k) =
-L(k) * p
ss(k) = (ss(k) - r(k) * ss(k - 1)) * p
Next k
M(n) = 0: L(n - 1) = ss(n - 1): M(n - 1) = L(n - 1)
For k = n - 2 To 1 Step -1
L(k) = L(k) * L(k + 1) + ss(k): M(k) = L(k)
Next k
"Расчет коэффициентов закончен"
iy = 1
mety:
x1(iy) = Лист1.Cells(iy, zs1) * 1000
m7170:
xx = x1(iy): i = 0
If xx > x(n) Then GoTo m230
If xx <= x(1) Then GoTo m250
m180:
i = i + 1: If xx > x(i) Then GoTo m180
j = i - 1: d = x(i) - x(j): h = xx - x(j): rr = x(i) - xx
p = d * d / 6: yy = (M(j) * rr ^ 3 + M(i) * h ^ 3) / 6 / d
yy = yy + ((y(j) - M(j) * p) * rr + (y(i) - M(i) * p) * h) / d
m220:
y1(iy) = yy: iy = iy + 1: If iy <= ns Then GoTo mety Else
GoTo m777
m230:
d = x(n) - x(n - 1): yy = d * M(n - 1) / 6 + (y(n) - y(n -
1)) / d
yy = yy * (xx - x(n)) + y(n): GoTo m220
m250:
d = x(2) - x(1): yy = -d * M(2) / 6 + (y(2) - y(1)) / d
yy = yy * (xx - x(1)) + y(1): GoTo m220
m777:
For i = 1 To ns
Лист1.Cells(i, zs2) = Int(y1(i))
Next i
End Sub

```

Приложение 3.7

Иллюстрации результатов обработки данных
однопунктных шар-пилотных наблюдений:

	A	B	C	D
1	0.5	33.0	0.2	
2	1.0	30.0	0.5	
3	1.5	31.2	5.2	
4	2.0	32.8	7.5	
5	2.5	33.0	8.8	
6	3	32.3	9.0	
7	4	30.1	8.9	
8	5	29.5	9.5	
9	6	30.0	10.3	
10	7	30.2	14.6	
11	8	30.2	19.1	
12	9	29.0	21.2	
13	10	28.0	24.2	
14	12	27.5	31.0	
15	14	26.5	36.3	
16	16	23.7	41.3	

Рис. ПЗ.1. Представление данных наблюдений на Листе 2:
колонка А – время (мин), колонка В – вертикальный угол (град),
колонка С – горизонтальный угол (град.)

1	1	0.5	33	0.2	90	45	45	180	5
2	2	1	30	0.5	180	135	135	181	6
3	3	1.5	31.2	5.2	270	225	225	196	5
4	4	2	32.8	7.5	360	315	315	196	4
5	5	2.5	33	8.8	450	405	405	194	5
6	6	3	32.3	9	540	495	495	190	5
7	7	4	30.1	8.9	720	630	630	189	6
8	8	5	29.5	9.5	900	810	810	192	6
9	9	6	30	10.3	1080	990	990	195	5
10	10	7	30.2	14.6	1260	1170	1170	220	6
11	11	8	30.2	19.1	1440	1350	1350	227	6
12	12	9	29	21.2	1620	1530	1530	213	8
13	13	10	28	24.2	1800	1710	1710	222	8
14	14	12	27.5	31	2160	1980	1980	238	7
15	15	14	26.5	36.3	2520	2340	2340	239	8
16	16	16	23.7	41.3	2880	2700	2700	237	13
17									
18	№№	Время	Вертик.	Горизонт.	Высота над	Высота	середины	Направление	Скорость
19	отсчетов	[мин]	[град]	[град]	поверх.	над землей	слоя	[град]	[м/с]
20							над морем		
21					[м]	[м]	[м]		
22	Вертикал.	скорость	шара:	180	[м/мин]				
23	Высота	пункта	над морем:	0	[м]				

Рис. ПЗ.2. Результаты обработки данных шар-пилотных наблюдений
на Листе 1

Лабораторная работа № 4.

Аэрологическая телеграмма по коду КН-03

Цель работы: изучить методику кодирования данных шар-пилотных наблюдений при составлении телеграммы по коду КН-03; приобрести практические навыки по составлению телеграммы с данными оптических аэрологических измерений вертикального распределения скорости и направления ветра в атмосфере.

Материалы для работы:

- 1) описание лабораторной работы «Аэрологическая телеграмма по коду КН-03»;
- 2) бланк КАЭ-1 с обработанными в процессе выполнения лабораторной работы № 3 данными о высотном распределении скорости и направления ветра в атмосфере;
- 3) сообщение, закодированное кодом КН-03 – для расшифровки (выдается преподавателем).

4.1. Описание кода для передачи данных ветрового зондирования атмосферы КН-03 (FM 32-IX PILOT)

Код для передачи данных ветрового зондирования со стационарной наземной станции подразделяется на четыре части А, В, С, D и шесть разделов (таблица 4.1). В частях А и С передаются

Таблица 4.1

Пример задания исходных данных

Вариант	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Параметры оболочки	Польёвная сила, г	Длина окружности, см																		
	119	204	183	224	104	193	158	210	105	230	203	231	195	220	135	222	196	196	152	229
Угол	горизонтальный	вертикальный																		
	30	48,5	46,4	74,5	58,5	28	40	66	58,5	257,5	38	311	32,5	46	25	358	56	89	40	88,5
Время отсчёта, сек	горизонтальный	вертикальный																		
	30	48,5	46,4	74,5	58,5	28	40	66	58,5	257,5	38	311	32,5	46	25	358	56	89	40	88,5
60	58,5	33,5	78,6	61	20	30	76	44	264,5	30	311	28	50	21	4	39,5	100	39	92	26
90	64,5	33,5	87	49,5	15	26	79	41,5	273,5	25,5	319	24,5	51	20,5	17,5	28,5	107	33	96	25
120	70,2	39,5	87	42	16	25	79	40	277,5	24,5	327	21	58,5	20	23	23,5	111	28	105	22
150	74,5	28	88	37	18	25	78	40	277	23,5	331	19	65	19	24	21	112	26	112	20
180	75,5	26,5	90,5	34,5	19	24	79	39,5	280	23	332	18	69	19	24	20	112,5	24,5	113	18,5
240	80,5	25,2	94,5	33	20	23	80	37	287,5	23	335	17	72	20	23	19	109,5	23	117	17
300	82,5	25,1	102,5	32	20,5	22	81	35	292	25	338,5	16	74	19	22,5	18	106	22	118,5	16
360	88	28,3	109	30	20,5	20	82	33,5	294	26	342	16	76	19	21	18	102,5	21,5	119	15,5

данные на стандартных изобарических поверхностях, в частях В и D – данные на уровнях особых точек в профиле ветра, а также на высотах, установленных решениями Региональных Ассоциаций ВМО. При этом части А и В должны содержать данные до уровня 100 гПа включительно, части С и D – выше этого уровня.

В части А и С входят разделы 1–3 и 5–6, в части В и D – разделы 1 и 4–6.

Кодовая форма аэрологической телеграммы

Часть А

Раздел 1.	PPAA YGGa ₄ Piii	
Раздел 2.	44nP ₁ P ₁ или 55nP ₁ P ₁	} dffff dffff dffff и т.д.
Раздел 3.	77nP _m P _m P _m или 66nP _m P _m P _m	
или	7H _m H _m H _m H _m или 6H _m H _m H _m H _m	} d _m d _m f _m f _m f _m (4v _b v _b v _a v _a)
или	77999	
Раздел 5.	51515 52525 59595	
Раздел 6.	61616 62626 69696	

Часть В

Раздел 1.	PPAA YGGa ₄ Piii	
Раздел 4.	9 или 8	} t _n u ₁ u ₂ u ₃ dffff dffff dffff и т.д.
или	21212	
	00P ₀ P ₀ P ₀ n ₁ n ₁ P ₁ P ₁ P ₁ n _n n _n P _n P _n P _n	d ₀ d ₀ f ₀ f ₀ f ₀ d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁ d _n d _n f _n f _n f _n
Раздел 5.	Как в части А.	
Раздел 6.	Как в части А.	

Часть С

- Раздел 1. *PPAA YYGGa₄ IIIii*
- Раздел 2. *Как в части А.*
- Раздел 3. *Как в части А.*
- Раздел 5. *Как в части А.*
- Раздел 6. *Как в части А.*

Часть D

- Раздел 1. *PPAA YYGGa₄ IIIii*
- Раздел 4.
$$\left. \begin{array}{l} 9 \text{ (или 1)} \\ \text{или} \\ 8 \end{array} \right\} t_n u_1 u_2 u_3 \quad d d f f f \quad d d f f f \quad d d f f f \quad \text{и т.д.}$$
- или
- | | | |
|-------|-----------------------|-----------------------|
| 21212 | $n_1 n_1 P_1 P_1 P_1$ | $d_1 d_1 f_1 f_1 f_1$ |
| | | |
| | $n_n n_n P_n P_n P_n$ | $d_n d_n f_n f_n f_n$ |

Раздел 5. *Как в части А.*

Раздел 6. *Как в части А.*

4.2. Содержание кодовых групп и правила их использования

4.2.1. Части А и С

Раздел 1. Сведения о месте и времени наблюдений.

$$\left. \begin{array}{l} P P A A \\ \text{или} \\ P P C C \end{array} \right\} Y Y G G a_4 \quad I I I i i$$

Группа **PPAA** или **PPCC** – буквенный указатель кодовой формы и её части.

PP – признак телеграммы данных ветрового зондирования со стационарной наземной станции. **AA** или **CC** – опознавательные буквы частей **A** и **C** соответственно.

Группа **YYGGa₄** – дата (**YY**) и время выпуска (**GG**) по международному согласованному времени округлённому до целых часов. Кроме того, **YY** содержит также информацию о единицах,

в которых далее в сводке сообщается скорость ветра. Если скорость ветра передаётся в м/с, то дата YY указывается без изменения. Если скорость передаётся в узлах, то к дате прибавляется 50 и полученное значение указывается на месте YY. Таким образом, если выпуск был произведён в 2 ч 30 мин 1 февраля по московскому времени (по международному согласованному времени это будет 23 ч 30 мин 31 января), то на месте YYGG указывается 0100, если ветер измерялся в м/с, и 5100 – если ветер измерялся в узлах.

a_4 – тип используемого измерительного оборудования, для оптического теодолита равно 1, а для радиолокатора – 3.

Группа **IIiii** – индекс стационарной наземной аэрологической станции. **II** – номер района, **iii** – номер станции в пределах района. Например, аэрологическая станция «Воейково» находится в 26 районе и имеет номер станции 75, поэтому эта группа будет иметь вид 26075.

Раздел 2. Данные наблюдений на стандартных изобарических поверхностях.

$$\left. \begin{array}{l} 44nP_1P_1 \\ \text{или} \\ 55nP_1P_1 \end{array} \right\} ddfff \ ddfff \ ddfff \ \text{и т.д.}$$

В разделе 2 сообщаются направление и скорость ветра на уровнях стандартных изобарических поверхностей в порядке возрастания высоты:

– в части А – на уровнях 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 и 100 гПа;

– в части С – на уровнях 70, 50, 30, 20 и 10 гПа.

Если давление не измеряется, то данные о ветре должны сообщаться с высот, приблизительно соответствующих уровням стандартных изобарических поверхностей в соответствии с таблицей 4.2.

Таблица 4.2.

Приближённые высоты стандартных изобарических поверхностей

Стандартная изобарическая поверхность, гПа	Часть А		Часть С		
	Кодовые цифры P_1P_1	Приблизительная высота над уровнем моря, м	Стандартная изобарическая поверхность, гПа	Кодовые цифры P_1P_1	Приблизительная высота над уровнем моря, м
850	85	1500	70	70	18500
700	70	3000	50	50	20500

Часть А			Часть С		
Стандартная изобарическая поверхность, гПа	Кодовые цифры $P_1 P_1$	Приблизительная высота над уровнем моря, м	Стандартная изобарическая поверхность, гПа	Кодовые цифры $P_1 P_1$	Приблизительная высота над уровнем моря, м
500	50	5500	30	30	23500
400	40	7000	20	20	26500
300	30	9000	10	10	31000
250	25	10500			
200	20	12000			
150	15	13500			
100	10	16000			

Группа **44nP₁P₁** или **55nP₁P₁**.

44 или **55** – отличительные цифры раздела.

Если стандартные изобарические поверхности определены путём измерения или расчёта давления, должны использоваться отличительные цифры 44. Если давление не определялось, должны использоваться отличительные цифры 55.

n – количество уровней, для которых сообщаются данные о ветре, то есть количество групп **ddfff**, следующих после **44nP₁P₁** или **55nP₁P₁** может принимать значения от 1 до 3.

P₁P₁ – давление на стандартной изобарической поверхности, начиная с которой далее в группах **ddfff** передаются данные о ветре. Давление кодируется до 100 гПа включительно в сотнях и десятках гПа, начиная с 70 гПа – в десятках и единицах гПа.

За группой **44nP₁P₁** или **55nP₁P₁** должно следовать не более трёх групп **ddfff**, затем аналогичные комбинации повторяются в сводке столько раз, сколько необходимо для передачи информации на всех пройденных шаром стандартных изобарических поверхностях.

Группа **ddfff** – направление и скорость ветра на стандартных изобарических поверхностях. Направление и скорость ветра измеряют с точностью до целых значений.

dd – направление ветра (откуда дует), округлённое до ближайших 5 или 10°.

Правила округления:

– если единицы градусов направления равны 0, 1 или 2, то округление производится до 0;

– если единицы градусов направления равны 3, 4, 5, 6 или 7, то округление производится до 5;

– если единицы градусов направления равны 8 или 9, то округление производится до 10.

Округлённое значение направления ветра сообщается в группе ddfiff следующим образом: на месте dd указываются цифры сотен и десятков, а цифра единиц прибавляется к цифре сотен скорости ветра fff. Если сотни или десятки градусов направления ветра отсутствуют, то на их месте ставятся нули.

При северном направлении ветра (0°) значения dd кодируется цифрами 36. При штиле на месте dd ставится 00, при ветре переменного направления – 99, если данные о направлении ветра отсутствуют – //.

fff – скорость ветра в м/с или узлах (единицы измерения скорости указываются при кодировании YY). При скорости ветра менее 100 единиц на месте первого f ставится 0, при скоростях ветра менее 10 единиц цифры 0 ставят на месте первого и второго f. К цифре сотен (первое f) может прибавляться число 5, как указано при описании кодирования dd, для передачи информации о значениях единиц градусов у направления ветра. При штиле скорость ветра кодируется 000, при отсутствии данных о скорости ветра на месте fff ставится ///.

Правила кодирования скорости и направления ветра распространяются на все аналогичные группы кода.

В разделе 2 частей А и С должны быть представлены в порядке возрастания высоты все указанные в таблице уровни стандартных изобарических поверхностей в пределах достигнутой высоты зондирования ветра. Если на каких-то промежуточных уровнях имелся пропуск данных, группа ddfiff для этих уровней включится в сводку в виде /////. Если, начиная с какого-либо уровня, не получены данные о ветре и для всех вышележащих уровней, группы ветра для них в сводку не включаются.

Раздел 3. Сведения о максимальном ветре и вертикальных сдвигах ветра (в части А – до уровня 100 гПа включительно, в части С – выше этого уровня).

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 77n P_m P_m P_m \\
 \text{или} \\
 66n P_m P_m P_m
 \end{array} \right\} d_m d_m f_m f_m f_m (4v_b v_b v_a v_a) \\
 \text{или} \\
 \left. \begin{array}{l}
 7H_m H_m H_m H_m \\
 \text{или} \\
 6H_m H_m H_m H_m
 \end{array} \right\} d_m d_m f_m f_m f_m (4v_b v_b v_a v_a) \\
 \text{или} \\
 77999
 \end{array}$$

Уровень максимального ветра определяется как уровень, расположенный выше изобарической поверхности 500 гПа, на котором скорость ветра, превышающая 30 м/с, больше на 10 м/с скоростей, наблюдаемых на уровнях, лежащих на 2 км выше или ниже.

Если в результате зондирования было установлено несколько уровней максимального ветра, данные о них должны быть переданы в сводке путём повторения раздела 3 не более 3 раз в каждой из частей А и С, в соответствии со следующими правилами:

– первым должен быть передан уровень с наибольшей максимальной скоростью;

– остальные уровни максимального ветра должны быть переданы в порядке уменьшения скорости ветра, а при одинаковой скорости – последовательно по высоте расположения, начиная с самого нижнего уровня.

Группа $77P_m P_m P_m$, $66P_m P_m P_m$, $7H_m H_m H_m H_m$ или $6H_m H_m H_m H_m$.

77 или 66
или
7 или 6 } – отличительные цифры раздела.

Отличительные цифры 77 или 66 указывают, что далее сообщается давление на уровне максимальной скорости ветра. Отличительные цифры 7 или 6 указывают, что далее сообщается высота уровня максимальной скорости ветра. При этом цифры 66 или 6 должны использоваться для сообщения о максимальном ветре, зафиксированном в верхней точке зондирования, в остальных случаях должны использоваться цифры 77 или 7.

$P_m P_m P_m$ – давление на уровне максимальной скорости ветра. В части А сообщается в целых гПа, в части С – с десятичными долями гПа (если давление меньше 10,0 гПа, то на месте первого P_m ставится 0).

$H_m H_m H_m H_m$ – высота уровня максимальной скорости ветра в десятках геопотенциальных метров. Если уровень ниже 10000 м, на месте первого H_m ставится 0.

Группа $d_m d_m f_m f_m$ – направление ($d_m d_m$) и скорость ($f_m f_m f_m$) максимального ветра, кодируется по тем же правилам, что и $ddfff$.

Группа $(4v_b v_b v_a v_a)$ – сведения о вертикальных сдвигах ветра в слоях, расположенных между уровнем максимума ветра и уровнями на 1 км ниже и выше него.

4 – отличительная цифра.

$v_b v_b$ – абсолютное значение векторной разности ветра на уровне на 1 км ниже уровня максимума.

$v_a v_a$ – абсолютное значение векторной разности ветра на уровне на 1 км выше уровня максимума.

Единицы измерения (м/с или узлы), используемые для $v_b v_b$ и $v_a v_a$, указываются при кодировании УУ. При абсолютной векторной разности скорости ветра, меньше 10 единиц, на месте десятков (первые v_b или v_a) записывается 0.

В части А группа $4v_b v_b v_a v_a$ должна включаться не более двух раз. Первый раз – с данными вертикальных сдвигов ветра от уровня с наибольшей максимальной скоростью ветра, и второй раз – от уровня максимума со второй по величине скоростью ветра. Если на двух соседних уровнях наблюдались одинаковые значения скорости ветра, удовлетворяющие условию максимума, то в первой группе передаются данные о сдвигах ветра относящихся к нижнему уровню, а во второй группе – к верхнему.

В часть С группа $4v_b v_b v_a v_a$ должна включаться один раз – с данными вертикальных сдвигов ветра от уровня с наибольшей максимальной скоростью ветра.

Вертикальный сдвиг ветра от верхней точки подъема не определяется даже в том случае, если в этой точке подъема наблюдается наибольшая скорость максимального ветра. В данном случае вертикальные сдвиги ветра определяются от уровней со вторым и третьим по величине значениями скорости максимального ветра. Для каждого выбранного максимума вычисляются два значения вертикального сдвига скорости ветра $v_b v_b$ и $v_a v_a$.

Если направление ветра на уровне максимума и уровнях, отстоящих на 1 км ниже и выше, отличаются менее чем на 20° , сдвиг скорости ветра в этом слое равен абсолютному значению разности скоростей на границах слоя. При разности направлений более 20° вертикальный сдвиг скорости ветра определяют с учётом изменения направления:

$$\Delta v_1 = \sqrt{v_{\max}^2 + v_1^2 - 2v_{\max} v_1 \cos(d_{\max} - d_1)}, \quad (4.1)$$

где v_{\max} и d_{\max} – соответственно скорость и направление ветра на высоте максимума скорости ветра, v_1 и d_1 – соответственно скорость и направление ветра на уровне, который на 1 км ниже (или выше) высоты максимума скорости.

Группа **77999** включается в сводку вместо раздела 3, если в ходе зондирования уровни максимального ветра не были зафиксированы.

Раздел 5. Региональные данные. Кодовые группы, которые должны быть разработаны на региональном уровне.

Для него определены лишь отличительные группы: **51515**, **52525**, ..., **59595**. После каждой из этих групп могут быть включены любые данные о ветре решением Региональных Ассоциаций ВМО. В частях А и С указатель **55555** не следует использовать в этом разделе.

Со станций Росгидромета этот раздел не передаётся.

Раздел 6. Национальные данные. Кодовые группы, которые должны быть разработаны на национальном уровне.

Для него определены лишь отличительные группы: **61616**, **62626**, ..., **69696**. После каждой из этих групп могут быть включены любые данные о ветре по решению каждой страны. В частях А и С указатель **66666** не следует использовать в этом разделе.

Со станций Росгидромета этот раздел не передаётся.

4.2.2. Части В и D

Раздел 1. Сведения о месте времени наблюдений.

$$\left. \begin{array}{l} PPBB \\ \text{или} \\ PPDD \end{array} \right\} Y Y G G a_4 \text{ } I I I I$$

Группа **PPBB** или **PPDD** – буквенный указатель кодовой формы и её части.

PP – признак телеграммы данных ветрового зондирования со стационарной наземной станции. **BB** или **DD** – опознавательные буквы частей В и D соответственно.

Правила кодирования остальных групп этого раздела те же, что и для раздела 1 частей А и С.

Раздел 4. Данные на уровнях особых точек в профиле ветра и на уровнях, установленных региональными решениями.

$$\left. \begin{array}{l} 9 \text{ (или } 1) \\ \text{или} \\ 8 \end{array} \right\} t_n u_1 u_2 u_3 \text{ } d d f f f \text{ } d d f f f \text{ } d d f f f \text{ } \text{ и т.д.}$$

 или

$$\begin{array}{ll} 21212 & 00P_0 P_0 P_0 & d_0 d_0 f_0 f_0 f_0 \\ & n_1 n_1 P_1 P_1 P_1 & d_1 d_1 f_1 f_1 f_1 \\ & \dots & \dots \\ & n_n n_n P_n P_n P_n & d_n d_n f_n f_n f_n \end{array}$$

Включённые в раздел 4 данные уровней особых точек должны обеспечить восстановление профиля ветра по направлению

с точностью 10° , по скорости с точностью до 5 м/с. Число особых точек следует строго сводить к необходимому минимуму.

Для удовлетворения этих критериев рекомендуется использовать следующий метод приближений.

1) Начальная (у земной поверхности) и конечная (самая высокая, достигнутая при зондировании) точки являются первой и последней особыми точками. Затем рассматривается отклонение фактических величин от линейно интерполированных между этими точками. Если нет отклонения в направлении более чем на 10° , а в скорости – более 5 м/с, то вообще нет необходимости сообщать особые точки. Если один параметр отклоняется больше нормы, то уровень наибольшего отклонения становится дополнительной особой точкой по обоим параметрам.

2) Введенные таким образом дополнительные особые точки делят зондирование на 2 слоя. Затем отдельно в каждом слое между основанием и верхней точкой рассматриваются отклонения направления и скорости ветра от линейно интерполированных величин. Процесс, используемый выше, повторяется и дает другие точки. Эти дополнительные точки в изгибах видоизменяют распределение отклонений в слое; метод повторяется до тех пор, пока отклонения на любом уровне не приблизятся к указанным выше значениям величин.

Согласно «Наставление по кодам. Том 1: Международные коды», обязательными уровнями для включения в раздел 4 являются уровень станции и уровень верхней точки зондирования ветра.

Данные на уровнях особых точек и на установленных региональными требованиями высотах могут быть переданы двумя способами:

1) в случае отсутствия данных о давлении с помощью групп

$$\left. \begin{array}{l} 9 \text{ (или 1)} \\ \text{или} \\ 8 \end{array} \right\} t_n u_1 u_2 u_3 \quad d d f f f \quad d d f f f \quad d d f f f;$$

2) при наличии данных о давлении с помощью групп

$$\begin{array}{l} 21212 \quad n_1 n_1 P_1 P_1 P_1 \quad d_1 d_1 f_1 f_1 f_1 \\ \dots \dots \dots \\ n_n n_n P_n P_n P_n \quad d_n d_n f_n f_n f_n \end{array}$$

1. При отсутствии данных о давлении в телеграмму включаются данные на уровнях особых точек и на высотах, установленных региональными решениями, которые располагаются в порядке возрастания высоты, с помощью групп:

$$\left. \begin{array}{l} 9 \text{ (или 1)} \\ \text{или} \\ 8 \end{array} \right\} t_{n_1 u_1 u_2 u_3} \quad d d f f f \quad d d f f f \quad d d f f f$$

Уровни, установленные региональными решениями, опубликованы в «Наставление по кодам. Том 2: Региональные коды и национальные практики кодирования». В Европейской и Азиатской Региональных Ассоциациях ВМО, а также в Антарктике, то есть на территориях, где находятся аэрологические станции Росгидромета, установлены следующие уровни, кратные 300 и 500 м, приведённые в таблице 4.3.

В соответствии с действующей практикой в Росгидромете станции передают ветер на следующих стандартных высотах (таблица 4.3):

- в части В – 300, 600, 900 м над поверхностью земли, и далее 1000, 2000, 4000 м над уровнем моря;
- в части D – 22, 28, 30, 34, 36, 38 км над уровнем моря.

Таблица 4.3.

Высоты, подлежащие кодированию для станций Росгидромета

Уровни, кратные 300 гп. м			Уровни, кратные 500 гп. м		
Антарктида	Азия	Европа	Антарктида	Азия	Европа
300	300		500	**	
600	600		1000		1000
900	900	900	2000		2000
1500			2500		
1800			3500		
2100	2100	2100	4000		4000
2400			4500		
3000			5500		
3600	3600		6000		
4200	4500	4200	7000		
4800			7500		
6000	6000		9000		
7500			12000		
9000			*		
12000					
*					

* – а также самый высокий уровень, достигнутый зондом, если он находится ниже 100 гПа
 ** – уровни не установлены

Если особая точка отмечалась в пределах 150 м от одного из установленных уровней и при этом используется отличительная цифра 9 или в пределах 250 м при отличительной цифре 8, то данные для особой точки сообщаются в группе для установленного уровня. Данные, полученные на установленном уровне, не сообщаются.

Группа $9t_n u_1 u_2 u_3$, $1t_n u_1 u_2 u_3$ или $8t_n u_1 u_2 u_3$.

9 (или 1)
или
8 } – отличительные цифры.

Если передаются данные на высотах, кратных 300, то до высоты 29700 м включительно используется отличительная цифра 9. Выше этого уровня должна использоваться отличительная цифра 1, чтобы показать, что к высотам, сообщённым в $t_n u_1 u_2 u_3$, следует добавить 30000 м.

Если передаются данные на высотах, кратных 500, используется отличительная цифра 8.

$t_n u_1 u_2 u_3$ – высота уровней, для которых сообщается ветер в трёх следующих далее группах $ddfff$, выражаемая как результат от деления высот уровней в геопотенциальных метрах на 300 или 500 в зависимости от используемой отличительной цифры. $t_n u_1$ – высота уровня для первой группы $ddfff$, $t_n u_2$ – для второй, $t_n u_3$ – для третьей. На месте t_n сообщается число десятков, полученных в результате деления (оно должно быть одинаковым для тех уровней, данные с которых передаются после этой группы), на месте u_1 , u_2 , u_3 – число единиц.

Если сообщаются данные о ветре на уровне станции, u_1 в первой группе кодируется дробной чертой (/). Для кодирования ветра на уровне станции, указанного в румбах, используется таблица 4.4.

ddfff – направление и скорость ветра на передаваемых уровнях. После каждой группы высот уровней передаются до трёх групп $ddfff$, относящихся соответственно к первому ($t_n u_1$), второму ($t_n u_2$) и третьему ($t_n u_3$) уровням. Если нужно передать менее трёх уровней то на месте соответствующих u ставится /, а за группой $t_n u_1 u_2 u_3$ передаются необходимое число групп $ddfff$.

Различные уровни раздела 4 следует включать таким образом, чтобы они следовали один за другим в порядке возрастания их высоты.

Если высота в частях В и D дается в единицах геопотенциала, то слой, по которому пропущены данные, следует указывать путем

сообщения граничных уровней слоя с их данными о ветре и уровня со значением высоты между граничными высотами и группой dffff закодированной как ///// для указания уровня пропущенных данных, при условии, что этот слой имеет толщину не менее 1500 гп. м. Граничные уровни – это уровни, ближайšie к нижней и верхней части слоя, по которому имеются данные наблюдений. Нет необходимости в том, чтобы граничные слои удовлетворяли критериям особой точки.

2. Если в процессе зондирования было определено давление на уровнях особых точек по ветру, то в телеграмме необходимо передать данные ветра на уровнях установленных региональными решениями и данные на уровнях особых точек.

Для станций Росгидромета обязательными для передачи данных о ветре являются следующие уровни:

– в части В – 300, 600, 900 м над поверхностью земли, и далее 1000, 2000, 4000 м над уровнем моря;

– в части D – 22, 28, 30, 34, 36, 38 км над уровнем моря.

Информация на них передаётся с помощью групп:

9 (или 1) или 8	}	$t_n u_1 u_2 u_3$ dffff dffff dffff
-----------------------	---	-------------------------------------

Правила их кодирования указаны выше.

Далее следуют данные о ветре на уровнях особых точек закодированные с помощью групп:

21212	$00P_0 P_0 P_0$ $n_1 n_1 P_1 P_1 P_1$ $n_n n_n P_n P_n P_n$	$d_0 d_0 f_0 f_0 f_0$ $d_1 d_1 f_1 f_1 f_1$ $d_n d_n f_n f_n f_n$
-------	--	--

Группа **21212** – отличительная группа раздела.

Группы **00P₀P₀P₀ d₀d₀f₀f₀f₀** – данные на уровне станции в момент выпуска, включаются только в часть В.

00 – отличительные цифры данных на уровне станции.

P₀P₀P₀ – давление на уровне станции кодируется в целых гПа. Округление давления до целых гПа производится следующим образом: 0,5 гПа округляется до чётного числа целых единиц гПа, более 0,5 гПа – до большего значения целых единиц, менее 0,5 гПа – до меньшего значения. Если давление равно или более 1000 гПа, то при кодировании P₀P₀P₀ число тысяч отбрасывается.

$d_0 d_0 f_0 f_0$ – направление и скорость ветра у поверхности земли в момент выпуска.

При определении направления ветра по флюгеру $d_0 d_0$ кодируется следующим образом (таблица 4.4).

Таблица 4.4.

Кодирование направления ветра, указанного в румбах

Цифры кода $d_0 d_0$	Направление ветра (откуда дует)		Цифры кода $d_0 d_0$	Направление ветра (откуда дует)	
	румбы	градусы		румбы	градусы
36	С	0 (360)	20	Ю–ЮЗ	202
02	С–СВ	22	22	ЮЗ	225 *
04	СВ	45 *	25	З–ЮЗ	248
07	В–СВ	68	27	З	270
09	В	90	29	З–СЗ	292
11	В–ЮВ	112	31	СЗ	315 *
13	ЮВ	135 *	34	С–СЗ	338
16	Ю–ЮВ	158	00	Штиль	–
18	Ю	180	99	Переменное направление	

* – при этом направлении ветра к первой из цифр $f_0 f_0 f_0$, обозначающей сотни скорости ветра, прибавляется число 5.

Данные на уровнях особых точек в профиле ветра:

$$\begin{array}{ll} n_1 n_1 P_1 P_1 P_1 & d_1 d_1 f_1 f_1 f_1 \\ \dots & \dots \\ n_n n_n P_n P_n P_n & d_n d_n f_n f_n f_n \end{array}$$

$n_1 n_1, \dots, n_n n_n$ – порядковые номера уровней особых точек, нумеруются последовательно от нижнего уровня к верхнему в каждой из частей В и D: 11, 22, ..., 99, 11 и так далее. Уровни передаются в порядке уменьшения давления.

$P_1 P_1 P_1, \dots, P_n P_n P_n$ – давление на уровнях особых точек в профиле ветра; в части В сообщается в целых гПа (число тысяч отбрасывается), в части D – с десятистыми долями гПа (при давлении меньше 10,0 гПа, на месте первого P_n ставится 0).

$d_1 d_1 f_1 f_1 f_1, \dots, d_n d_n f_n f_n f_n$ – скорость и направление ветра на уровнях особых точек.

В соответствии с национальной практикой Росгидромета в раздел должны обязательно включаться также данные на границах пропускания в наблюдениях при толщине слоя, в котором данные о ветре отсутствовали, более 20 гПа путём включения в сводку трёх пар групп $n_n n_n P_n P_n P_n d_n d_n f_n f_n f_n$, две пары с данными на нижней и верхней

границах этого слоя (хотя они и не являются уровнями особых точек), а между ними две группы с соответствующим n_n и дробными чертами вместо остальных символов.

4.3. Содержание отчета

1. Бланк КАЭ-1 с результатами обработки данных оптического аэрологического зондирования (получен при выполнении лабораторной работы № 3: Получение информации о распределении скорости и направления ветра с высотой при использовании оптических методов наблюдений).
2. Телеграмма по коду КН-03, составленная по содержащимся в бланке КАЭ-1 данным.
3. Текст расшифровки сообщения, закодированного кодом КН-03.
4. Письменные ответы на контрольные вопросы.

4.4. Контрольные вопросы

1. Сколько частей содержит код для передачи данных ветрового зондирования атмосферы КН-03?
2. Какая информация кодируется в частях А и С?
3. Какая информация кодируется в частях В и D?

4.5. Приложение

Приложение 4.1

Пример сообщения, закодированного кодом КН-03:

```

PFAA 19063 26063 55385 12007 14503 22002 55340 25503 55320
03003
PFBV 19063 26063 90123 11510 17009 13506 80248 13505 13006
24003
    
```

Здесь :

19063	19 - число
	06 - гринвичское время
	3 - радиотеодолит
26063	26 - номер района
	063 - номер гидрометеорологической станции

55385	55 - отличительные цифры
12007 14503 22002	направление и скорость ветра на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа
55340	55 - отличительные цифры
25503 27006 27507	направление и скорость ветра на стандартных изобарических поверхностях 400, 300, 250 гПа
55320	55 - отличительные цифры
03003, 03003, 02002	направление и скорость ветра на стандартных изобарических поверхностях 200, 150, 100 гПа
19063	аналогично РРАА
26063	аналогично РРАА
90123	9 - отличительная цифра, указывающая, что далее передаются данные о ветре, высота которых кратна 300 м над поверхностью земли 123 - для высоты 300, 600, 900 м
11510, 17009, 13506	ветер на высотах над поверхностью земли 300, 600, 900 м
80248	8 - отличительная цифра, указывающая, что далее передаются данные о ветре, высота которых кратна 500 м над уровнем моря
13505, 13006, 24003	ветер на высотах 1000, 2000, 4000 м, которых кратна 500 м 248 - для высот 1000, 2000, 4000 м

Лабораторная работа № 5. Базисные оптические шар-пилотные наблюдения

Цель работы: освоить организацию проведения базисных оптических шар-пилотных наблюдений, изучить методику обработки данных базисных шар-пилотных наблюдений, приобрести практические навыки обработки данных базисных шар-пилотных наблюдений для получения информации о вертикальном распределении скорости и направления ветра в атмосфере.

Материалы для работы:

- 1) описание лабораторной работы № 5 «Базисные оптические шар-пилотные наблюдения»;
- 2) аэрологическая книжка для записи данных базисных шар-пилотных наблюдений;
- 3) бланк обработки базисных шар-пилотных наблюдений;
- 4) калькулятор для проведения инженерных расчетов;
- 5) миллиметровка, линейка, карандаш.

5.1. Введение

Базисные шар-пилотные наблюдения, как и шар-пилотные наблюдения с одного пункта, имеют целью определение скорости и направления ветра в свободной атмосфере. Применяют базисные наблюдения в тех случаях, когда необходимо иметь более точные сведения о ветре.

Предположение о постоянстве с высотой вертикальной скорости поднимающегося шара-пилота, как правило, не оправдывается. Основной причиной этого явления являются беспорядочные турбулентные движения воздуха в атмосфере. Поэтому отклонения реальной вертикальной скорости полёта шар-пилота от расчётной (теоретической) могут достигать очень больших значений, как положительных, так и отрицательных. Это обстоятельство приводит к необходимости определять высоту шара-пилота, а вместе с этим и его вертикальную скорость тригонометрическим способом. Для этой цели в аэрологии применяется метод базисных наблюдений.

Метод базисных шар-пилотных наблюдений заключается в том, что за движением летящего шар-пилота производятся наблюдения одновременно двумя аэрологическими теодолитами, установленными на концах базы, то есть на определенном, точно измеренном,

расстоянии один от другого. Отсчеты углов по обоим теодолитам производятся синхронно в строго определенные моменты времени. Зная длину базы, ее азимут относительно каждого теодолита и относительную высоту пунктов установки теодолитов (превышение одного из них над другим), по отсчитанным углам тригонометрическим путем вычисляют высоты шара для каждого момента времени. Далее скорость и направление ветра определяются аналогично методу шар-пилотных наблюдений с одного пункта.

Место для разбивки базы должно удовлетворять следующим требованиям.

1) Первый теодолит (1 пункт) должен быть установлен недалеко от помещения для наполнения шаров.

2) Место для установки каждого теодолита должно быть достаточно открытое, так чтобы вертикальный угол закрытости горизонта не превышал 5° во всех направлениях. В частности же, в направлении со второго теодолита на первый (не менее 30° по горизонту) вертикальный угол не должен превышать 1° , чтобы не утратить шар в первые моменты после выпуска. Исключения могут составлять лишь отдельные предметы с небольшими угловыми размерами по горизонту (столбы, трубы).

3) Теодолиты, установленные на концах базы, должны быть взаимно видимы.

4) База должна иметь направление по возможности перпендикулярное к господствующим ветрам.

Базисные шар-пилотные наблюдения обычно проводятся тремя наблюдателями, из которых один находится на связи с пунктами базы и подаёт отсчёты времени и принимает отсчёты углов по теодолитам, а два других ведут наблюдения непосредственно на первом и втором теодолитных пунктах.

Наблюдения прекращаются лишь тогда, когда шар, наблюдаемый в теодолит, становится невидимым.

По прекращении наблюдений немедленно производится их обработка.

5.2. Разбивка базы

Необходимо разбить две базы по одному направлению примерно перпендикулярному по отношению к господствующим направлениям ветра: первая длиной 1200–2000 м, вторая – 400–600 м. Длинная база предназначена для наблюдений в ясную погоду и при

облаках верхнего и среднего ярусов до высоты 8–10 км. Короткая база – для наблюдений при сплошной низкой облачности до высоты 1000–2000 м.

Когда направление и конечные пункты базы намечены, приступают к определению длины базы. При достаточно горизонтальной и ровной поверхности земли, расстояние между конечными пунктами измеряются непосредственно стальной мерной лентой. Промер производится в три раза и за длину принимается среднее арифметическое из трех измерений с точностью до 1 м. Допустимо применение других методов измерений обеспечивающих требуемую точность.

При затруднениях непосредственного измерения ее лентой измерения проводятся тригонометрическим способом: методом прямоугольных или косоугольных треугольников. Для этого на одном из намеченных базисных пунктов разбиваются две вспомогательные базы по обе стороны основной. Если позволяет местность, то эти базы располагаются под прямым углом к основной (рис. 5.1). В противном случае, вспомогательные базы разбиваются под любыми углами к основной (рис. 5.2). Следует лишь соблюсти условие, чтобы углы при другом пункте основной базы (углы 1 и 2 на рис. 5.1, 5.2 и 5.3) были не менее 6° . При разбивке вспомогательных базисов нужно обеспечить взаимную видимость между их конечными пунктами и пунктами основной базы. В случае невозможности соблюсти эти условия допускается разбивка вспомогательных базисов по одну сторону основной, делая их различной длины (рис. 5.3).

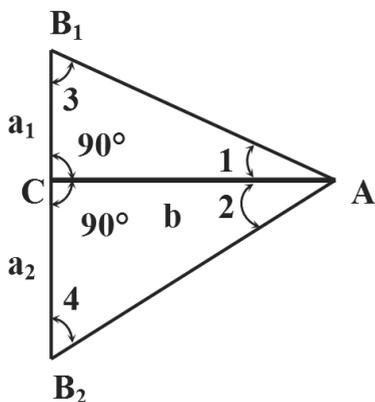


Рис. 5.1. Измерение базы с помощью прямоугольных треугольников

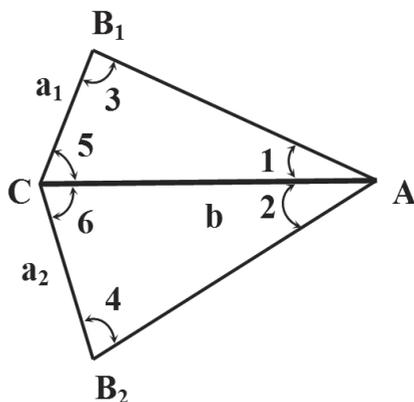


Рис. 5.2. Измерение базы с помощью косоугольных треугольников

Вспомогательные базы должны быть не короче 0,1 основной базы. За их длину принимается среднее арифметическое из трех измерений стальной лентой, с точностью до 0,1 м.

На концах основной базы, в точках А и С и на концах вспомогательных баз в точках В₁ и В₂ устанавливаются вехи и измеряются углы 1, 2, 3, 4, 5 и 6 геодезическим теодолитом с точностью отсчетов до 1'. Если в результате измерений сумма углов в полученных треугольниках будет отклоняться от 180°, то неувязку следует распределить между измеренными углами поровну. В исключительных случаях допускается измерение углов аэрологическими теодолитами, с точностью отсчетов 0,1°. При этом нужно брать вспомогательные базы несколько большей длины и впоследствии уточнить все измерения одним теодолитом.

В случае разбивки прямоугольных треугольников длина основной базы b вычисляется по формулам:

$$b = a_1 \operatorname{ctg}(\angle 1), \quad (5.1)$$

$$b = a_2 \operatorname{ctg}(\angle 2). \quad (5.2)$$

При косоугольных треугольниках вычисления производятся по формулам:

$$b = a_1 \frac{\sin(\angle 3)}{\sin(\angle 1)}, \quad (5.3)$$

$$b = a_2 \frac{\sin(\angle 4)}{\sin(\angle 2)}. \quad (5.4)$$

За истинную длину базы в обоих случаях принимается среднее арифметическое из полученных значений, с точностью до 1 м.

При отклонениях, вычисленных по формулам величин от среднего значения более чем 0,5 %, измерения длин вспомогательных базисов и всех углов следует повторить.

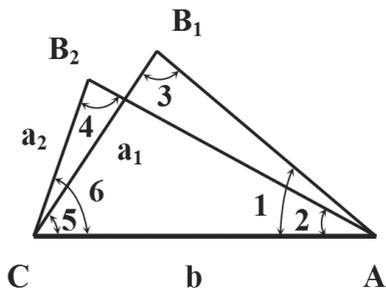


Рис. 5.3. Измерение базы с помощью треугольников, расположенных по одну сторону базисной линии

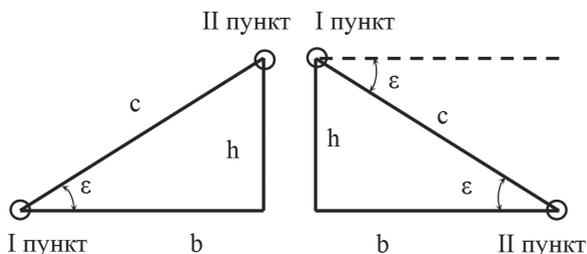


Рис. 5.4. Две схемы взаимного расположения двух пунктов наблюдения и соответствующее определение: длины базы b , расстояния между пунктами базы c , превышение одного пункта над другим h и угол превышения ε

Определение превышения одного базисного пункта над другим производится путём обычного нивелирования. Допускается определение взаимного превышения одного базисного пункта над другим производить тригонометрическим способом. Для этого устанавливают теодолит с точностью измерений $1'$ на первом пункте и, наведя трубу на второй пункт, отсчитывают вертикальный угол ε (рис. 5.4). Превышение h вычисляется по формуле, при этом нужно учитывать поправку на смещение места нуля вертикального круга:

$$h = b \operatorname{tg} \varepsilon, \quad (5.5)$$

где b – длина базы. В зависимости от требуемой точности ветровых наблюдений допускается измерять углы теодолитами с точностью отсчётов в $0,1^\circ$.

Если h определено нивелировкой, то необходимый при обработке угол ε вычисляется по формуле:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{h}{b}. \quad (5.6)$$

Значения превышения одного пункта над другим и вертикального угла указываются без учёта знака, при этом отмечается положение второго пункта относительно первого.

После определения h вычисляется расстояние между пунктами c . Вычисление ведётся по формулам:

$$c = \sqrt{h^2 + b^2}. \quad (5.7)$$

За азимут базы принимается угол, составленный географическим меридианом и направлением с первого пункта базы на второй. Угол отсчитывается от 0 до 360° от точки «север» через точку «восток» с точностью до 1° .

В стационарных условиях азимут базы определяется по Полярной звезде. В ясный вечер, когда на небе хорошо видны звёзды, на втором пункте базы устанавливается фонарь, а на первом – теодолит. На теодолите нужно предварительно подвести индекс, по которому производят отсчёты горизонтальных углов, к 0° горизонтального круга и освободив стопорный винт навести трубу на Полярную звезду. Затем закрепить стопорный винт и навести трубу теодолита на второй базисный пункт. Отсчёт горизонтального угла даёт азимут базы.

После оборудования пунктов базы определяют высоту теодолита первого пункта над уровнем моря. Для этого связывают нивелировкой теодолит первого пункта с нулем шкалы барометра, установленного на станции, высота которого над уровнем моря всегда известна.

Все операции по разбивке базы и определению её элементов, а также полученные результаты – длина, азимут, высота теодолита первого пункта над уровнем моря, разность высот пунктов, угол ϵ и расстояние между пунктами c – необходимо зафиксировать в паспорте станции.

5.3. Установка и проверка теодолитов

Установка теодолитов на базисных пунктах заключается в следующем:

- 1) закрепление теодолитов,
- 2) установка по уровню,
- 3) фокусировка окуляра,
- 4) ориентировка по базе.

Закрепление теодолитов, установка по уровню и фокусировка окуляра производятся согласно описанию теодолита. Во избежание лишних движений, наводку трубы для фокусировки окуляра следует производить на противоположный базисный пункт.

Ориентируется теодолиты таким образом, чтобы при направлении труб в одну сторону – от первого пункта вдоль базисной линии и ее продолжения – отсчеты горизонтальных углов по обоим теодолитам были одинаковы и равнялись 0° (рис. 5.5).

Закрепив, установив по уровню и отфокусировав теодолиты, подводят индексы, по которым будут производить отсчёты горизонтальных углов: на первом пункте к 0° , а на втором к 180° горизонтальных кругов. Затем освобождают стопорные винты и направляют

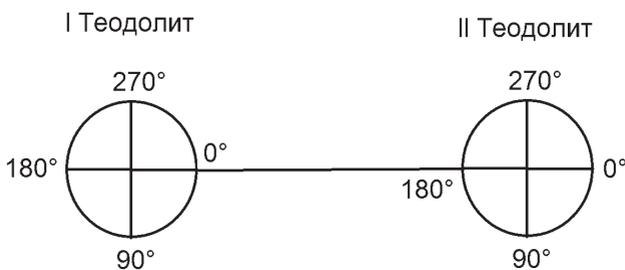


Рис. 5.5. Схема установки теодолитов на концах базы

трубы на противоположные пункты базы так, чтобы изображение их теодолитов полностью совпадало с изображением креста нитей и закрепляют стопорные винты. Окончив ориентировку, проверяют, не сместились ли индексы с соответствующих делений горизонтальных кругов.

При ориентировке нужно следить за тем, чтобы трубы теодолитов находились в «рабочем» положении, т. е. чтобы отсчеты по вертикальным кругам при наведении на противоположные базисные пункты были близки к 0° (а не к 180°).

Проверка теодолитов производится перед началом и по окончании каждого наблюдения. Проверка преследует две цели:

- 1) выявление величин смещения нуля вертикального круга и угла коллимации;
- 2) установление отсутствия сдвига теодолитов в процессе наблюдения.

Трубу установленного и ориентированного теодолита наводят на теодолит противоположного пункта так, чтобы его изображение совпало с крестом нитей, и отсчитывают горизонтальный и вертикальный угол. Данные записываются в графу «Наводка до наблюдений» книжки наблюдений (приложение 5.1).

Затем, поворачивая трубу вокруг горизонтальной оси, переводят его через зенит и, повернув на 180° вокруг вертикальной оси, наводят на тот же пункт. Добившись совмещения изображения с крестом нитей, отсчитывают углы и записывают в графу «Перекидка до наблюдений».

По окончании наблюдений операция повторяется в том же порядке, и результаты записываются в графы «Наводка» и «Перекидка после наблюдений».

Вычисление величины и определение знака поправки на смещение нуля вертикального круга производится по формуле:

$$\Delta\delta_0 \text{ или } \Delta\gamma_0 = \frac{180 - (H + \Pi)}{2}, \quad (5.8)$$

где $\Delta\delta_0$ – поправка к вертикальным углам на первом пункте, $\Delta\gamma_0$ – поправка к вертикальным углам на втором пункте, H – отсчет вертикального угла при наводке, Π – отсчет вертикального угла при перекидке. Если сумма углов при наводке и перекидке больше 360° , то в таких случаях к 180° нужно прибавить 360° .

Вычисление угла коллимации K производится по формуле:

$$K = \frac{(\Pi - H) - 180}{2}, \quad (5.9)$$

где Π – отсчет горизонтального угла при перекидке, H – отсчет горизонтального угла при наводке. Если отсчет при перекидке меньше отсчета при наводке, то для вычисления угла коллимации нужно к отсчету при перекидке прибавить 360° .

Изменение величин смещения нуля вертикального круга или угла коллимации более $0,1^\circ$ от проверки к проверке указывает на неисправности теодолита, требующие его ремонта. Ремонт теодолита необходим и в тех случаях, когда угол коллимации превосходит $0,4^\circ$.

Значения горизонтальных углов при наводке и перекидке до наблюдений должны совпадать со значениями этих углов после наблюдений. Расхождение допускается на $\pm 0,1^\circ$. Превышение этого допуска указывает на то, что теодолит был сдвинут в процессе наблюдений, и базисная обработка не может быть проведена.

5.4. Производство наблюдений

На каждом пункте находятся два наблюдателя имеющих при себе теодолит, средства связи, секундомер, бланк наблюдений (приложение 5.1) и карандаши.

За 10–15 мин до выпуска производится установка и проверка теодолитов на пунктах базы. В это время помощник наблюдателя первой базы отсчитывает и заносит в бланк наблюдений давление по барометру, наполняет шар и записывает его размеры и подъемную силу, а также дату и порядковый номер шара-пилота. За 5 мин до срока выпуска определяет по стационарным установкам температуру, влажность и ветер, в соответствии с требованиями наставления по производству метеорологических наблюдений и заносит результаты в бланк.

За 5 сек до выпуска помощник наблюдателя на первом пункте подает команду «без пяти», «без двух», а с наступлением срока – команду «пуск» и при этом включает секундомер. Выпускающий на первом пункте по команде «пуск» выпускает шар. Выпускающий и помощник наблюдателя первого пункта может быть один человек.

Отсчеты на обоих наблюдательных пунктах производятся с точностью $0,1^\circ$ через каждые 0,5 мин для первых трех минут наблюдений, а далее – через каждую 1 мин до конца наблюдений.

Помощник наблюдателя на первом пункте следит за секундомером и за 5 сек до наступления каждого момента отсчета подает команду «без пяти», «без двух», а с наступлением момента – команду «отсчет». После чего услышав отсчеты с первого теодолита, записывает их в бланк. Помощник наблюдателя на втором пункте дублирует команды с первого пункта и записывает отсчеты со второго теодолита.

Наблюдатели при теодолитах по команде «без пяти» подводят изображения шара к крестам нитей теодолитов, а по команде «отсчет» отсчитывают горизонтальные и вертикальные углы с точностью до $0,1^\circ$.

В случае пропуска отсчета на каком-либо теодолите помощник наблюдателя ставит тире против соответствующей минуты в наблюдательском бланке этого теодолита.

В момент затуманивания шара при вхождении в облако наблюдатели сообщают «туманится» с указанием формы облаков. Этот момент записывается в бланк наблюдений соответствующего пункта или в оба бланка с точностью до 1 с. Возможно, что затуманивание будет отмечено пунктами не одновременно, и тогда запись делается в разные моменты.

Когда шар становится невидим, наблюдения прекращаются, и наблюдатели сообщают об этом с указанием причин. В бланках каждого теодолита делаются соответствующие отметки с указанием времени, с точностью до 1 с. Время прекращения и причина прекращения наблюдений могут быть различными на каждом теодолите.

По прекращении наблюдений на обоих пунктах производится проверка теодолитов, определяется облачность и другие метеорологические явления и данные записываются в бланки. Помощник наблюдателя первого пункта определяет параметры ветра и сообщает их для записи в бланк.

В случае утери шара на первых минутах обоими пунктами, повторный выпуск проводится таким же порядком, как и первый.

5.5. Содержание обработки наблюдений

Обработка базисных наблюдений заключается в вычислении истинных высот шара-пилота и средних скоростей, и направлений ветра для различных высот. Вычисление высот производится путем решения треугольников. Определение скоростей и направлений ветра производится графическим методом, путем нанесения на круге Молчанова проекций шара-пилота на горизонтальную плоскость.

По окончании наблюдения приступают к обработке полученных данных в следующем порядке:

- 1) проверяют синхронность отсчетов углов;
- 2) вычисляют инструментальные поправки на смещения вертикального круга и коллимацию;
- 3) вычисляют теоретическую вертикальную скорость шара-пилота;
- 4) производят анализ наблюдений и распределяют минуты обработки по формулам вычисления высот;
- 5) вычисляют истинные высоты и вертикальные скорости шара-пилота в определенных интервалах;
- 6) вычисляют высоты шара-пилота для всех промежуточных отсчетов и вычисляют высоты средин слоев;
- 7) вычисляют высоты облаков в случае вхождения шара в облака;
- 8) определяют скорость и направления ветра в слоях между отсчетами в теодолит;
- 9) находят скорость и направление ветра на стандартных высотах и особые точки по ветру.

5.6. Введение поправок в отсчёты углов по теодолитам и вычисление теоретической вертикальной скорости

Инструментальные поправки вычисляются так, как указано выше. Вычисленные значения смещения нуля вертикального круга и угла коллимации с их знаками записываются в первые строки бланков.

Величины поправок, определенных до наблюдений и после наблюдений, могут отличаться на величину, равную точности отсчетов, т. е. на $0,1^\circ$. За окончательную величину поправки принимается

среднее из этих двух значений, с округлением до $0,1^\circ$. При округлении $0,05^\circ$ отбрасываются. Если же поправки расходятся более чем на $0,1^\circ$, то наблюдение бракуется.

Поправка на смещение места нуля вертикального круга вводится в обработку путем сложения с вертикальными углами, отсчитанными и записанными во время наблюдений. Поправка вводится лишь в тех случаях, когда величина ее превосходит $0,1^\circ$.

Коллимационная поправка вводится в обработку путем сложения ее с горизонтальными углами, отсчитанными и записанными во время наблюдений. Поправка вводится лишь в том случае, если величина ее превышает $0,1^\circ$. Следует иметь в виду, что величина поправки не остается постоянной, так как зависит не только от величины угла коллимации, но и от величины вертикального угла (таблица 5.1). Эта зависимость выражается формулами:

– для углов первого пункта:

$$\Delta\alpha = K_\alpha \left(\frac{1}{\cos \delta} - 1 \right), \quad (5.10)$$

– для углов второго пункта:

$$\Delta\beta = K_\beta \left(\frac{1}{\cos \gamma} - 1 \right), \quad (5.11)$$

где $\Delta\alpha$ – поправка к горизонтальным углам на первом пункте, δ – вертикальные углы на первом пункте, K_α – коллимационный угол первого теодолита, $\Delta\beta$ – поправка к горизонтальным углам на втором пункте, γ – вертикальные углы на втором пункте, K_β – коллимационный угол второго теодолита. Знаки поправок те же, что и знаки угла коллимации.

Таблица 5.1.

Коллимационные поправки

Вертикальный угол δ или γ , °	Угол коллимации K_α или K_β			
	0,1°	0,2°	0,3°	0,4°
40	0,0	0,0	0,1	0,1
50	0,0	0,1	0,2	0,2
55	0,0	0,1	0,2	0,3
60	0,1	0,2	0,3	0,4
65	0,1	0,3	0,4	0,6
70	0,2	0,4	0,6	0,8
75	0,3	0,6	0,9	1,1

Вертикальный угол δ или γ , °	Угол коллимации K_α или K_β			
	0,1°	0,2°	0,3°	0,4°
80	0,5	0,9	1,4	1,9
82	0,6	1,2	1,9	2,5
83	0,7	1,4	2,2	2,9
84	0,9	1,7	2,6	3,4
85	1,0	2,1	3,1	4,2

При обработке скорости и направления ветра на круге Молчанова указанные инструментальные поправки вводятся в отсчеты углов, если по абсолютной величине они больше $0,2^\circ$.

Вычисление теоретической вертикальной скорости производятся по «Таблицам для определения вертикальных скоростей шара-пилота», согласно «Наставлению» (вып. 4, ч. 1).

По данным наводки и перекидки до и после наблюдений определяют – не имело ли место смещение горизонтального круга или не был ли сбит теодолит в целом. Если окажется, что отсчеты горизонтальных углов по теодолитам (или одному из них), при наводке до и после наблюдений, расходятся более чем на $0,1^\circ$, то наблюдения бракуются для базисной обработки и обрабатываются с одного пункта по теодолиту, сохранившему установку.

5.7. Выбор формул для базисной обработки

Способ вычисления высот шара-пилота при базисных наблюдениях зависит от пространственного положения перемещающегося шара в каждый момент времени относительно базы. При расположении шара-пилота на достаточно далёком расстоянии от вертикальной плоскости, проходящей через базу, пользуются способом проектирования положения шара-пилота на горизонтальную плоскость. Если же шар-пилот расположен вблизи вертикальной плоскости, проходящей через базу, то пользуются способом проектирования на вертикальную плоскость.

Рассмотрим случай, когда шар-пилот находится достаточно далеко от вертикальной плоскости, проходящей через базу (рис. 5.6). Допустим, что теодолиты установлены на разных высотах в точках A и B с превышением одной точки над другой, равным $AA_1 = h$. Длину базы A_1B обозначим через b .

Допустим, что шар-пилот в некоторый момент времени находится в точке P . Обозначим проекцию шара-пилота на горизонтальную плоскость, проходящую, через точку A , через P_1 , а его проекцию на горизонтальную плоскость, проходящую через точку B , через P_2 . Высоту шара-пилота относительно горизонтальной плоскости, проходящей через точку A , обозначим H_δ , а относительно плоскости, проходящей через точку B – через H_γ .

Углы, образуемые проекциями AP_1 и BP_2 визирных линий AP и BP на горизонтальную плоскость и базой, обозначим соответственно через α и β , а вертикальные углы этих визирных линий – через δ и γ .

Для вычисления высот шара-пилота при базисных наблюдениях применяются две формулы при проектировании на горизонтальную плоскость:

$$H_\delta = \left| b \frac{\sin \beta}{\sin |\alpha - \beta|} \operatorname{tg} \delta \right|, \quad (5.12)$$

$$H_\gamma = \left| b \frac{\sin \alpha}{\sin |\alpha - \beta|} \operatorname{tg} \gamma \right|, \quad (5.13)$$

где H_δ – высота шара-пилота над теодолитом первого пункта (м), H_γ – высота шара-пилота над теодолитом второго пункта (м), b – длина базы (м), α и δ – горизонтальный и вертикальный углы по первому теодолиту, β и γ – горизонтальный и вертикальный углы по второму теодолиту, $|\alpha - \beta|$ – абсолютная разность этих углов (получается вычитанием меньшего угла из большего).

Рассмотрим случай, когда шар-пилот находится достаточно близко к вертикальной плоскости, проходящей через базу. Допустим что теодолиты установлены на одной высоте в точках A и B (рис. 5.7). Пусть точка P' представляет собой проекцию шара-пилота на вертикальную плоскость которая проходит через базу.

Углы δ' и γ' являются проекциями вертикальных углов δ и γ теодолитов на вертикальную плоскость.

В том случае, когда пункты базы расположены на разных высотах необходимо учитывать вертикальный угол ϵ под которым виден из точки B теодолит установленный в точке A (рис. 5.8).

Расстояние между теодолитами базы AB обозначим через c .

При проектировании шара-пилота на вертикальную плоскость вычисление высоты шара ведется по формуле:

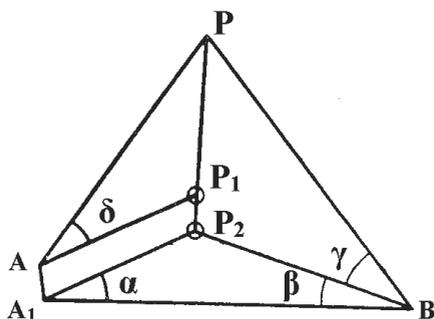


Рис. 5.6. Проекция шара-пилота и визирных линий на горизонтальную плоскость

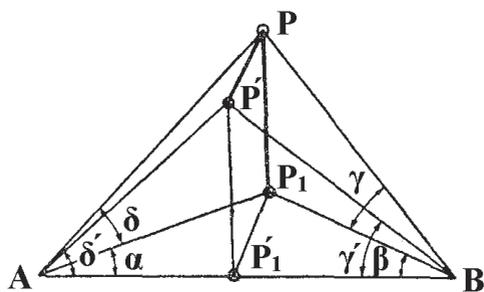


Рис. 5.7. Проекция шара-пилота и визирных линий на горизонтальную и вертикальную плоскости

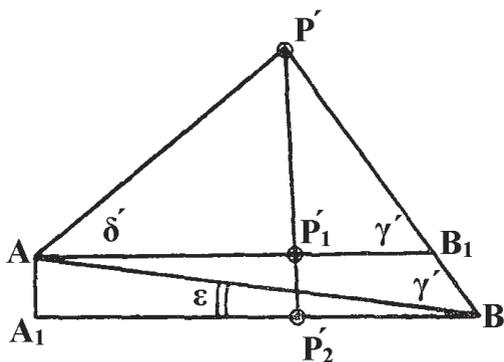


Рис. 5.8. Проекция шара-пилота и визирных линий на вертикальную плоскость при разных высотах пунктов базы

$$H = \left| c \frac{\sin \delta' \sin(\gamma' \pm \varepsilon)}{\sin|\delta' \pm \gamma'|} \right|, \quad (5.14)$$

где H – высота шара-пилота над теодолитом первого пункта (м), c – расстояние между пунктами базы (м), δ' – проекция вертикального угла с первого пункта на вертикальную плоскость, γ' – тоже со второго пункта, ε – вертикальный угол под которым виден теодолит второго пункта с первого пункта.

Применение той или иной формулы обуславливается значениями входящих в них углов. Поэтому, приступая к обработке, необходимо предварительно проанализировать углы, полученные при наблюдениях.

Обычно обработку ведут проектированием на горизонтальную плоскость. Однако при определенных углах ошибки вычисления по формулам проектирования на горизонтальную плоскость становятся велики и тогда переходят на вычисление по формуле проектирования на вертикальную плоскость.

Переходить на вычисление проектированием на вертикальную плоскость следует:

1) при горизонтальных углах α или β , отличающихся от 0 или 180° менее чем на 2° , а именно, если: α или β больше 358° или меньше 2° ; α или β больше 178° , но меньше 182° ,

2) при разности меньше 4° или больше 176° ,

3) при вертикальных углах δ или γ больше 88° .

При значениях углов δ или γ меньше 2° , а также при значениях и $(\alpha - \beta)$, и одновременно $|\delta' \pm \gamma'|$ меньше 4° вычисление высот не производится ни по одной формуле.

Выбор плоскости проектирования можно проводить и с помощью демаркационного графика Зайчикова (рис. 5.9), учитывающего условия, обеспечивающие наибольшую точность в случаях применения формул проектирования на горизонтальную плоскость или вертикальную при конкретных соотношениях углов α или β и δ или γ . Если точки пересечения значений углов α (β) и δ (γ) попадают в область А, то следует применить проектирование на горизонтальную плоскость, а если в область В – на вертикальную.

Каждый из пределов установлен независимо от остальных для наблюдений теодолитами с точностью отсчетов, равной $0,1^\circ$. Включение в обработку одного из углов, выходящих за пределы допуска, повлечет вероятную относительную ошибку в вычислении высоты

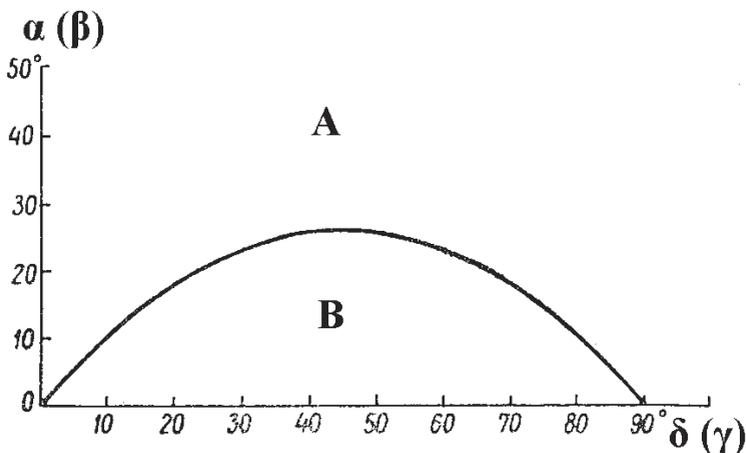


Рис. 5.9. Демаркационный график Зайчикова

порядка 5 %. Фактически же ошибки множителей, входящих в формулу, могут суммироваться и превосходить величину 5 % даже в случаях, когда значения отдельных углов не достигают пределов.

Для определения суммарной ошибки вычисления высот используются таблицы (приложение 5.3) относительных ошибок, суммируя их для каждого из углов входящих в формулы.

На практике можно ориентироваться при выборе формул обработки, не пользуясь таблицами ошибок. Если только одна величина, входящая в формулу, близка к пределу, а остальные далеки (особенно $\alpha - \beta$), то обработку можно вести на горизонтальную плоскость.

Базисным методом вычисляются высоты не для всех минут, а с постепенно увеличивающимися промежутками между ними, а именно: для 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 20, 30 и так далее через 10 мин (приложение 5.2). Для всех промежуточных минут высоты получают интерполированием. Принятие в обработку нестандартных минут возможно лишь в тех случаях, когда высоты для стандартных минут нельзя вычислить вследствие ошибок в отсчетах или пропуска отсчетов при наблюдениях.

Для выбранных минут обработки в соответствующую таблицу бланка (приложение 5.2) заносятся вертикальные и горизонтальные углы с теодолитов обоих пунктов с введением соответствующих поправок. Производится расчёт проекций вертикальных углов на вертикальную плоскость по формулам (5.15) и (5.16).

$$\delta' = \operatorname{arctg} \left| \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha} \right|, \quad (5.15)$$

$$\gamma' = \operatorname{arctg} \left| \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \beta} \right|. \quad (5.16)$$

Осуществляется выбор плоскостей для расчёта высот.

5.8. Обработка высот на горизонтальную плоскость

Вычисление высот шара-пилота производится на специальном бланке обработки (приложение 5.2). Предварительно на бланке проставляют порядковый номер шара-пилота, число, месяц, год и время выпуска шара.

В таблицу бланка, предназначенную для проектирования на горизонтальную плоскость, проставляют в столбец 1 те минуты, которые подлежат обработке на горизонтальную плоскость. Далее, из протокола наблюдений первого пункта (приложение 5.1) в столбец 2 выписывают отсчеты горизонтальных углов, а в столбец 5 – отсчеты вертикальных углов, отмеченных в столбце 1.

Из протокола наблюдений второго пункта в столбец 3 выписывают отсчеты горизонтальных углов, а в 6 – отсчеты вертикальных углов для тех же минут.

Все углы выписываются с внесением соответствующих поправок.

В столбец 4 записывают абсолютные разности между горизонтальными углами первого и второго пунктов, т. е. из большего угла, независимо от того будет ли это угол α или угол β , вычитается меньший.

Затем приступают к вычислению высот шара-пилота над уровнями теодолитов за промежутки времени, отмеченные в столбце 1; в столбец 7 над уровнем теодолита первого пункта по формуле 5.8, а в 8 – над уровнем теодолита второго пункта по формуле 5.9.

Высоту шара приводят к уровню теодолита первого пункта. При этом, если второй пункт выше первого (рис. 5.10-а), то H_γ будет меньше H_δ , и ко всем значениям высот столбца 8 нужно прибавить h ; а если второй пункт ниже первого (рис. 5.10-б), то H_γ будет больше H_δ и от всех значений высот столбца 8 нужно отнять h . Полученные высоты записывают в столбец 9.

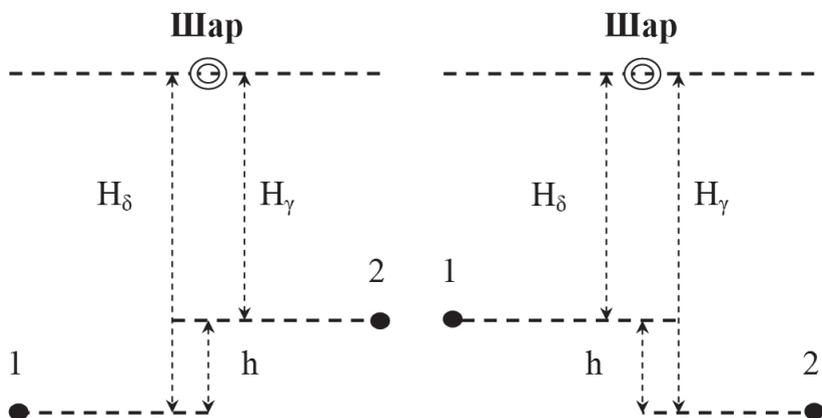


Рис. 5.10. Высота шара H_δ и H_γ над теодолитами первого и второго пунктов:
1 – уровень первого теодолита; 2 – уровень второго теодолита

Сложив значения столбцов 7 и 9 и разделив их пополам, получим $H_{\text{ср}}$. Эта величина записывается в столбец 10 и принимается за высоту шара в данную минуту над уровнем теодолита первого пункта.

В столбец 11 выписываются вертикальные скорости шара W_b за каждый промежуток времени. Вертикальные скорости вычисляются следующим образом: берется разность соседних высот и делится на промежуток времени между этими высотами.

В 12 столбце проставляют отклонения вертикальных скоростей от теоретических, причем всегда от вычисленной вертикальной скорости вычитают теоретическую. Если вычисленная вертикальная скорость больше теоретической, то отклонение будет иметь знак плюс, а если меньше, то знак минус.

5.9. Обработка высот на вертикальную плоскость

Минуты, предназначенные к обработке на вертикальную плоскость, выписываются в столбец 1 таблицы (приложение 5.2), предназначенной для проектирования на вертикальную плоскость бланка обработки. В столбцы 2 и 3 заносятся исправленные на инструментальные поправки значения горизонтальных и

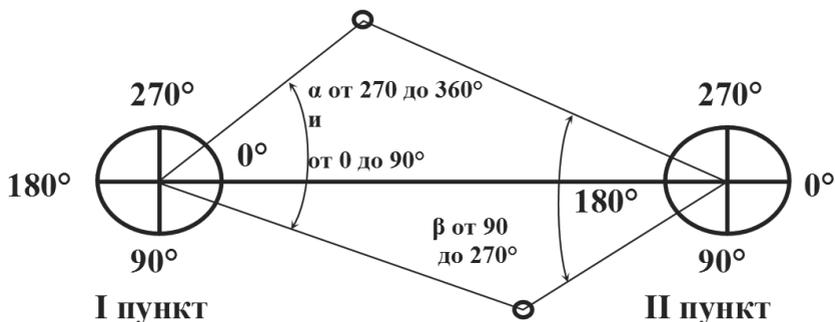


Рис. 5.11. Значения горизонтальных углов при положении проекции шара между пунктами базы

вертикальных углов, с первого пункта, а в столбцы 6 и 7 исправленные значения тех же углов со второго пункта, для минут обозначенных в столбце 1.

В столбцы 4 и 7 заносятся значения проекций вертикальных углов, отсчитанных по теодолиту на вертикальную плоскость. Углы δ' и γ' вычисляются по формулам (5.11) и (5.12).

В столбце 8 имеем $|\delta' \pm \gamma'|$, сумма $\delta' + \gamma'$ берется только в тех случаях, когда шар находится между пунктами что выявляется по таблице, когда $90^\circ > \alpha$ и $90^\circ < \beta$ или $270^\circ < \alpha \leq 360^\circ$ и $270^\circ > \beta \geq 180^\circ$ (рис. 5.11). При других отсчетах горизонтальных углов в строку 8 вписывают углы, равные абсолютной разности вертикальных углов $|\delta' \pm \gamma'|$, т. е. разности, полученной вычитанием меньшего угла из большего.

В столбец 9 записывается $(\gamma' \pm \epsilon)$. Знак перед ϵ определяется взаимным положением пунктов, и, в то же время, положением шара-пилота относительно пунктов, как показано на рис. 5.12–5.17, представляющих все возможные случаи проекции шара на вертикальную плоскость.

Первое положение – первый пункт выше второго.

Случай 1. Шар находится между пунктами (рис. 5.12), тогда в треугольник, полученный проектированием шара на вертикальную плоскость, войдет угол $\gamma' - \epsilon$.

Случай 2. Шар находится за первым пунктом (рис. 5.13). Как видно из рисунка, в треугольник входит угол $\gamma' - \epsilon$.

Случай 3. Шар находится за вторым пунктом (рис. 5.14). В треугольник входит угол $(180^\circ - (\gamma' + \epsilon))$; $\sin(180^\circ - (\gamma' + \epsilon)) = \sin(\gamma' + \epsilon)$. В этом случае нужно брать $\gamma' + \epsilon$.

Проекция шара

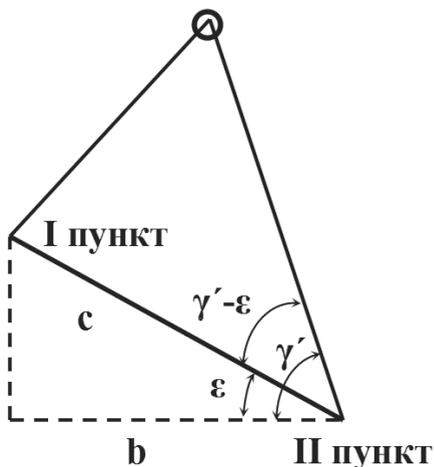


Рис. 5.12. Значение угла $(\gamma' \pm \epsilon)$ при первом положении пунктов.
Случай 1. Горизонтальные углы $\alpha < 90^\circ$ или $\alpha > 270^\circ$ и $90^\circ < \beta < 270^\circ$ $|\gamma' - \epsilon|$

Проекция шара

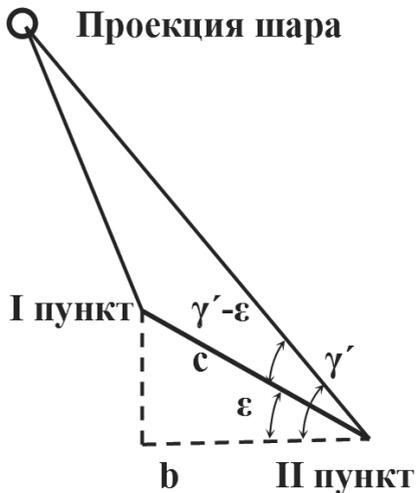


Рис. 5.13. Значение угла $(\gamma' \pm \epsilon)$ при первом положении пунктов.
Случай 2. Горизонтальные углы $90^\circ < \alpha < 270^\circ$ и $90^\circ < \beta < 270^\circ$ $|\gamma' - \epsilon|$

Проекция шара

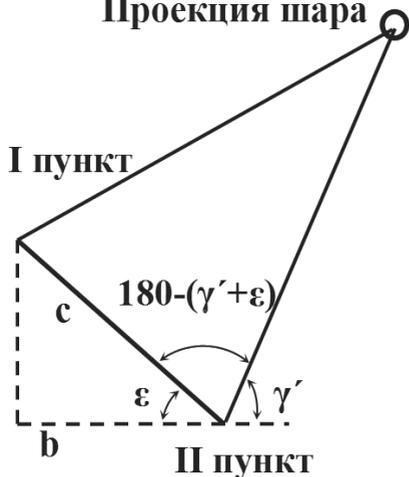


Рис. 5.14. Значение угла $(\gamma' \pm \epsilon)$ при первом положении пунктов.
Случай 3. Горизонтальные углы $\alpha < 90^\circ$ или $\alpha > 270^\circ$ и $\beta < 90^\circ$ или $\beta > 270^\circ$ $|\gamma' + \epsilon|$

Проекция шара

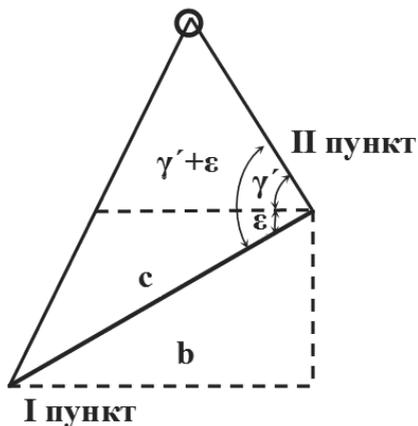


Рис. 5.15. Значение угла $(\gamma' \pm \epsilon)$ при втором положении пунктов.
Случай 1. Горизонтальные углы $\alpha < 90^\circ$ или $\alpha > 270^\circ$ и $90^\circ < \beta < 270^\circ$ $|\gamma' + \epsilon|$



Рис. 5.17. Значение угла $(\gamma' \pm \varepsilon)$ при втором положении пунктов.
Случай 3. Горизонтальные углы $\alpha < 90^\circ$ или $\alpha > 270^\circ$ и $\beta < 90^\circ$ или $\beta > 270^\circ$ $|\gamma' - \varepsilon|$



Рис. 5.16. Значение угла $(\gamma' \pm \varepsilon)$ при втором положении пунктов.
Случай 2. Горизонтальные углы $90^\circ < \alpha < 270^\circ$ и $90^\circ < \beta < 270^\circ$ $|\gamma' + \varepsilon|$

Второе положение – первый пункт ниже второго.

Случай 1. Шар находится между пунктами (рис. 5.15). В треугольник входит $\gamma' + \varepsilon$.

Случай 2. Шар находится за первым пунктом (рис. 5.16). При вычислении нужно брать $\gamma' + \varepsilon$.

Случай 3. Шар находится за вторым пунктом (рис. 5.17). В треугольник входит угол $(180^\circ + \varepsilon - \gamma')$ или $(180^\circ - (\gamma' + \varepsilon))$; $\sin(180^\circ - (\gamma' - \varepsilon)) = \sin(\gamma' - \varepsilon)$. В этом случае нужно брать $\gamma' - \varepsilon$.

В столбец 10 вносятся высоты шара, для данных минут, вычисляемые по формуле 5.10. Столбцы 11 и 12 вычисляются так же, как и при обработке проектированием на горизонтальную плоскость.

При вычислении высот проектированием и на горизонтальную, и на вертикальную плоскости значения W_b вычисляются между высотами, идущими по порядку.

5.10. Анализ результатов вычисления высот

При проектировании на горизонтальную плоскость для каждого обрабатываемого отсчета времени получают два значения высоты шара-пилота, дающие возможность судить о точности как наблюдений, так и вычисления высот.

Если установка теодолитов, наблюдения, запись отсчетов и вычисления высот произведены правильно, то высоты H_{δ} и $H_{\gamma} \pm h$ в столбцах 7 и 9 для одних и тех же минут должны совпадать. Расхождения между ними до высоты 600 м допускается до 5 %; выше расхождение не должны превышать 2 %.

В случае, если расхождение между высотами H_{δ} и $H_{\gamma} \pm h$ превышает указанные пределы, следует считать, что-либо в наблюдениях, либо в обработке допущены ошибки. В этом случае необходимо проверить как выписку углов, так и сами вычисления.

Если вычисления оказались правильными, то остается предположить, что ошибка заключается в отсчетах.

Если ошибка оказалась до 5-й минуты, то соответствующий столбец, а, следовательно, и высота просто выбрасываются, а если после 5-й минуты, то этот столбец выбрасывается и производится вычисление высот соседней четной минуты.

Иногда расхождение между H_{δ} и $H_{\gamma} \pm h$ объясняется тем, что в результате комбинации углов различных значений, определение H_{δ} и H_{γ} производится с неодинаковой точностью. В таких случаях имеет смысл не брать среднюю высоту $\frac{H_{\delta} + (H_{\gamma} \pm h)}{2}$, а принять за

истинную одну из них, получаемую с меньшей вероятной ошибкой.

Хорошая сходимость высот H_{δ} и H_{γ} не всегда еще доказывает правильность наблюдений и вычислений, так как ошибка, допущенная в вычислении угла ($\alpha - \beta$), не влияет на сходимость высот.

Контролем, как и в случае проектирования на вертикальную плоскость, является ход вертикальных скоростей шара-пилота. Если в ходе вертикальных скоростей шара-пилота наблюдаются резкие скачки, то есть основание предполагать либо ошибку в вычислениях, либо ошибку в отсчетах углов.

Предварительно следует проверить выписку углов и все вычисления высот тех минут, которые дают маловероятный ход вертикальных скоростей. Если проверка вычислений покажет, что они произведены правильно, остаётся предположение, что допущена ошибка в отсчётах углов.

В таком случае необходимо вычислить скорость и направление ветра в данном промежутке времени по отсчетам как одного, так и другого пунктов.

Если ход направлений, а главным образом скоростей ветра, будет ровным, без резких скачков, то изменения в ходе вертикальных

скоростей соответствуют действительности и, следовательно, ошибки в наблюдениях и вычислениях нет. Если же ветер в данном промежутке времени имеет беспорядочный ход, повторяющий столь же беспорядочный ход вертикальных скоростей шара-пилота, т. е. если для промежутков с большими вертикальными скоростями получаются и большие скорости ветра и наоборот, то следует считать, что допущена ошибка в отсчетах.

В некоторых случаях замечается систематическое большое расхождение высот в одну сторону, начиная с какой-либо минуты. В этом случае возможен на одном из пунктов пропуск отсчетов и смещение их по времени, что бывает, при перерывах в наблюдениях в случаях закрытия шара.

Для проверки необходимо сделать вычисления по формуле приближенного равенства:

$$\sin \alpha \operatorname{ctg} \delta \approx \sin \beta \operatorname{ctg} \gamma. \quad (5.17)$$

Для синхронных измерений вычисленные произведения примерно равны. Проверку правильности проведения наблюдения и обработки проводят по плавному ходу вертикальных скоростей. Остаётся решить: был ли пропущен отсчёт на первом пункте или имеется смещение отсчётов на втором пункте.

При определении высот, а следовательно, и вертикальных скоростей шара-пилота, по базисным наблюдениям, могут встретиться два положения, при которых вести тригонометрические вычисления высот невозможно, а именно:

- 1) когда наблюдения на одном из пунктов прекращены ранее окончания наблюдений на другом пункте;
- 2) когда пользование значениями полученных углов приводит к большим погрешностям в вычислении высот.

В таких случаях нужно руководствоваться следующими правилами.

1. Базисным методом нужно вычислять высоты включительно до той минуты, до которой это позволяют наблюдения и указанные выше допуски.

2. Если базисные вычисления возможны лишь до 300 м и менее, то по последней базисной вертикальной скорости производится обработка до 800 м, а далее до конца наблюдений по теоретической.

3. Если базисные вычисления возможны до высот более 300 м, но менее 1500 м, то до высоты 1500 м вычисления вести по последней базисной вертикальной скорости. Начиная с этой высоты

вычисления вести по теоретической вертикальной скорости до конца наблюдений.

4. Если базисные вычисления возможны до высоты 1500 м и более, то, начиная с этой высоты, вычисления вести по теоретической вертикальной скорости до конца наблюдений.

5. Если базисные вычисления возможны лишь за 0,5 мин, то вся обработка ведется по теоретической вертикальной скорости.

5.11. Вычисление высот средин слоёв

Из бланка вычисления высот в графу четыре бланка наблюдений первого пункта переносят для соответствующих минут вычисленные высоты, в графу пять – вертикальные скорости, в графу шесть – отклонения вычисленных вертикальных скоростей от теоретической. Затем по вертикальным скоростям промежутков, вычисляются промежуточные высоты и их также записывают в графу четыре.

Высоты средин слоев вычисляются для каждого временно-го промежутка. До трех минут полета шар-пилота – через 0,5 мин, с 3-й мин до 10-й – через минуту, далее до 40-й – через 2 мин и дальше до конца наблюдения через 4 мин. Высоты средин слоев вычисляются путем сложения начальной и конечной высоты шар-пилота для данного промежутка времени с последующим делением на 2.

5.12. Определение скорости и направления ветра

Нанесение проекций шара-пилота на круг Молчанова (А-30) производится точно так же, как при обработке наблюдений с одного пункта.

Определение скорости и направления ветра в слоях между соседними проекциями шара-пилота производится аналогично обработки наблюдений с одного пункта. Все различие заключается в том, что к полученным по кругу направлениям нужно прибавить азимут базы.

Эту поправку можно вводить, и не производя арифметических действий, а учитывать непосредственно на круге Молчанова. Для этого следует отсчеты направлений на круге делать не по концам диаметров с отметками 0, 90, 180 и 270°, а по специальным меткам,

отнесенным вправо от этих отметок на число градусов, равное азимуту базы. В этом случае нужно быть особенно внимательным, чтобы не перепутать метки, по которым следует делать отсчеты направлений ветра.

Если наблюдения на первом пункте закончились раньше, чем на втором, то с момента окончания наблюдений на первом пункте обработка ветра производится по углам второго пункта. Если в наблюдениях первого пункта имеются перерывы, в то время как на втором пункте их нет, то обработка в этих промежутках производится также по углам второго пункта. Как в первом, так и во втором случаях обработка по углам второго пункта отличается от обработки по углам первого пункта лишь тем, что при нанесении проекций на круг нужно брать высоты шара-пилота над теодолитом второго пункта.

В случае пропуска ряда отсчетов на первом пункте с самого начала наблюдений, обработку необходимо вести по углам второго пункта, руководствуясь следующими правилами:

1) если на первом пункте пропущено менее 7 мин, то вертикальную скорость за пропущенный промежуток нужно взять среднюю базисную, получаемую путем деления первой вычисленной высоты на число минут, прошедших с момента выпуска;

2) если же пропущено 7 мин и более, то вся обработка ведется по теоретической вертикальной скорости;

3) проекции по углам второго пункта наносятся так же, как и по углам первого пункта, лишь высоту шара нужно брать над теодолитом второго пункта;

4) направления и скорости ветра определяются точно так же, как и по углам первого пункта, при этом нельзя получить скорость и направление в промежутке между моментом выпуска и первым отсчетом (между центром круга и первой проекцией). Высота середины слоя для этого промежутка записывается в колонки 7 и 8 бланка наблюдений, относящиеся же к ней данные в колонках девять и десять прочеркиваются.

В случаях наблюдения за шар-пилотом, выпускаемым за 50–200 м от теодолита первого пункта, нанесение проекций на круг Молчанова следует начинать с нанесения на круг места выпуска. Это относится и к наблюдениям с одного пункта при аналогичных условиях.

По результатам обработки вычисляются скорости и направления ветра для стандартных уровней.

5.13. Содержание отчета

1. Аэрологическая книжка с данными базисных шар-пилотных наблюдений.
2. Бланки обработки данных базисных шар-пилотных наблюдений.
3. Графики профилей скорости и направления ветра, построенные по данным базисных шар-пилотных наблюдений.
4. Телеграмма по коду КН-03, составленная по данным базисных шар-пилотных наблюдений.
5. Письменные ответы на контрольные вопросы.

5.14. Контрольные вопросы

1. В чем отличие в организации проведения однопунктных и базисных шар-пилотных наблюдений?
2. В чем отличие в обработке данных однопунктных и базисных шар-пилотных наблюдений?
3. Какое количество баз используется для проведения базисных шар-пилотных наблюдений?
4. Как производится разбивка баз для проведения базисных шар-пилотных наблюдений?
5. Для каких целей используется демаркационный график Зайчикова?

5.15. Приложения

Приложение 5.1

Бланки аэрологической книжки для базисных шар-пилотных наблюдений

Шар-пилот № _____

Дата _____
(число, месяц, год)

Время _____ час _____ мин _____ час _____ мин
(мест. ср. солнечное) (москов. декрет)

Оболочка № _____ Вес оболочки _____ г Вес фонарика _____ г
Свободн. подъёмн. сила _____ г Длина окружн. _____ см Попр. множитель _____
Вертикальная скорость _____ м/мин Испр. на плотность _____ м/мин
Давление _____ гПа Температура: по сухому _____, по смочен. _____
Влажность относит. _____ %

База № _____ Пункт № _____
 Высота теодолита первого пункта над уровнем моря _____ м.
 Длина базы _____ м. Азимут _____,
 Расстояние между пунктами _____ м.
 Второй пункт _____ первого на _____ м.
 Вертикальный угол на второй пункт _____.

Ветер на стандартных высотах

Км	Направление	Скорость
над поверхностью земли		
0,1		
0,2		
0,3		
0,5		
0,6		
0,9		
над уровнем моря		
0,5		
1,0		
1,5		
2		
3		
4		
5		
5,5		
6		
7		
8		
9		
10		

Проверка теодолита № _____

Угол	До подъёма			После подъёма		
	на-водка	пере-кидка	Δ	на-водка	пере-кидка	Δ
горизонт.						
вертик.						

	Облачность кол-во общ. ниж. и форма	Ветер (по флюгеру) направл. и скорость
До подъёма		
После подъёма		

Причина прекращения наблюдений _____
 Шар скрылся в _____ направлении. Форма и высота облаков, в которые вошёл шар (по моменту «туманится»): над поверхностью земли _____, над уровнем моря _____.
 Наблюдал и обработал _____ (фамилия). Проверил _____ (фамилия, дата).

Поправки K_α (K_β) = _____, $\Delta\delta$ ($\Delta\gamma$) = _____.

Ми-нуты	Угол		Высота шара над поверх. земли	Верти-кальная ско-рость	ΔW	Высота середины слоя		Ветер	
	гори-зонталь-ный	верти-каль-ный				над по-верх. земли	над уровнем моря	на-прав-ление	ско-рость
0,5									
1,0									
1,5									
2,0									
2,5									
3									
4									

Ми- нуты	Угол		Высота шара над поверх. земли	Верти- кальная ско- рость	ΔW	Высота середины слоя		Ветер	
	гори- зонталь- ный	верти- каль- ный				над по- верх. земли	над уровнем моря	на- прав- ление	ско- рость
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									

Приложение 5.2

Пример заполнения аэрологической книжки
после проведения базисных шар-пилотных наблюдений в пунктах № 1 и № 2

Шар-пилот № 1–1

Наименование станции **Пункт № 1**

Дата 16.06.1990 час 15 минута 50

Оболочка № 30

Вес оболочки 76 г. Свободная подъемная сила 199 г. Длина окружности _____ см.
 Вертикальная скорость _____ м/мин. Поправочный множитель _____.
 Исправленная на плотность _____ м/мин.

Давление _____ мм, 1010 гПа.
 Температура: по сухому 19,8 по смоченному 14,2 °С.
 Влажность: относительная 54 %, абсолютная _____ гПа.

База № 1 Пункт № 1

Высота теодолита над уровнем моря 105.
 Длина базы 376 , азимут 285 , расстояние между пунктами _____ , разность высот пунктов 0 , вертикальный угол на другую базу _____ .

Проверка теодолита № _____ .

Угол	До подъёма			После подъёма		
	на-водка	пере-кидка	Δ	на-водка	пере-кидка	Δ
Горизон-тальный	0,1	180,0		0,0	180,0	
Верти-кальный	0,0	180,0		0,0	180,0	

Облачность: количе-ство общ/нижн. и форма

Ветер (по флюгеру): на-правление и скорость

До подъёма	После подъёма
3/0 Ac	3/0 Ac
270-2	270-2

Ветер на стандартных высотах

Км	Направ-ление	Ско-рость
над поверхностью земли		
0,1		
0,2		
0,3		
0,5		
0,6		
0,9		
над уровнем моря		
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
3,0		
4,0		
5,0		
5,5		
6,0		
7,0		
8,0		
9,0		
10,0		

Причина прекращения наблюдений _____

Шар скрылся в _____ направлении. Форма и высота облаков, в которые во-шёл шар (по моменту «туманится»): над поверхностью земли _____ , над уров-нем моря _____ .

Подписи наблюдателей _____

Момент выпуска _____ Поправки _____
(Время среднее солнечное)

Ми- нуты	Угол		Высота шара над поверх. земли	Верти- кальная ско- рость	ΔW	Высота середины слоя		Ветер	
	гори- зонталь- ный	верти- каль- ный				над по- верх. земли	над уровнем морья	на- прав- ление	ско- рость
0,5	169	40,8							
1,0	166	41							
1,5	162,6	46,4							
2,0	165,8	51,9							
2,5	168,7	55,6							
3	168	62,3							
4	178,9	69,3							
5	169,6	71,6							
6	157,4	70,7							
7	144,6	71							
8	137,7	72,8							
9	133,8	76,2							
10	134,1	80,8							
11	148	84,1							
12	165,4	87,2							
13	93,9	83,1							
14	79,6	76,8							
15	76,3	72,4							
16	75,4	67,7							
17	72,3	62,3							
18	68,3	57,3							
19	65,2	52,1							
20	63,9	47,9							
21	63	42,5							

Шар-пилот № 1–2

Наименование станции **Пункт № 2**

Дата 16.06.1990 час 15 минута 50

Оболочка № 30

Вес оболочки 76 г. Свободная подъемная сила 199 г. Длина окружности _____ см.

Вертикальная скорость _____ м/мин. Поправочный множитель _____.

Исправленная на плотность _____ м/мин.

Давление _____ мм, 1010 гПа.

Температура: по сухому 19,8 по смоченному 14,2 °С.

Влажность: относительная 54 %, абсолютная _____ гПа.

База № 1 Пункт № 2

Высота теодолита над уровнем моря 105.

Длина базы 376, азимут 285, расстояние между пунктами _____, разность высот пунктов 0, вертикальный угол на другую базу _____.

Проверка теодолита № _____.

Угол	До подъёма			После подъёма		
	на-водка	пере-кидка	Δ	на-водка	пере-кидка	Δ
Горизонтальный	180,0	0,0		180,0	0,0	
Вертикальный	0,0	180,0		0,0	180,0	

Облачность: количество общ/нижн. и форма

Ветер (по флюгеру): направление и скорость

До подъёма	После подъёма
3/0 Ac	3/0 Ac
270-2	270-2

Ветер на стандартных высотах

Км	Направление	Скорость
над поверхностью земли		
0,1		
0,2		
0,3		
0,5		
0,6		
0,9		
над уровнем моря		
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
3,0		
4,0		
5,0		
5,5		
6,0		
7,0		
8,0		
9,0		
10,0		

Причина прекращения наблюдений _____.

Шар скрылся в _____ направлении. Форма и высота облаков, в которые вошел шар (по моменту «туманится»): над поверхностью земли _____, над уровнем моря _____.

Подписи наблюдателей _____.

Момент выпуска _____ Поправки _____
(Время среднее солнечное)

Ми-нуты	Угол		Высота шара над поверх. земли	Вертикальная скорость	ΔW	Высота середины слоя		Ветер	
	горизонтальный	вертикальный				над по-верх. земли	над уровнем моря	на-правление	ско-рость
0,5	177,3	11,8							
1,0	174,6	18,8							
1,5	172,3	25,1							
2,0	173,4	30,7							

Вычисляют высоты для 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 20, 30 и т.д. через 10 мин.
 α , β – горизонтальные углы на первом и втором пунктах соответственно, δ , γ – вертикальные углы на первом и втором пункте.

Поправки $\Delta\delta$ или $\Delta\gamma = \frac{180 - (H_B + \Pi_B)}{2}$, где $\Delta\delta$ – к вертикальным углам на первом пункте, $\Delta\gamma$ – к вертикальным углам на втором пункте, H_B – отсчёт вертикального угла при наводке, Π_B – отсчёт вертикального угла при перекидке.

K_α или $K_\beta = \frac{(\Pi_\Gamma - H_\Gamma) - 180}{2}$, где K_α – коллимационный угол первого теодолита, K_β – коллимационный угол второго теодолита, Π_Γ – отсчёт горизонтального угла при перекидке, H_Γ – отсчёт горизонтального угла при наводке.

Поправки $\Delta\alpha = K_\alpha \left(\frac{1}{\cos \delta} - 1 \right)$ – для углов первого пункта, $\Delta\beta = K_\beta \left(\frac{1}{\cos \gamma} - 1 \right)$ – для углов второго пункта.

$$\text{Проекция вертикальных углов } \delta' = \left| \arctg \frac{\text{tg } \delta}{\cos \alpha} \right|, \quad \gamma' = \left| \arctg \frac{\text{tg } \gamma}{\cos \beta} \right|.$$

$|\delta' \pm \gamma'|$ берётся $\alpha < 90^\circ$, когда и $\beta > 90^\circ$, или $270^\circ < \alpha \leq 360^\circ$ и $180^\circ \leq \beta < 270^\circ$ при всех других углах $|\delta' - \gamma'|$.

Переходят с проектирования на горизонтальную плоскость на проектирование на вертикальную плоскость если:

- а) α или β больше 358° или меньше 2° , или больше 178° , но меньше 182° ;
- б) $|\alpha - \beta|$ меньше 4° или больше 176° ;
- в) при δ или γ больше 88° .

При значениях δ или γ меньше 2° , а также при значениях $|\alpha - \beta|$ и одновременно $|\delta' \pm \gamma'|$ меньше 4° вычисление высот не производится ни по одной формуле.

Приложение 5.3

Шар-пилот № _____ . Дата _____ . Время _____ час _____ мин.

Проектирование на горизонтальную плоскость

Минуты																			
α																			
β																			
$ \alpha - \beta $																			
δ																			
γ																			
H_δ																			
H_γ																			
$H_\gamma \pm h$																			

H_{cp}									
W_b									
$\Delta W = W_b - W$									

$$H_{\delta} = b \left| \frac{\sin \beta}{\sin |\alpha - \beta|} \operatorname{tg} \delta \right|; \quad H_{\gamma} = b \left| \frac{\sin \alpha}{\sin |\alpha - \beta|} \operatorname{tg} \gamma \right|, \text{ где } b - \text{длина базы.}$$

Если второй пункт выше первого, то $H_{\gamma} + h$, иначе $H_{\gamma} - h$.

Проектирование на вертикальную плоскость

Минуты									
α									
δ									
δ'									
β									
γ									
γ'									
$\delta' \pm \gamma'$									
$\gamma' \pm \varepsilon$									
H									
W_b									
$\Delta W = W_b - W$									

$$H = c \left| \frac{\sin \delta' \sin (\gamma' \pm \varepsilon)}{\sin |\delta' \pm \gamma'|} \right|, \text{ где } c - \text{расстояние между пунктами базы, } \varepsilon - \text{вертикаль-}$$

ный угол под которым виден теодолит второго пункта с первого пункта, h – разность высот пунктов.

Горизонтальные углы	Первый пункт выше второго	Первый пункт ниже второго
$90^\circ < \beta < 270^\circ$	$ \gamma' - \varepsilon $	$ \gamma' + \varepsilon $
$\beta < 90^\circ$ или $\beta < 270^\circ$	$ \gamma' + \varepsilon $	$ \gamma' - \varepsilon $

Приложение 5.4

Относительные ошибки в вычислении высот шара в зависимости от величины углов $|\alpha - \beta|$ или $|\delta' \pm \gamma'|$ при точности теодолита $0,1^\circ$

$ \alpha - \beta $ или $ \delta' \pm \gamma' $	%	$ \alpha - \beta $ или $ \delta' \pm \gamma' $	%	$ \alpha - \beta $ или $ \delta' \pm \gamma' $	%
1	179	31	149	61	119
2	178	32	148	62	118

$\alpha - \beta$ или $ \delta' \pm \gamma' $		%	$\alpha - \beta$ или $ \delta' \pm \gamma' $		%	$\alpha - \beta$ или $ \delta' \pm \gamma' $		%
3	177	6,64	33	147	0,54	63	117	0,18
4	176	4,98	34	146	0,52	64	116	0,17
5	175	3,98	35	145	0,50	65	115	0,16
6	174	3,31	36	144	0,48	66	114	0,15
7	173	2,83	37	143	0,46	67	113	0,15
8	172	2,48	38	142	0,44	68	112	0,14
9	171	2,20	39	141	0,43	69	111	0,13
10	170	1,97	40	140	0,41	70	110	0,12
11	169	1,79	41	139	0,40	71	109	0,11
12	168	1,64	42	138	0,39	72	108	0,11
13	167	1,51	43	137	0,37	73	107	0,10
14	166	1,40	44	136	0,36	74	106	0,09
15	165	1,30	45	135	0,35	75	105	0,09
16	164	1,21	46	134	0,34	76	104	0,08
17	163	1,14	47	133	0,32	77	103	0,07
18	162	1,07	48	132	0,31	78	102	0,07
19	161	1,01	49	131	0,30	79	101	0,06
20	160	0,96	50	130	0,29	80	100	0,05
21	159	0,91	51	129	0,28	81	99	0,05
22	158	0,86	52	128	0,27	82	98	0,04
23	157	0,82	53	127	0,26	83	97	0,04
24	156	0,78	54	126	0,25	84	96	0,03
25	155	0,75	55	125	0,24	85	95	0,02
26	154	0,71	56	124	0,23	86	94	0,02
27	153	0,68	57	123	0,23	87	93	0,01
28	152	0,65	58	122	0,22	88	92	0,01
29	151	0,63	59	121	0,21	89	91	0,00
30	150	0,60	60	120	0,20	90	90	

Относительные ошибки в вычислении высот шара в зависимости от величины горизонтальных углов α или β при точности теодолита $0,1^\circ$

α или β		%	α или β		%	α или β		%
1	179	9,97	31	149	0,29	61	119	0,10
2	178	4,98	32	148	0,28	62	118	0,09
3	177	3,32	33	147	0,27	63	117	0,09
4	176	2,49	34	146	0,26	64	116	0,08
5	175	1,99	35	145	0,25	65	115	0,08
6	174	1,66	36	144	0,24	66	114	0,08

α или β		%	α или β		%	α или β		%
7	173	1,42	37	143	0,23	67	113	0,07
8	172	1,24	38	142	0,22	68	112	0,07
9	171	1,10	39	141	0,21	69	111	0,07
10	170	0,99	40	140	0,21	70	110	0,06
11	169	0,90	41	139	0,20	71	109	0,06
12	168	0,82	42	138	0,19	72	108	0,06
13	167	0,75	43	137	0,19	73	107	0,05
14	166	0,70	44	136	0,18	74	106	0,05
15	165	0,65	45	135	0,17	75	105	0,05
16	164	0,61	46	134	0,17	76	104	0,04
17	163	0,57	47	133	0,16	77	103	0,04
18	162	0,54	48	132	0,16	78	102	0,04
19	161	0,51	49	131	0,15	79	101	0,03
20	160	0,48	50	130	0,15	80	100	0,03
21	159	0,45	51	129	0,14	81	99	0,03
22	158	0,43	52	128	0,14	82	98	0,02
23	157	0,41	53	127	0,13	83	97	0,02
24	156	0,39	54	126	0,13	84	96	0,02
25	155	0,37	55	125	0,12	85	95	0,02
26	154	0,36	56	124	0,12	86	94	0,01
27	153	0,34	57	123	0,11	87	93	0,01
28	152	0,33	58	122	0,11	88	92	0,01
29	151	0,31	59	121	0,10	89	91	0,00
30	150	0,30	60	120	0,10	90	90	0,00

Относительные ошибки в вычислении высот шара в зависимости от величины вертикальных углов $\delta(\delta')$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$) при точности теодолита $0,1^\circ$

$\delta(\delta)$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$)		%	$\delta(\delta')$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$)		%	$\delta(\delta')$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$)		%
1	89	9,94	16	74	0,66	31	59	0,40
2	88	4,97	17	73	0,62	32	58	0,39
3	87	3,31	18	72	0,58	33	57	0,38
4	86	2,50	19	71	0,56	34	56	0,37
5	85	2,00	20	70	0,54	35	55	0,37
6	84	1,67	21	69	0,52	36	54	0,37
7	83	1,44	22	68	0,50	37	53	0,36
8	82	1,33	23	67	0,48	38	52	0,36
9	81	1,13	24	66	0,47	39	51	0,36

$\delta(\delta)$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$)		%	$\delta(\delta')$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$)		%	$\delta(\delta')$ или $\gamma(\gamma')$ ($\gamma' \pm \varepsilon$)		%
10	80	1,02	25	65	0,45	40	50	0,35
11	79	0,93	26	64	0,44	41	49	0,35
12	78	0,86	27	63	0,43	42	48	0,35
13	77	0,79	28	62	0,42	43	47	0,35
14	76	0,74	29	61	0,41	44	46	0,35
15	75	0,70	30	60	0,40	45	45	0,35

Приложение 5.5

Пример представления и обработки данных
базисных оптических шар-пилотных наблюдений

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1														
2	вертикальная скорость =			200			длина базы =			376				
3														
4														
5	время	скорость	направление		вертикальная		высота	первый пункт		второй пункт				направление
6		ветра	ветра		скорость			азимут	угол мест	азимут	угол места			полета
7	0,5	7	224		202 г		101	44	25,7	147	20,6			44
8	1	6	233		192 г		197	48,2	26,9	111,9	32,2			53
9	1,5	9	232		208 г		301	49,7	24,6	84,4	30,8			52
10	2	7	237		198 г		400	51,5	24,8	76,4	29,8			57
11	2,5	12	230		197 г		498,5	51	22,1	67,5	25,8			50
12	3	9	216		190 г		593,5	48,4	21,7	61,1	25			36
13	4	12	240		194 г		787,5	52,1	19,7	60,7	21,6			60
14	5	10	227		206 г		993,5	51	19,6	57,6	21,1			47
15	6	16	244		194 г		1187,5	54,3	17,6	59,3	18,6			64
16	7	19	258		191 г		1378,5	59,8	16	63,8	16,6			78
17	8	18	255		191 н		1569,5	62,6	15	65,9	15,4			75
18	9	18	255		210 н		1779,5	64,5	14,4	67,4	14,7			75
19	10	18	253		197 н		1976,5	65,6	13,9	68,2	14,2			73
20	11	19	257		191 н		2167,5	67,1	13,4	69,3	13,6			77
21	12	20	255		194 н		2361,5	68	12,9	69,9	13,1			75
22	13	23	265		192 н		2553,5	70	12,4	71,7	12,5			85
23	14	25	265		194 н		2747,5	71,7	11,9	73,3	12			85
24	15	27	265		198 н		2945,5	73,1	11,4	74,6	11,4			85
25	16	27	261		200 н		3145,5	73,9	10,9	75,2	11			81
26	17	30	250		207 н		3352,5	73,5	10,5	74,7	10,6			70
27	18	29	267		209 н		3561,5	74,7	10,2	75,8	10,3			87
28	19	28	257		205 н		3766,5	74,9	10	75,9	10			77
29	20	29	264		193 н		3959,5	75,6	9,7	76,5	9,7			84
30	21	28	268		197 н		4156,5	76,4	9,5	77,2	9,5			88
31	22	31	264		205 н		4361,5	76,9	9,3	77,7	9,3			84
32	23	30	261		198 н		4559,5	77,2	9,1	77,9	9,1			81
33	24	8	229		194 н		4753,5	76,7	9,4	77,5	9,4			49
34	25	8	221		202 н		4955,5	76,2	9,6	76,9	9,6			41
35	26	9	249		202 н		5157,5	76,1	9,8	76,8	9,9			69
36	27	6	259		195 н		5352,5	76,1	10,1	76,8	10,1			79
37	28	5	246		196 н		5548,5	76	10,3	76,7	10,4			66
38	29	7	208		207 н		5755,5	75,4	10,6	76,1	10,6			28
39	30	5	246		194 н		5949,5	75,3	10,9	76	10,9			66

Раздел 2. Радиотехнические методы зондирования атмосферы

Лабораторная работа № 6. Проверка технических характеристик радиозонда МРЗ-3а с помощью комплекта измерительных приборов аэрологической станции (КИПАС) и контрольная выдержка радиозонда в помещении

Цель работы: изучить устройство и принцип работы радиозонда МРЗ-3а, основы конструкции, расчёт параметров температуры и влажности с помощью статистических характеристик преобразователя (СХП) радиозонда. Получить практические навыки проверки основных параметров радиозонда МРЗ-3а. Провести в лаборатории выдержку радиозонда перед выпуском.

Материалы для работы:

- 1) радиозонд МРЗ-3а с этикетками;
- 2) комплект измерительной аппаратуры аэрологической станции (КИПАС);
- 3) аспирационный психрометр, барометр-анероид, психрометрические таблицы.

6.1. Теоретические сведения

Малогобаритный радиозонд типа МРЗ-3а выпускается в нескольких исполнениях в зависимости от назначения и вида элементной базы. На рис. 6.1 приведен его внешний вид (слева) и механическая часть первого радиозонда, изобретенного русским ученым-метеорологом П.А. Молчановым (справа).

Малогобаритный радиозонд типа МРЗ-3а предназначен для преобразования значений основных параметров атмосферы (температуры T и влажности U) в радиотелеметрический сигнал с использованием частотной манипуляции частоты суперирования



Рис. 6.1 Радиозонды: *а* – внешний вид радиозонда МРЗ-Зак; *б* – механическая часть радиозонда Молчанова

передатчика радиозонда с частотой 600 кГц или 800 кГц, принимаемых радиопеленгационным метеорологическим комплексом РПМК-1, а также для выработки ответного сигнала на запросный сигнал.

Радиозонд, имеющий в своем составе датчики температуры и влажности, работает следующим образом. Электронный коммутатор поочередно подключает к измерительному преобразователю датчики температуры и влажности с изменяющимися сопротивлениями (R_T , R_U) и совместно с ними постоянное опорное сопротивление R_{on} , или только R_{on} .

Измерительный преобразователь является преобразователем типа «сопротивление-частота». Следовательно, на входе измерительного преобразователя (ИП) поочередно действуют три различных сопротивления R_{on} ; $R_T + R_{on}$; $R_U + R_{on}$, и в соответствии с этим на выходе измерительного преобразователя образуются три импульсные последовательности с частотами F (периодами $Q = 1/F$) следования – опорная F_{on} (Q_{on}), температурная F_T (Q_T), влажности F_U (Q_U). Эти частоты (периоды) следования представляют собой коды метеопараметров. Такими импульсами модулируется высокочастотное излучение СВЧ-автогенератора радиозонда, работающего на несущей частоте $f_n = 1780 \pm 8$ МГц. Очередность передачи информации в цикле: опорная – температура – влажность – температура – опорная.

На рис. 6.2 представлена функциональная схема радиозонда МРЗ-3а. На этом рисунке использованы следующие обозначения: ДТ – датчик температуры воздуха, ДУ – датчик относительной влажности воздуха, R_{on} – опорное сопротивление, ЭК – электронный коммутатор, ИП – измерительный преобразователь метеорологических датчиков, ФИ – формирователь импульсов, ГСИ – генератор

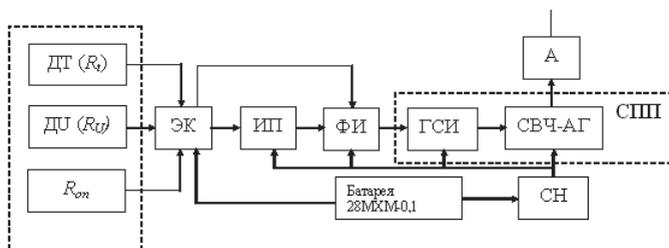


Рис. 6.2. Функциональная схема радиозонда МР3-3а (обозначения в тексте)

суперирующих импульсов, СВЧ-АГ – автогенератор сверхвысоких колебаний, СН – стабилизатор напряжения и тока, СПП – сверхрегенеративный приёмо-передатчик, А – антенна.

В качестве датчика температуры используется полупроводниковый терморезистор ММТ-1, в качестве датчика влажности – деформационный гигрометр.

Измерительный преобразователь с помощью электронного коммутатора последовательно подключает метеорологические датчики и опорный резистор и осуществляет преобразование электрического сопротивления $R_{оп}$, R_t , R_u в периоды следования импульсов $Q_{оп}$, Q_t , Q_u .

Формирователь импульсов служит для увеличения длительности передаваемых по радиоканалу импульсов, что позволяет сузить спектр сообщений и тем самым повысить помехоустойчивость радиотелеметрического канала. Одновременно формирователь вырабатывает признак канала в передаваемом сообщении. Это достигается путём изменения длительности выходных импульсов формирователя, когда электронный коммутатор осуществляет последовательное переключение каналов метеоинформации: опорный канал или каналы температуры и влажности.

Автогенератор сверхвысоких колебаний является автогенератором сверхвысоких частот и совмещает функции высокочувствительного приёмника и генератора (передатчика). Как высокочувствительный приёмник автогенератор принимает запросный радиоимпульсам от передатчика наземного радиопеленгационного комплекса, что приводит к его включению. После своего включения автогенератор сверхвысоких колебаний начинает функционировать как передатчик и вырабатывает активный ответ радиозонда. Этот активный ответ принимается наземным радиопеленгационным комплексом по каналу дальности для определения расстояния от комплекса до радиозонда.

Генератор суперлирующих импульсов вырабатывает прямоугольные импульсы частотой следования 800 кГц или 600 кГц, обеспечивающие работу СВЧ-АГ в сверхрегенеративном режиме.

Техническими характеристиками радиозонда МРЗ-3А являются:

- 1) несущая частота 1782 ± 8 МГц;
- 2) плотность потока мощности $1,5 \cdot 10^{-3}$ Вт/м²;
- 3) частота следования суперлирующих импульсов 775–825 кГц;
- 4) чувствительность к запросным импульсам: –60 дБ;
- 5) девиация частоты следования суперлирующих импульсов в пределах 11–17 кГц;
- 6) диапазон изменения периодов следования импульсов преобразователя метеорологических датчиков: $Q_{оп}$ 1450–1790 мкс, Q_i 1500–60000 мкс, Q_u 1525–2500 мкс;
- 7) длительность интервала измерения одного канала от 5 до 8 с;
- 8) очерёдность передачи информации в цикле «опорная – температура – влажность – температура – опорная».

Сертификат статистических характеристик преобразователя радиозонда МРЗ-3А состоит из трёх этикеток.

Вид сертификата радиоблока представлен на рис. 6.3. Здесь помещенные в его начале символы ***** указывают на то, что это сертификат радиоблока; между символами 0* *0 первые две цифры (36 или 38) указывают на частоту суперации (600 или 800 кГц), следующие цифры – это заводской номер; между символами

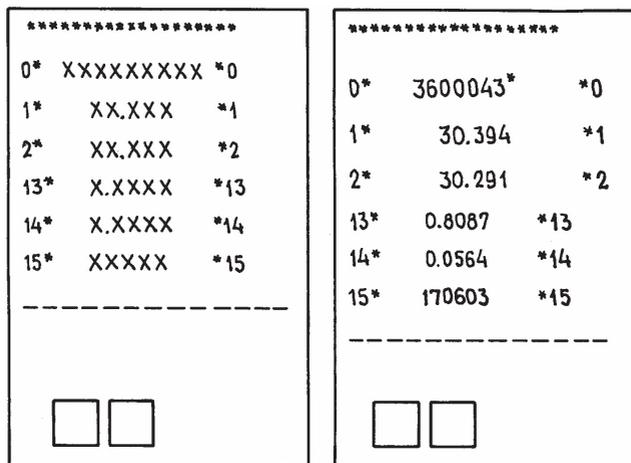


Рис. 6.3. Сертификат радиоблока

1*.....*1 – коэффициент R01, кОм; между символами 2*.....*2 – коэффициент R02, кОм; между символами 13*.....*13 – значение Y-параметра при 7,3 кОм; между символами 14*.....*14 – значение Y-параметра при 510 кОм; между символами 15*.....*15 – дата калибровки.

Вид сертификата термистора (датчика температуры) представлен на рис. 6.4. Здесь помещенные в его начале две строчки символов * указывают на то, что это сертификат термистора; затем идет следующая информация: 6*.....*6 – заводской номер;

6*	XXXXX	*6
7*	X.XXXXX	*7
8*	XXXXX.X	*8
9*	XX.XX	*9
15*	XXXXXX	*15

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

6*	00051	*6
7*	0.00830	*7
8*	6273.0	*8
9*	153.03	*9
15*	080503	*15

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рис. 6.4. Сертификат термистора

5*	XXXXXX	*5
10*	XXX.X	*10
11*	XX.XX	*11
12*	X.XXX	*12
15*	XXXXXXXX	*15

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

5*	00070	*5
10*	159.7	*10
11*	-6.89	*11
12*	0	*12
15*	060803	*15

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рис. 6.5. Сертификат датчика влажности

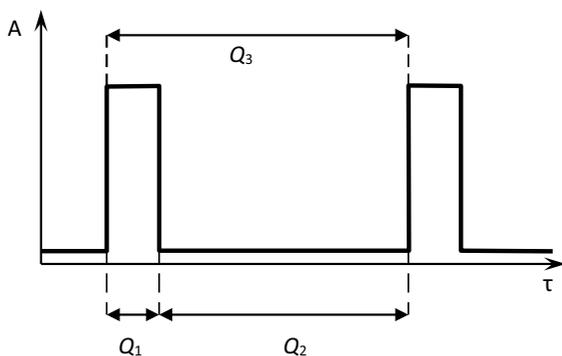


Рис. 6.6. Структура периодов метеосигнала

7*.....*7 – коэффициент А, Ом; 8*.....*8 – коэффициент В, °С;
 9*.....*9 – коэффициент С, °С; 15*.....*15 – дата калибровки.

На рис. 6.5 представлен сертификат датчика влажности, о чем свидетельствуют три строчки символов *. На этом сертификате 5*.....*5 – заводской номер; 10*.....*10 – коэффициент К, %; 11*.....*11 – коэффициент N, %/кОм; 12*.....*12 – коэффициент М, %/кОм2; 15*.....*15 – дата калибровки.

Информация о значениях температуры и влажности содержится в параметрах частотно-модулированного радиотелеметрического сигнала. Последовательность суперирующих импульсов является сигналами, частота следования которых принимает два значения, отличающихся на величину девиации в пределах 11–17 кГц. Эти изменения частоты суперирующих импульсов определяются воздействием импульсов измерительного преобразователя метеорологических датчиков на ГСИ, период повторения которых зависит от параметров T и U .

Структура периодов метеосигналов приведена на рис. 6.6.

Диапазон периодов, несущих информацию о значениях метеопараметров и длительности импульсов, определяющих тип параметра, приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Диапазоны периодов метеосигнала

Канал	Значения периодов телеметрического сигнала (мкс)	
	Q_1	Q_3
Опорный	200–300	1445–1785
Температуры	435–765	1560–58880
Влажности	435–765	1525–2565

Низкий уровень метеосигнала кодируется частотой ~ 792 кГц, высокий уровень сигнала кодируется частотой ~ 808 кГц. Значение девиации частот $\sim 11-17$ кГц.

Пользуясь данными градуировки и коэффициентами для термистора (A, B, C) и для датчика влажности (K, N, M), определяют температуру и относительную влажность:

$$T = \frac{B}{\ln \left(\frac{\frac{Q_t R_{01}}{Q_{on}} - R_{02}}{A} 10^3 \right)} - C - 273,15, \quad (6.1)$$

$$U = K + N \left(\frac{Q_u R_{01}}{Q_{on}} - R_{02} \right) + M \left(\frac{Q_u R_{01}}{Q_{on}} - R_{02} \right)^2, \quad (6.2)$$

где Q_{on} , Q_t , Q_u – периоды импульсов телеметрических данных опорных, температуры и влажности соответственно.

Давление определяется по барометрической формуле:

$$P = P_0 e^{\frac{g \Delta h}{R \bar{T}_v}}, \quad (6.3)$$

где P_0 – атмосферное давление на нижнем уровне слоя; Δh – толщина слоя; \bar{T}_v – средняя виртуальная температура в слое; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; $R = 287,052$ Дж/(кг·К) – удельная газовая постоянная сухого воздуха.

Скорость и направление ветра определяются по измеренным координатам радиозонда (горизонтальному углу α , вертикальному углу β и наклонной дальности D).

Перед выпуском каждый радиозонд проходит проверку. Она состоит из трёх этапов:

- 1) внешний осмотр, проверка номеров радиоблока, датчиков температуры и влажности и сборка радиозонда;
- 2) проверка технических характеристик;
- 3) контрольная выдержка.

При внешнем осмотре проверяется отсутствие механических повреждений радиоблока, датчика температуры, относительной влажности и давления в зависимости от комплектации радиозонда. Проводится сверка номеров радиоблока и датчиков с номерами,

указанными в сертификатах. Затем производится подключение датчиков к радиоблоку.

Проверка технических характеристик радиозонда проводится с помощью КИПАСа и радиолокационной станции.

6.2. Порядок выполнения

1. Провести внешний осмотр датчиков. Собрать радиозонд согласно схеме (рис. 6.7) без подключения батареи.

2. Подключить приборы, входящие в состав КИПАСа, согласно схеме (рис. 6.8). Стенд СП-1М служит для коммутации измерительных приборов и контроля потребляемых радиозондом токов – рис. 6.9.

Источник питания обеспечивает необходимыми напряжениями питания радиозонд во время проверки. Резонансный частотомер Ч2-9А предназначен для измерения несущей частоты радиозонда. С помощью электронно-счётного частотомера ЧЗ-33 измеряются периоды импульсов телеметрических данных и частота суперизации, а также порядок следования передаваемых данных. Запросчик З-2М и осциллограф С1-76 позволяют наблюдать ответную паузу радиозонда в передаче данных, возникающую под воздействием запросного импульса.

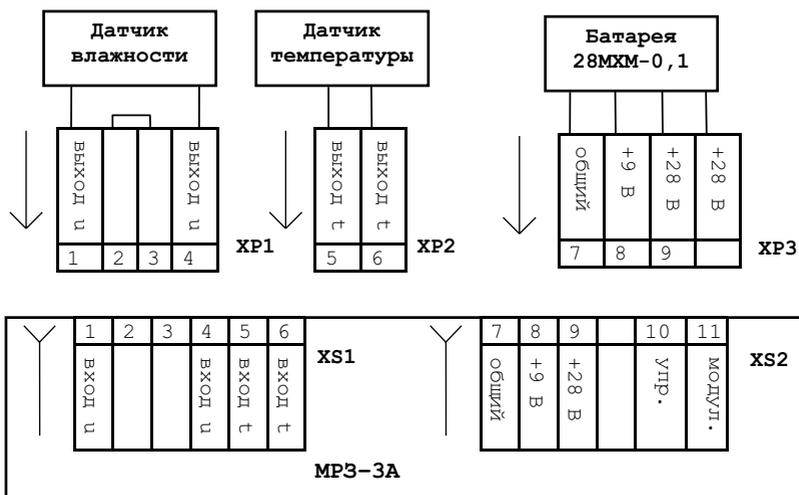


Рис. 6.7. Соединение датчиков температуры, влажности и источника питания с радиозондом МРЗ-3а

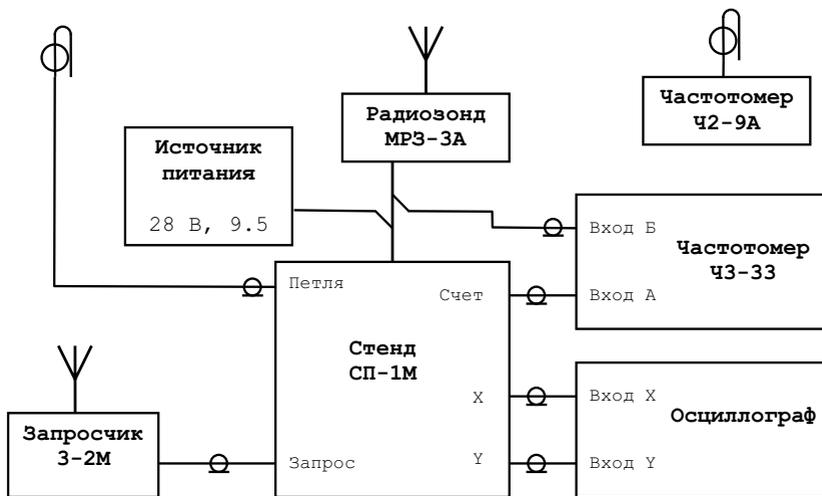


Рис. 6.8 Схема подключения радиозонда МРЗ-3а к КИПАСу



Рис. 6.9. Проверка электронного блока радиозонда на КИПАС

На стенде СП-1М установить тумблер «Опорная–Магазин» в положение «Магазин», а тумблер «Контр.6,1В – Контр.2,4В» в положение «Контр.2,4В».

3. Включить тумблеры «СЕТЬ» на стенде СП-1М и источник питания. Тумблеры «195 В», «6,4 В», «2,4 В» на стенде СП-1М **включать категорически запрещается!** Подключить вилку питания к соответствующему разъему на радиоблоке. Проверить потребляемые токи для напряжений питания радиозонда, они должны находиться для напряжения 9,5 В – в пределах 20–30 мА, для напряжения 28 В – в пределах 30–50 мА.

4. С помощью резонансного частотомера проверить несущую частоту. Для этого включить питание частотомера ЧЗ-9. Вращая ручку настройки, добиться максимального отклонения стрелки на измерительном приборе. Если стрелка зашкаливает, то ручками аттенуатор и усиление уменьшить чувствительность прибора. По градуировочным таблицам частотомера определить значение несущей частоты. Она должна быть 1782 ± 8 МГц.

5. По электронно-счётному частотомеру определить значение частоты суперизации. Включить частотомер ЧЗ-33. На стенде СП-1М поставить переключатель в положение «МОДУЛ». На частотомере переключатель «Рода работ» поставить в положение « F_A », а переключатель «Время измерения» в положение «1с». Отсчитать значение частоты и сравнить с данными сертификата на радиоблок. Вторая цифра номера радиоблока показывает частоту суперизирующих импульсов: 8 означает 800 кГц, а 6 – 600 кГц. Радиоблок годен при значениях частоты, не превышающих ± 25 кГц от указанной в сертификате.

6. На частотомере ЧЗ-33 снять значения периодов частот $Q_{оп}$, Q_t , Q_u , Q_t . Для этого установить переключатель «Рода работы» в положение « T_b », а переключатель «Время измерения» – в положение «1μс». Проследить последовательность подключения опорного сопротивления, датчиков температуры и влажности. Радиозонд бракуется, если отсчитанные значения не входят в интервалы в опорном канале ($Q_{оп}$) от 1445 до 1785 мкс, в температурном канале (Q_t) от 1560 до 58880 мкс, в канале влажности (Q_u) от 1525 до 2565 мкс. За время не более 6 с на табло частотомера после $Q_{оп}$ должен появиться период температуры Q_t , а после Q_t – период влажности Q_u . Если по истечении 6 с периоды $Q_{оп}$, Q_t , Q_u , Q_t не появляются, то радиозонд бракуется.

7. Проверить качество и глубину провала ответной паузы радиозонда на запросный импульс. На стенде СП-1М переключатель

поставить в положение «ОТВЕТ». Включить осциллограф и запросчик. На осциллографе ручкой стабилизации добиться устойчивого ответного сигнала на экране. Наблюдать провал в сигнале радиозонда. Он должен составлять не более 1 мкс и не менее 2/3 от амплитуды сигнала. Выключить запросчик, осциллограф и частотомеры.

8. Провести контрольную выдержку в помещении. Для этого провести измерения температуры и относительной влажности в помещении, где находится радиозонд. Смочить батист и включить вентилятор аспирационного психрометра. Через 3–4 мин произвести отсчёт показаний аспирационного психрометра ($t_{\text{сух}}$, $t_{\text{см}}$). Снять значение давления по барометру-анероиду и ввести поправки. Определить относительную влажность (u_a) по психрометрическим таблицам.

Одновременно с измерениями по аспирационному психрометру с помощью частотомера ЧЗ-33 определить периоды $Q_{\text{оп}}$, Q_t , Q_u . Выполнить расчёты температуры ($t_{\text{p/3}}$) и относительной влажности ($u_{\text{p/3}}$), измеренной радиозондом по формулам, используя соответствующие коэффициенты из сертификатов данного радиозонда. Вычислить разность температуры $\Delta t = t_{\text{сух}} - t_{\text{p/3}}$ и относительной влажности $\Delta u = u_a - u_{\text{p/3}}$, измеренных радиозондом и метеорологическими приборами. Сравнить их с допустимыми значениями: $|\Delta t| \leq 1,8 \text{ }^\circ\text{C}$; $|\Delta u| \leq 15 \text{ \%}$. При соблюдении данных условий радиозонд годен для температурно-ветрового зондирования, в противном случае он бракуется.

6.3. Содержание отчёта

1. Краткое описание методики поверки радиозонда.
2. Результаты проверки электрических характеристик радиозонда МРЗ-3а.
3. Оценка годности радиозонда к выпуску.
4. Письменные ответы на контрольные вопросы, содержащиеся в п. 6.4

6.4. Контрольные вопросы

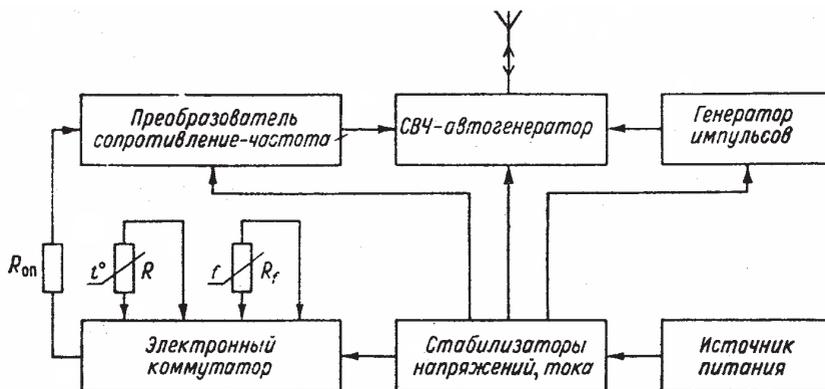
1. Сколько и каких датчиков содержит радиозонд МРЗ-3а?
2. Какая информация содержится в сертификатах радиозонда МРЗ-3а?

3. Что является датчиком температуры в радиозонде МРЗ-3а?
4. Что является датчиком влажности в радиозонде МРЗ-3а?
5. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется электронный коммутатор?
6. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется измерительный преобразователь метеорологических датчиков?
7. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется формирователь импульсов?
8. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется генератор суперирующих импульсов?
9. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется автогенератор сверхвысоких колебаний?
10. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется сверхрегенеративный приёмо-передатчик?
11. Для чего в радиозонде МРЗ-3а используется антенна?

6.5. Приложения

Приложение 6.1

Упрощенная функциональная блок-схема радиозонда



Приложение 6.2



Рис. Пб.1. Запуск радиозонда во дворе института (ЛГМИ). 1975 г.



Рис. Пб.2. Последний запуск радиозонда с крыши 1-го корпуса РГГМУ, 02.06.2009

Лабораторная работа № 7.

Включение и функциональный контроль радиолокационной станции РПМК-1, контрольная выдержка радиозонда МРЗ-3а перед выпуском

Цель работы: получить практические навыки по включению, выполнению функционального контроля радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1 (Радиопеленгационный метеорологический комплекс, образец № 1) и производству контрольной выдержки радиозонда перед выпуском.

Материалы для работы:

- 1) радиолокационная станция температурно-ветрового зондирования РПМК-1;
- 2) радиозонд МРЗ-3а с батареей 28МХМ-0,1;
- 3) комплект поверочной аппаратуры КИПАС.

7.1. Функциональный контроль радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1

При подготовке к комплексному зондированию атмосферы с целью быстрой (в течение нескольких минут) проверки работоспособности систем проводится автоматизированный функциональный

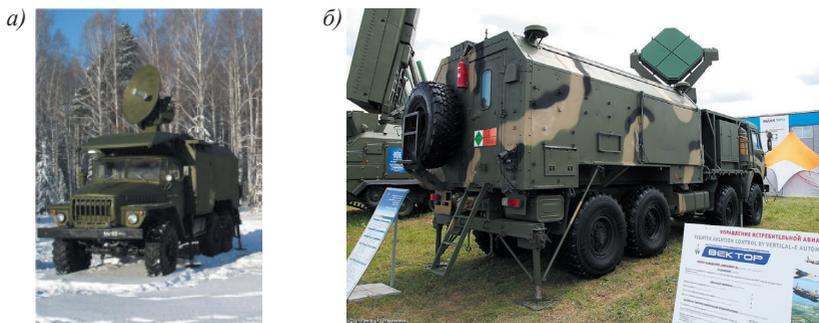


Рис. 7.1. Передвижная радиолокационная станция температурно-ветрового зондирования: а) РПМК-1; б) модернизированная РПМК



Рис. 7.2. Пульт БЩ6.02 РПМК-1

контроль (АФК) аппаратуры. Режим АФК задается с пульта оператора и проводится в следующих случаях:

- при зондированиях по решению начальника станции, а также, если промежутки времени между зондированиями более 24 ч;
- при проверках технического состояния аппаратуры в межрегламентный период и при технических обслуживаниях;
- при поиске неисправностей

После включения аппаратуры радиолокатора проводится тестовый контроль автоматического вычислительного устройства (АВУ), вызываемый последовательным нажатием на пульте БЩ6.02 кнопок «Сброс АВУ» и «Тесты» (см. рис. 7.2).

В ходе тестового контроля осуществляется проверка блоков памяти ЭВМ, работоспособность вычислительного устройства ЭВМ, возможность обмена информацией между ЭВМ и видеоконтрольным устройством (ВКУ), между ЭВМ и алфавитно-цифровым печатающим устройством (АЦПУ).

Если аппаратура, проверяемая в режиме тестового контроля, исправна, автоматически устанавливается режим «Ожидание» (на экране ВКУ появляется кадр «Ожидание», см. рис. 7.3). Если в результате тестового контроля АВУ выявилась неисправность, с БШ.6.02 (см. рис. 7.2) выдается длительный звуковой сигнал, выключить который можно нажатием клавиши «Сброс АВУ». В этом случае по документации на ЭВМ осуществляется поиск и устранение неисправностей.

После нажатия на пульте БШ.6.02 кнопки «ФК» и пробела на экране монитора появится кадр режима функционального контроля (ФК) – рис. 7.4. Расшифровка параметров приведена в таблице 7.1.

По мере проведения ФК систем комплекса заполняется таблица, которая высвечивается на экране ВКУ. Параметры ФК появляются



Рис. 7.3. Вид экрана в режиме «Ожидание»



Рис. 7.4. Вид экрана в режиме «Функциональный контроль»

на экране по мере проведения соответствующих проверок. Время проведения ФК отображается за идентификатором «S». Общее время проведения ФК до появления на экране сообщения «СИСТЕМА ИСПРАВНА» или «СИСТЕМА НЕИСПРАВНА» не должно превышать 150 с.

Результирующее сообщение «СИСТЕМА ИСПРАВНА» выдается после окончания проверки всех систем. ФК начинается с проверки параметров системы Щ9 (первая колонка) и параметров «FS» и «FP» (см. рис. 7.4). В случае неисправности любого из этих параметров высвечивается «Щ9 НЕИСПР» (а при неисправном «FP» и

«Щ5 НЕИСПР») и дальнейшие проверки не проводятся. Если получено сообщение о неисправности любой другой системы, сразу выдается результирующее сообщение «СИСТЕМА НЕИСПРАВНА», а проверка продолжается до полного заполнения таблицы.

При проведении проверок в пеленгационном режиме отключаются проверки системы Щ5 (кроме «ФП»), Щ1 и АПЧП.

Во время ФК можно отпечатать любую информацию, набранную на клавиатуре ЭВМ (обычно это вид проводившейся проверки, номер станции, дата, фамилия оператора и т.д., которые необходимо выводить на печать при вводе в эксплуатацию, при техническом обслуживании, перед установкой на хранение и при снятии с хранения).

При получении сообщения «СИСТЕМА НЕИСПРАВНА» необходимо в первую очередь проверить правильность установки органов управления и повторить ФК. Если все операции были выполнены правильно и повторно получено сообщение «СИСТЕМА НЕИСПРАВНА», для окончательной оценки работоспособности аппаратуры необходимо провести ручной функциональный контроль (РФК).

Из режима ФК можно выйти в режим «Ввод» или «Ожидание».

С завершением АФК на АЦПУ печатается итоговая таблица. При сообщении о неисправности системы Щ9 проверка работоспособности радиолокатора прекращается. При возникновении случайных сбоев в системе автоматического контроля (САК) проводится повторное включение АФК. Если система Щ9 исправна, АФК продолжается до окончания проверки всех систем, контроль которых сопровождается информацией на ВКУ о соответствии значений основных параметров систем допустимым пределам и результирующим сообщением об исправности или неисправности каждой системы. Знак «-» справа от параметров при этом означает выход его значения за нижнюю границу допуска, знак «+» – за верхнюю границу допуска, а сообщение «НЕТ» вместо значения параметра означает, что параметр не поступил за отведенное время или неисправен соответствующий элемент системы.

При получении сообщения «СИСТЕМА НЕИСПРАВНА» необходимо проверить правильность установки органов управления, напряжение сети и повторить АФК через тесты АВУ.

После проведения АФК переходят в режим «Ввод данных» с предварительной распечаткой на АЦПУ даты и времени контроля, фамилии проводившего проверку и таблицы АФК. Отпечатанную

на алфавитно-цифровом печатающем устройстве ленту с таблицей ФК РПМК-1 и информацией о виде и дате проверки, с указанием должности и фамилии оператора следует хранить в формуляре меетеокомплекса.

В случае невозможности проведения зондирования для окончательной оценки работоспособности аппаратуры проводится ручной функциональный контроль и, в соответствии с инструкцией по эксплуатации, настройка систем, поиск и устранение неисправностей.

7.2. Подготовка батареи к выпуску

Батарея питания магний-хлористо-медная 28МХМ-0,1 водоналивного типа состоит из четырёх секций, скреплённых в один пакет. Три секции батареи соединены последовательно и образуют источник тока с номинальным напряжением 28 В. Четвёртая секция является источником тока с номинальным напряжением 9,5 В. Минусовые выводы источников 28 и 9,5 В объединены. Подключение батареи к радиоблоку осуществляется посредством четырёх проводов, оканчивающихся специальной вилкой, два штырька которой задействованы на 28 В, один на 9,5 В и один на «Общий минус». Напряжение батареи изменяется в процессе работы от 24,4 до 32,0 В и от 8,6 до 10,5 В.

Батарею 28МХМ-0.1 извлечь из полиэтиленового чехла и убедиться в отсутствии механических повреждений и надёжности пайки выводов.

Погрузить батарею в сосуд с водой температурой (25 ± 10 °С) на 6 мин. В сосуд с водой батарея погружается в вертикальном положении (четырёхштырьковой вилкой вверх) так, чтобы над батареей был слой воды не менее 5 см с целью ускорения проникновения воды батарею нужно слегка покачивать. После замачивания двухтрёх батарей вода в сосуде должна меняться.

После замачивания батарею извлечь из воды (излишек воды стряхнуть) и поместить в два полиэтиленовых мешка (прилагаются к батарее). Допускается хранение батарей до начала активации в замоченном состоянии в полиэтиленовом мешке не более 5 ч с момента слива воды. При этом мешок должен быть завязан на втулке ниткой.

Провести активацию батареи, подключив вилку батареи к колодке стенда формовки (МАРЗ-П5).

Приспособление для формовки батареи предназначено для предполётной активации источника питания радиозонда – батареи

28МХМ-0,1. Основными элементами приспособления для подготовки батареи являются резисторы, обеспечивающие необходимые режимы активации и контроля батарей, приборы контроля напряжений, используемые для индикации выходных напряжений подключаемой к приспособлению батареи. Включение нагрузки для активации батареи осуществляется тумблерами «+27 В» и «+9,5 В». Выбор работы приспособления (активация батареи или контроль напряжения батареи) осуществляется тумблером «Активация-контроль». Периодически контролировать напряжение в цепях батареи, для чего тумблер «Активация-контроль» устанавливают в положение «контроль». По мере достижения напряжения (для цепи 27 В – 24,4 В, для цепи 9,5 В – 8,6 В) отключить нагрузку.

После окончания формовки батареи каждый полиэтиленовый мешок завязать на резиновой втулке нитками. Допускается хранение батареи в активированном состоянии в полиэтиленовом мешке не более 2 ч, после чего допускается её дополнительная активация на рабочую нагрузку, но не более 15 мин.

Общее время формовки батареи (с момента её подключения к стенду формовки до достижения минимальных рабочих напряжений) не должно превышать 15 мин.

После формовки батареи подготовка радиозонда к выпуску подробно рассмотрена в лабораторной работе № 6.

7.3. Порядок работы на радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1

1. Органы управления основной аппаратуры (см. рис. 7.5 и 7.6) должны быть установлены в исходное положение, приведенное в табл. 7.2. Органы управления, не отмеченные в таблице, могут находиться в произвольном положении.

Таблица 7.2

Исходное положение органов перед включением

Местонахождение	Наименование органа управления	Положение	Примечание
БЩ 6.01	Тумблер «Автономное включение блоков»	Выкл.	Закрываются крышкой
	Тумблер «Местн. управл. Прд»	Выкл	То же

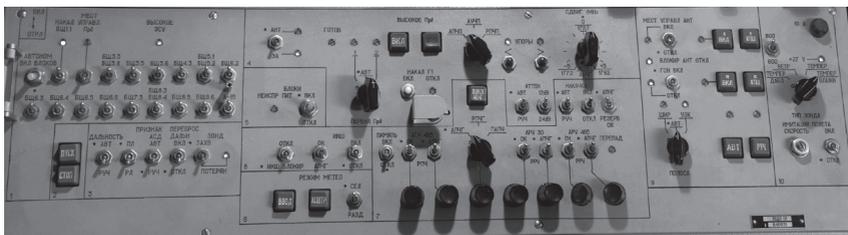


Рис. 7.5 Пульта БЩ6.01.

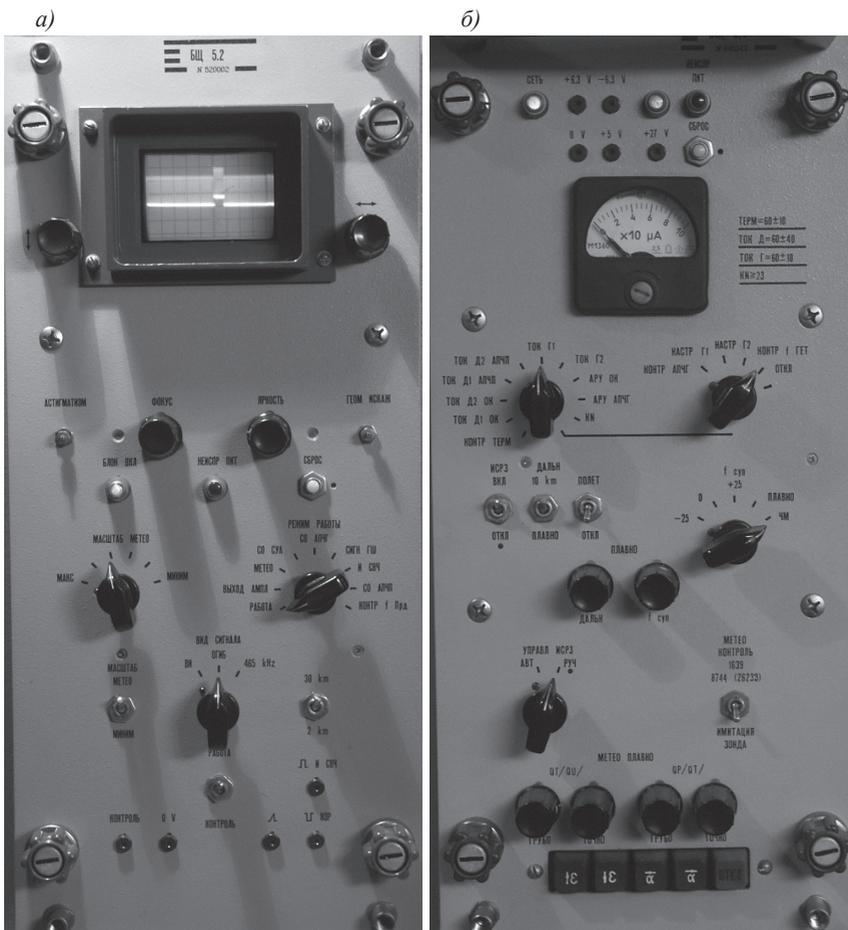


Рис. 7.6. Внешний вид блоков РПКМ-1: а) Блок БЩ5.2; б) Блок БЩ6.4

Местонахождение	Наименование органа управления	Положение	Примечание
	Кнопка «Пуск»	Отжата (нажатием кнопки «Стоп»)	Область 2
	Тумблер «Дальн. Авт-руч»	Руч.	Область 3
	Тумблер «РЛ-ПЛ»	РЛ	То же
	Тумблер «Признак АСД авт-руч»	Руч	
	Тумблер «Зонд захв-потерян»	потерян	
	Переключатель «Тип зонда»	В зависимости от типа зонда	Область 10
	Тумблер «600-800»	То же	То же
	Тумблер «АНТ-ЭА»	ЭА	Для проведения функционального контроля.
		АНТ	Для проведения контрольной выдержки и зондирования.
БЩ 5.2	Переключатель «Режим работы»	Работа	
	Переключатель «Вид сигнала»	Огиб.	
	Тумблер «Работа-контроль»	Работа	
БЩ 6.4	Тумблер «ИСРЗ вкл-выкл»	Откл.	
	Переключатель «Управл. ИСРЗ»	Ручн.	

2. Последовательность включения аппаратуры радиолокатора показана в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Последовательность включения аппаратуры радиолокатора

Местонахождение	Наименование органа управления	Положение	Примечание
БЩ 8.01	Кнопки «1-3», «2-3»	Нажать	Проверка напряжения по фазам
	Тумблер «Сеть»	Вкл.	
БЩ 6.01	Тумблер «Блоки»	Вкл.	
	ВКУ	Тумблер «Сеть»	Вкл.
	Тумблер «Раб-деж»	Раб.	
АЦПУ	Тумблер «Сеть»	Вкл.	
БЩ 6.01	Кнопки «Сброс АВУ», «Тесты»	Последовательно нажать	Подождать между нажатиями кнопок

Непосредственно после включения аппаратуры радиолокатора проводится тестовый контроль АВУ. Если аппаратура исправна, автоматически устанавливается режим «Ожидание».

Нажать пробел на клавиатуре и после появления диалогового меню на экране ВКУ выбрать режим работы по командам, нажав цифру 0 на клавиатуре.

Перейти в режим температурно-ветрового зондирования. Для этого на клавиатуре нажать кнопку «ВР» для перехода на верхний регистр и ввести команду КН04, закончив набор символом «точка».

3. Перед проведением автоматизированного функционального контроля органы управления необходимо установить в исходное положение согласно таблице 7.4.

Таблица 7.4

Порядок проведения автоматизированного функционального контроля

Местонахождение	Наименование органа управления	Положение	Примечание
БЩ 6.4	Переключатель «Управл. ИСРЗ»	Автоматич.	
БЩ 6.01	Гумблер «Дальн. авт-руч»	Авт.	Область 3
	Гумблер «Признак АСД авт-руч»	Авт.	Область 3
	Гумблер «ГОН»	Вкл.	Область 9
	Кнопки «а, е вкл»	Нажать	То же
	Кнопка «авт.»	Нажать	То же
	Кнопка «Высокое Прд» «Вкл»	Нажать	Область 4. Нажать после включения светодиода «Готов»
БЩ 6.02	Кнопка «ФК»	Нажать	

4. После нажатия на кнопки «ФК» и пробела на экране монитора появится кадр режима «ФК» (см. рис. 7.3). По мере проведения функционального контроля систем комплекса заполняется таблица, которая высвечивается на экране ВКУ.

Результирующее сообщение «СИСТЕМА ИСПРАВНА» выдается после окончания проверки всех систем ФК и на АЦПУ печатается итоговая таблица.

После проведения ФК отпечатать дату, фамилию и номер группы, набрав их на клавиатуре ЭВМ. Переход на верхний или нижний регистр производится клавишами «ВР» и «НР». Если начертание латинских и русских букв совпадает, то данную букву можно вводить на любом регистре. Во время ввода информации на экране ВУ



Рис. 7.7. Вид экрана в режиме «Ввод данных»

появляются вводимые символы. Пробел является командой отправки информации на АЦПУ.

Из режима ФК можно выйти в режим «Ввод данных» или «Ожидание».

Повернуть антенну на 0-00 ду (делений угломера), нажимая клавиши «<<<», «<>», «>>» или «>>>». Нажать «ВР» и набрать команду «АМ:23-50», закончив набор символом «точка».

5. Переход в режим «Ввод» производится нажатием клавиши «Ввод» на панели БЦ6.02. При этом на экране ВКУ появится изображение, показанное на рис. 7.7. На время ввода данных перевести в положение «Ручное» дальность и управление антенной, отключить ГОН и высокое напряжение передатчика.

В режиме «Ввод» производится ввод необходимых для проведения зондирования начальных данных. Номенклатура вводимых данных определяется видом зондирования и типом применяемого зонда. С клавиатуры вводятся (в любом порядке) параметры, приведенные в таблице 7.5.

Таблица 7.5

Расшифровка параметров режима «Ввод»

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Примечание
Текущее время	ВР	ч, мин	
Дата	ДТ		
Номер станции	NC		
Высота позиции над уровнем моря	Н0	м	Определяется по карте

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Примечание
Широта точки стояния станции	ШМ	град	Определяется по карте
Долгота точки стояния станции	ДМ	град	То же
Азимут ориентирования	АМ	ду	Вводится в режиме «Ожидание»
Наземная температура	T0	°С	Сообщается радиозондистом с точки выпуска зонда
Наземное давление	P0	мм	Измеряется барометром.
Наземная относительная влажность	U0	%	Измеряется психрометром или ДМК
Угловая высота Солнца	Z	град	Из таблицы
Скорость наземного ветра	V	м/с	
Направление наземного ветра	AV	град	
Код облачности	ОБЛ		
Дальность до точки выпуска	D0	м	
Угол места точки выпуска	E0	ду	
Азимут точки выпуска	A0	ду	
Коэффициенты терморезистора зонда	A,B,C		
Коэффициенты радиоблока	R1,R2		
Коэффициенты датчика влажности	K,N,M		

Внимание! Дальность, угол места и азимут точки выпуска (D0, E0, A0) с клавиатуры не вводить, так как при захвате радиозонда на автоматическое сопровождение они введутся автоматически.

Ввод значений параметров производится с клавиатуры пульта оператора БЩ6.02. Знак «+» не набирать.

При вводе значений **применять следующие правила:**

- ввести обозначение параметра (например, VP);
- ввести двоеточие;
- ввести значение параметра (например, для времени: 10-35);
- нажать точку – команда ввода параметра в память ЭВМ;
- если начертание латинских и русских букв совпадает, то данную букву можно вводить на любом регистре;
- переход на верхний или нижний регистр производится клавишами «VP» и «HP»;
- время (часы и минуты) вводится через тире;
- дата (день, месяц, две цифры года) вводится без знаков;

- западная долгота и южная широта вводятся с минусом;
- десятичный знак вводится как запятая.

Если при вводе значение параметра в наборе допущена ошибка, то следует откорректировать введенное значение и нажать клавишу «Точка». Для удаления введенных символов использовать клавишу «?».

Значение Z (угловая высота Солнца) определяется по таблице 7.6.

Таблица 7.6

Значения угловой высоты Солнца для местного среднесолнечного времени

Время суток, ч	Время года (месяцы)											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Широта 60°												
01, 23					-10	-6	-7					
02, 22					-8	-3	-5	-12				
03, 21				-12	-3	1	-1	-7				
04, 20				-6	2	6	5	-2	-12			
05, 19			-9	1	9	13	11	5	-5			
06, 18		-11	-2	8	16	20	19	12	3	-7		
07, 17	-11	-4	6	16	24	27	26	20	10	0	-9	
08, 16	-5	3	13	23	31	35	33	27	17	7	-2	-6
09, 15	1	9	19	30	38	42	40	34	24	13	4	-1
10, 14	5	13	24	35	44	48	46	39	29	18	8	3
11, 13	8	16	27	38	47	52	50	43	32	21	11	6
12	9	17	28	40	49	53	52	44	33	22	12	7

После заполнения всех параметров производится захват радиозонда. Для этого необходимо:

- включить высокое напряжение передатчика, нажав клавишу «Высокое Прд» на БЩ6.01.

- установить на БЩ6.01 тумблер «АНТ-ЭА» в положение «АНТ» и нажать клавиши «α ВКЛ», «ε ВКЛ»;

- навести антенну на зонд с помощью устройства ручного наведения (УРН) панели БЩ6.02 по α , ϵ , наблюдая снаружи кабины за положением антенны, при нахождении радиозонда на улице значение азимутального угла должно составлять 23-50 ду, а для радиозонда в помещении 53-00 ду;

- убедиться в появлении сигнала зонда и метеоимпульсов (установить на БЩ5.2 переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» в положение «МЕТЕО» и наблюдать на экране метеоимпульсы). Затем необходимо проверить захват радиозонда по угловым координатам при проведении контрольной выдержки на улице;

- на БЩ6.01 включить тумблер «ГОН» и нажать клавишу «АВТ»;
- антенна изделия 1Б44-1 смотрит в сторону радиозонда;
- отметка равносигнального направления внутри круговой шкалы на экране монитора колеблется около центра перекрестия;
- на экране БЩ5.2 наблюдается характерный сигнал радиозонда;
- навести визир дальности на ответную паузу радиозонда (кнопками на БЩ6.02).

Для ввода координат точки выпуска D_0 , E_0 , A_0 установить тумблер «Зонд захв-потерян» в положение «Захват».

Проверить, что на экране монитора ниже значений метеопериодов отображается температура и влажность, измеряемые зондом.

Сравнить значение температуры и влажности, измеренное зондом, с введенными значениями T_0 и U_0 . Разность показаний не должна превышать 1,8 °С и 15 %.

Если вышеуказанные условия не выполняются, проверить правильность ввода коэффициентов зонда и измерения температуры и давления. Проверить правильность сборки и подготовки зонда. Если все выполнено правильно, то необходимо заменить радиозонд.

В случае, если вышеуказанные условия выполняются, перейти к проверке градуировки зонда, для чего ввести с клавиатуры команду «ПГ». При этом на ленте принтера будет отпечатан результат проверки градуировки зонда (рис. 7.8).

Затем производится печать введенных начальных данных. Для этого необходимо набрать на клавиатуре команду «ПД» и проверить, что при этом произойдет отпечатывание на ленте АЦПУ начальных данных (рис. 7.9).

После завершения ввода и отпечатывания на АЦПУ результатов проверки градуировки радиозонда и начальных данных перейти в режим «Подготовка» (рис. 7.10) нажатием клавиши «Раб».

```

A X,XXXXX B XXXX,X C XXX,XXX R1 XX,XXX R2 XX,XXX
K -XX,X N XXXX,XX M -X,XXX

T0 -XX,X U0 XXX,X
ТВ -XX,X UB XXX,X
                                ЗОНД ИСПР

```

Рис. 7.8. Печать результатов проверки радиозонда типа ТВ

```

ДТ 110697 NC 28440 H0 265 ШМ 57 ДМ 61
АМ 39-45 ПА 24-00 D0 70 E0 00-20 A0 10-40
ГП -6 Z 44 ОБЛ 00900 V 7 AV 270
T0 15 U0 55 P0 748.0 мм = 997.3 мб

```

Рис. 7.9. Печать начальных данных



Рис. 7.10. Кадр экрана – режим «Подготовка»

Из режима «Подготовка» можно переходить в режим «Ввод» и обратно (например, для проверки правильности введенных данных).

6. Выключить станцию согласно таблице 7.7.

Таблица 7.7

Последовательность выключения аппаратуры радиолокатора

Местонахождение	Наименование органа управления	Положение	Примечание
БЩ 6.01	Кнопка «Высокое Прд» «Откл»	Нажать.	Область 4
	Тумблер «ГОН»	Откл.	Область 9
	Кнопка «руч.»	Нажать	То же
	Кнопки «д, е откл»	Нажать	То же
БЩ 6.01	Тумблер «Дальн. авт-руч»	Руч.	Область 3
	Тумблер «Признак АСД авт-руч»	Руч.	Область 3
	Кнопками уменьшения дальности установить дальность 0		Значение D в верхней строке экрана
БЩ 6.4	Переключатель «Управл. ИСРЗ»	Руч.	
АЦПУ	Тумблер «Сеть»	Откл.	
ВКУ	Тумблер «Сеть»	Откл.	
БЩ 6.01	Тумблер «Блоки»	Откл.	
БЩ 8.01	Тумблер «Сеть»	Вкл.	

7.4. Содержание отчёта

1. Итоговая таблица функционального контроля, полученная на АЦПУ.
2. Перечень параметров, подлежащих проверке при функциональном контроле с указанием результатов для каждой из проверяемых систем (расшифровать таблицу АЦПУ).
3. Результаты контрольной выдержки, полученные на АЦПУ.
4. Оценка годности радиозонда к выпуску.
5. Письменные ответы на контрольные вопросы, содержащиеся в п. 7.6.

7.5. Контрольные вопросы

1. Какие цели преследует выполнение функционального контроля радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1.
2. Какая информация содержится на ленте алфавитно-цифрового печатающего устройства после выполнения функционального контроля радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1.
3. Какая информация вводится с клавиатуры РПМК-1 в режиме «Ввод данных».

7.6. Приложение



Радиозонд МРЗ-3а



Первые минуты полета радиозонда после его предполетной подготовки

Лабораторная работа № 8. Обработка данных радиоветровых наблюдений, полученных с помощью системы комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы «РПМК-1 – МРЗ-3а»

Цель работы: приобретение навыков в обработке данных радиоветровых наблюдений, полученных с помощью системы комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы «РПМК-1 – МРЗ-3а».

Материалы для работы:

- 1) индивидуальное задание: распечатанный на принтере бланк с исходными данными – выдается преподавателем (см. Приложение 8.1);
- 2) бланки таблиц КАЭ-3 (см. Приложение 8.2), КАЭ-3а (см. Приложение 8.3);
- 3) миллиметровка, карандаш, линейка.

8.1. Исходные материалы

Вид фрагмента бланка с исходными данными представлен на рис. 8.1. Эти данные температурно-ветрового радиозондирования были получены 15 ноября 2003 г. за срок 12 ч. Зондирование выполнялось с помощью зонда № 73318 со станции 26063, высота которой над уровнем моря составляет 30 м; географические координаты станции: широта 60° с.ш., долгота 30° в.д. Давление воздуха составляло 1037,5 гПа, температура –7,2 °С, влажность – 74 %. В момент выпуска скорость ветра – 1 м/с, его направление – 190° (закодировано по коду КН-04: см. лабораторную работу № 12). Высота Солнца, определенная для данного выпуска, составляла 20°. Далее представлены коэффициенты из сертификатов радиозонда и исходные данные радиозондирования.

В нижней части таблицы (рис. 8.1) для определенных моментов времени (Т) в мин приводятся данные радиолокационного определения координат радиозонда: угла места (УМ.) и азимута (АЗМ)

MP3-3					
002.txt : Данные радиолокационного зондирования за 15-11-03, 12 час					
Зонд №: 73318		Станция №: 26063		Высота станции: 30 м	
Широта: 60°		Долгота: - 30°			
P = 1037.5 гПа		T = -7.2°C		U = 74 %	
Ветер: 19001		Высота Солнца: 20°			
Сертификат					
R01 = 30.480		R02 = 30.480		Qоп = 1600	
A = 0.32306		B = 3840.34		C = 82.075	
K = 120.2		N = -10.1		M = 0.2	
T [мин]	У.М.[ДУ]	АЗМ [ДУ]	Дальн [м]	T [мин]	Q [мкс]
0.5	5.97	6.19	1700	0.9	2504
1	6.31	4.07	2800	1.1	1782
1.5	6.81	5.11	5500	1.2	2404
2	7.32	5.31	7300	1.8	2415
2.5	7.00	5.76	9700	1.9	1470
3	8.06	6.34	11400	2.6	1983
4	8.85	7.22	15900	3.1	2469
.....

Рис. 8.1. Пример бланка с исходными данными зондирования (фрагмент)

в делениях угломера (ДУ), а также наклонной дальности (Дальн.) в метрах (м). 1 деление угломера равно 6°.

В правой части таблицы представлена телеметрическая информация, которая в дальнейшем потребуется при выполнении лабораторной работы № 9: определенные периоды (Q) для некоторых моментов времени (T). Это могут быть периоды для температуры Q_t , влажности Q_u или опорного сопротивления $Q_{оп}$, определенные для моментов резкого изменения соответствующих периодов: для датчика температуры могут определяться и дополнительные периоды, исходя из требования, чтобы временной интервал для измеряемого периода не превышал 1,5 мин. Зная возможные диапазоны изменения периодов телеметрических каналов для зонда MP3-3а, идентификация периодов, как правило, не вызывает трудностей.

Обработка данных радиозондирования состоит из двух основных частей:

- обработка радиоветровых наблюдений (лабораторная работа № 8);
- обработка данных радиотелеметрического канала (лабораторная работа № 9).

8.2. Обработка данных радиоветровых наблюдений

Обработку радиоветровых наблюдений следует выполнять в следующей последовательности.

Для обрабатываемых моментов времени (через 0,5 мин до 3-й мин. включительно; через 1 мин с 3-й до 10-й мин; через 2 мин с 10-й мин до 40 мин., через 4 мин с 40 мин до конца подъёма, включая последнюю минуту наблюдения) с компьютерного варианта задания записать в бланк КАЭ-3 соответствующие значения угла места (δ_i), азимутального угла (α_i) в делениях угломера и наклонной дальности (D_i) в метрах (см. рис. 8.2). При отсутствии координат радиозонда данные графы для этих моментов времени не заполняются.

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

$$(H_{п.з.})_i = D_i \sin(\delta_i), \quad (8.1)$$

где наклонная дальность (D_i) берется в метрах, а угол места (δ_i) – в делениях угломера (ДУ). Вычисленные значения ($H_{п.з.}$) $_i$, округленные до целых значений, записывают в соответствующую графу бланка КАЭ-3.

Поправку на рефракцию радиоволн следует рассчитывать, начиная с наклонной дальности (D_i), больше 20000 м. Для этого можно воспользоваться данными таблицы Приложения 8.4 или произвести ее расчет по формуле:

$$\Delta H_{рк} = 0,5887 \cdot 10^{-7} D_i^2. \quad (8.2)$$

Определяют высоту радиозонда над уровнем моря (H) $_i$, прибавляя к значениям ($H_{п.з.}$) $_i$ высоту станции над уровнем моря (H_0) и начиная с наклонной дальности больше 20000 м, поправку $\Delta H_{рк}$.

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. До 10-й минуты строится дополнительный график $H(t)$ в укрупнённом масштабе времени 1 см – 1 мин. Он используется для более точного снятия высот в первые минуты наблюдений. 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.

Радиозонд радиопилот _____ (тип радиозонда)
 (необязательно зачеркнуть) _____

Дата 12.08.1987 время _____ час. _____ мин. 20 час. 30 мин.
 (число, месяц, год) _____ (мест ср. солнц.) _____ (москв. декретн.) _____

Оболочка № _____ Подъёмная сила _____ гр.

Давление 1000.4 мб. Температура : по сухому 12.4°C по смочен. _____

Влажность относит. 85 %

Количество (общ. ниж.) и форма облаков _____

Метеорологические явления _____

Направление и скорость ветра (по флюгеру) 50° 2 м/с

Азимут места выпуска _____

Расстояние от радиотеодолита или радиолокатора до места выпуска _____ м.

Причина прекращения наблюдений _____

Мин.	Углы		Наклон. дальн.	Высота над поверх. земли	Коэффициент. Попр. на крив. земли и геобр. радиоволн.	Условная скор. Исправлен. высота рлиньота над ур. моря	Высота середины слоя		Ветер	
	Гориз.	Вертик.					над пов. земли	над уровн. моря	Направл.	Скорость
0.5	33-14	3-62	320	118		188	50	120	14	10
1.0	33-01	3-49	520	186		256	150	220	17	6
1.5	33-13	3-44	720	254		324	260	330	21	6
2.0	33-63	3-52	1020	368		438	360	430	28	10
2.5	34-12	3-72	1360	517		587	460	530	35	10
3	34-44	3-76	1580	608		676	570	640	38	8
4	34-87	3-99	1990	808		878	730	800	39	6
5	35-42	4-43	2280	1020		1090	930	1060	55	5
6	35-99	4-84	2560	1243		1313	1140	1210	72	4
7	36-21	5-09	2820	1433		1503		1420	51	3
8	36-42	5-51	3030	1653		1723		1620	27	2
9	35-91	5-99	3180	1867		1937		1830	333	1
10	35-53	6-33	3590	2209		2249				
12	34-49	6-81	4060	2656		2726		2240	351	3
14	33-08	7-44	4540	3180		3250		2920	313	4
16	31-26	7-29	5040	3670		3740		3470	303	6
18	29-36	7-71	5830	4212		4282		4020	309	8

Рис. 8.2 (Начало). Пример заполнения бланка таблицы КАЭ-3

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

$$X_i = D_i \cos(\delta_i, \delta) \cos(\alpha_i, \alpha),$$

Мин.	Углы		Наклон дально.	Высота над поверх. земли	Коэффициент. Попр. на крив. земли и рефр. разномолн.	Условная скор. Исправлен. высота р/пидота над ур. моря	Высота середины слоя		Ветер	
	Гориз.	Вертик.					над пов. земли	над уровн. моря	Направление.	Скорость
20	27-59	7-65	6630	4761		4831		4560	305	7
22	26-63	7-55	7500	5331		5401		5130	296	8
24	25-66	7-44	8500	5954		6024		5720	301	9
26	25-06	7-29	9480	6554		6624		6320	304	7
28	24-52	7-17	10480	7150		7220		6910	303	8
30	23-36	6-98	11580	7731		7801		7500	298	8
32	23-55	6-8	12780	8351		8421		8100	303	9
34	22-38	6-67	13960	8971		9041		8700	290	10
36	22-58	6-53	15120	9552		9622		9320	292	10
38	22-28	6-5	16170	10176		10246		9930	285	8
40	22-25	6-5	17120	10774		10844		10550	310	7
42	22-32	6-55	17880	11325		11395				
44	22-28	6-69	18650	12023		12093		11400	319	5
46	22-35	6-7	19350	12490		12560				
48	22-22	6-76	20140	13096	14	13180		12560	312	4
50	22-08	6-74	20920	13570	17	13657		13140	293	5
52										
54										
56										
58										
60										
62										
64										
66										
68										
70										
72										
74										
76										

Рис. 8.2 (Окончание). Пример заполнения бланка таблицы КАЭ-3

$$Y_i = D_i \cos(\delta_i, 6) \sin(\alpha_i, 6), \quad (8.3)$$

$$V_{i,i-1} = \frac{\sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}}{60(t_i - t_{i-1})}, \quad (8.4)$$

$$a_{i,i-1} = \arctg \left| \frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} \right|. \quad (8.5)$$

$$\begin{aligned}
 d_{i,i-1} &= 180^\circ + a_{i,i-1}, & \text{если } \Delta X > 0, \Delta Y > 0, \\
 d_{i,i-1} &= a_{i,i-1}, & \text{если } \Delta X < 0, \Delta Y < 0, \\
 d_{i,i-1} &= 360^\circ - a_{i,i-1}, & \text{если } \Delta X < 0, \Delta Y > 0, \\
 d_{i,i-1} &= 180^\circ - a_{i,i-1}, & \text{если } \Delta X > 0, \Delta Y < 0.
 \end{aligned}
 \tag{8.6}$$

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. Значения скорости и направления ветра относят к высоте середины слоя, пройденному радиозондом за соответствующий интервал времени. Середина слоя 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» заполняют до высоты 1000 м, вычитая из высоты середины слоя над уровнем моря высоту станции.

Расчет скорости и направления ветра можно произвести с использованием программы из файла «Шар-РКЗ.xls», инструкция по использованию которой дана в лабораторной работе № 3. Для обработки данных радиопилота после запуска этой программы в приведенном ниже диалоговом окне необходимо ввести цифру 2.

Вид информации и ее расположение на Листе 1 и Листе 2 программы «Шар-РКЗ.xls» иллюстрируют рисунки Приложения 8.5.

Полученные значения скорости и направления ветра, отнесенные к высотам середины слоев над уровнем моря, наносят на график, который строится в масштабе: по вертикали – 1 см ~ 1 км; по горизонтали – 1 см ~ 2 м/с, 1 см ~ 10°.

Для нижнего 3-х километрового слоя строят дополнительный профиль направления в масштабе по вертикали 1 см – 200 м, по

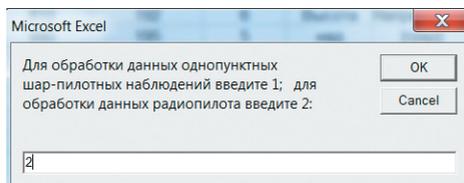


Рис. 8.3. Начальное диалоговое окно программы из файла «Шар-РКЗ.xls»

горизонтали 1 см – 10°. Первой точкой на графиках наносятся данные о скорости и направлении ветра на уровне станции (это высота H станции над уровнем моря). Все нанесенные точки последовательно соединяют прямыми линиями.

Пример графического представления зависимости скорости и направления ветра от высоты H представлен на рис. 8.4 и 8.5.

С построенных графиков снимают значения скорости и направления ветра на стандартных высотах, изобарических поверхностях, высотах особых точек, уровнях наибольшей 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°, а скорости ветра – до 5 м/с.

Особыми точками ветра являются начальная и конечная высота подъема, уровень максимальной скорости ветра, границы пропуска в наблюдениях. Уровнем максимального ветра считается слой атмосферы, расположенный выше изобарической поверхности 500 гПа (5500 м), где наблюдается скорость ветра, превышающая 30 м/с и

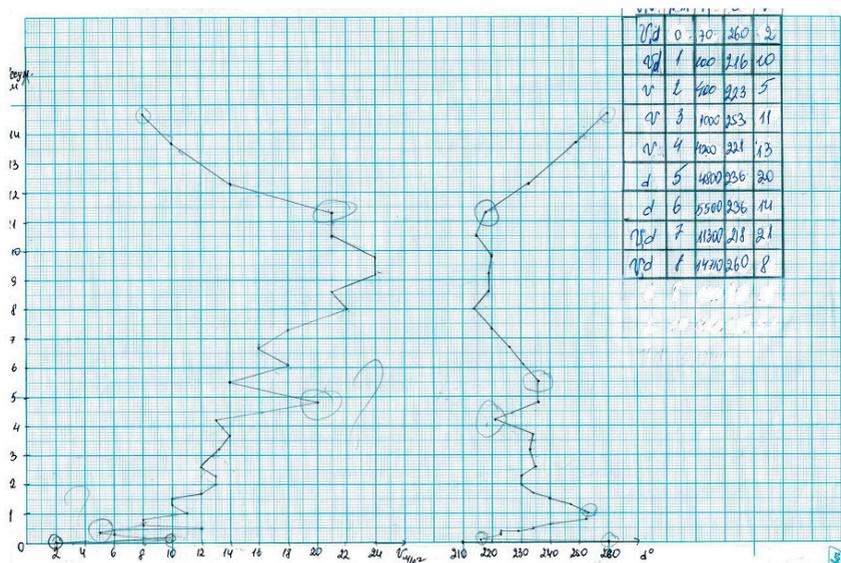


Рис. 8.4. Пример графического представления зависимости скорости и направления ветра от высоты H при использовании масштаба 1 см ~ 1 км (кружками отмечены особые точки, в таблице – информация об особых точках: вид, порядковый номер, высота, направление, скорость)

изменение скорости в двухкилометровом слое выше или ниже этого уровня больше 10 м/с. 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° .

Найденные значения скорости и направления ветра на стандартных высотах, высотах особых точек записывают в соответствующие графы бланка КАЭ-3а с точностью до целых.

Пример заполнения бланка таблицы КАЭ-3а представлен на рис. 8.6.

8.3. Содержание отчета

1. Заполненные в процессе проведения обработки данных ветрового зондирования атмосферы бланки таблиц КАЭ-3 и КАЭ-3а.
2. Графики данных ветрового зондирования атмосферы, построенные в соответствии с указанными в данной лабораторной работе рекомендациями.
3. Письменные ответы на контрольные вопросы.

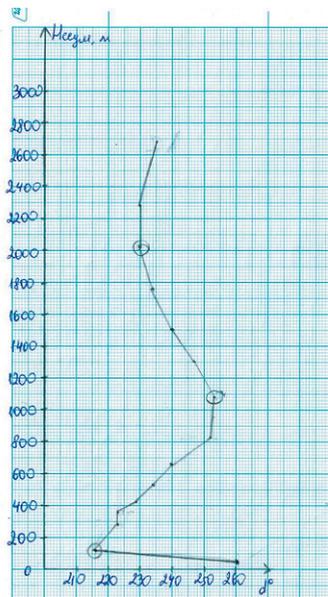


Рис. 8.5. Пример графического представления зависимости скорости и направления ветра от высоты H при использовании масштаба 1 см \sim 200 м (кружками отмечены особые точки)

Радиозонд радионнот № 27469
(неужное зачеркнуть) (тип радиозонда)Дата 12.08.1987
(число, месяц, год)

Время 20 час. 30 мин. час. мин.

Ветер на стандартных высотах

км	направл.	скор.	км	направл.	скор.	км	направл.	скор.
Над поверхностью земли			9,0	294	10	28		
0,1	16	9	10	288	8	29		
0,2	19	6	11	315	6	30		
0,3	24	4	12	315	5	31		
0,5	36	9	13	298	5	32		
0,6	38	8	14			33		
0,9	53	5	15			34		
			16			35		
Над уровнем моря			17			36		
0,5	33	10	18			37		
1,0	53	5	19			38		
1,5	42	3	20			39		
2,0	341	2	21			40		
3,0	312	4	22			41		
4,0	309	8	23			42		
5,0	288	8	24			43		
6,0	302	8	25			44		
7,0	303	8	26			45		
8,0	302	9	27			46		

Термический ветер

Слой	d	V
900 – 500 мб		
500 – 300 мб		
900 – 300 мб		

Общие точки,
слой и тропопауза

	h	d	V
0	30	260	2
1	300	260	2
2	1120	230	13
3	2000	230	13
4	8480	220	21
5	8640	220	22
6	1180	220	23
7	11940	220	23
8	12560	220	22
9	10890	220	22
10	11000	220	22

Рис. 8.6. Пример заполнения таблиц бланка КАЭ-3а

8.4. Контрольные вопросы

1. Какие РЛС используются для слежения за радиозондом МРЗ-3а?
2. Что является датчиком скорости и направления ветра в отечественных радиозондах МРЗ-3а?
3. Какой метод определения наклонной дальности использует в радиозонде МРЗ-3а?
4. Какие метеопараметры определяются по координатам радиозонда МРЗ-3а?

5. В какой стране и каком году был запущен первый радиозонд?
6. Начиная с какого значения наклонной дальности, вводится поправка на рефракцию и кривизну Земли при обработке данных радиозондирования атмосферы?
7. Что является датчиком характеристик ветра в радиозондах МРЗ-3а?

8.5. Приложения

Приложение 8.1

Бланк с данными комплексного температурно-ветрового зондирования

020_d.txt Данные радиолокационного зондирования за 07-07-1987, 21 час.					
Зонд №: 0	Станция №: 26063	Высота станции: 70 м			
Широта: 60°	Долгота: -30°				
P = 1001.1 гПа	T = 13.4 °C	U = 85 м			
Ветер: 26002	Высота Солнца: 10°				
* Сертификация *	R01 = 30.480	R02 = 30.480	Q0n = 1600		
	A = 0.05999	B = 4599.02	C = 99.037		
	K = 134.9	N = -13.5	M = 0.29		
T [мин]	У.М. [ДУ]	АЭМ. [ДУ]	Дальн [м]	T [мин]	Q [мкс]
0.5	5.04	6.13	350	0.4	1582
1	4.93	6.58	550	0.6	2028
1.5	4.45	6.72	700	0.9	2035
2	4.24	7.21	900	1.6	1813
2.5	4.19	7.81	1250	2.1	2077
3	4.21	8.32	1540	3.4	1814
4	4.27	9.36	2020	3.8	2102
5	4.17	10.10	2710	4.6	1854
6	3.87	10.31	3350	5.5	2128
7	3.77	10.29	4070	6.1	2140
8	3.69	10.11	4820	6.5	1883
9	3.61	9.94	5680	7.7	2197
10	3.56	9.74	6480	8.3	2219
12	3.48	9.51	8030	8.4	1583
14	3.42	9.38	9650	8.5	2029
16	3.34	9.32	11550	9.4	2234
18	3.25	9.01	13160	10.1	2175
20	3.17	8.99	15680	10.5	2284
22	3.17	9.08	17640	11.5	2319
24	3.15	9.01	19870	11.7	2182
26	3.06	8.88	22030	12.3	2327
28	3.05	8.65	24190	13.2	2357
30	2.98	8.35	26650	13.5	2133
32	2.92	8.21	29320	14.1	1586
34	2.84	8.05	32180	14.2	2398
36	2.78	7.91	35170	14.5	2417
38	2.75	7.77	37890	15	2029
40	2.75	7.70	40570	15.5	2473
44	2.82	7.78	44020	16.5	2535
48	2.96	7.98	46640	17	1850
50	3.01	8.12	47710	17.1	1588
				17.2	2562
				18.4	2684
				18.7	1884
				19	2721
				19.2	1589
				19.3	2735
				19.7	2790
				20.5	1855
				20.6	1592
				20.7	2894
				21.5	2948
				22.1	1819
				22.5	3131
				23.5	1593
				23.6	1593
				23.8	1819
				25	1596
				25.1	3492
				25.4	1824
				26.6	1598
				26.7	3825
				27	1818
				27.7	1600
				27.8	4119
				28.5	4305
				28.7	1821
				29.5	4584

Приложение 8.2

Бланк ТАЭ-3

КАЭ-3

Радиозонд радиопилот _____
(ненужное зачеркнуть) (тип радиозонда)

Дата _____ время _____ час. _____ мин. _____ час. _____ мин.
(число, месяц, год) (мест ср. солнеч.) (москов. декретн.)

Оболочка № _____ Подъёмная сила _____ гр.

Давление _____ мб. Температура: по сухому _____ по смочен. _____

Влажность относит. _____ %

Количество (общ. ниж.) и форма облаков _____

Метеорологические явления _____

Направление и скорость ветра (по флюгеру) _____

Азимут места выпуска _____

Расстояние от радиотеодолита или радиолокатора до места выпуска _____ м.

Причина прекращения наблюдений _____

Мин.	Углы		Наклон. дальн.	Высота над поверх. земли	Коэффициент. Попр. на крив. земли и рефр. рдиоволн.	Условная скор. Ис-правлен. высота р/пилота над ур. моря	Высота середины слоя		Ветер	
	Гориз.	Вертик.					над пов. земли	над уровн. моря	Направл.	Скорость
0,5										
1,0										
1,5										
2,0										
2,5										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
...										
74										
75										
76										

Приложение 8.3.

Бланк ТАЭ-3а

КАЭ-3а

Радиозонд радиопилот _____
(ненужное зачеркнуть) (тип радиозонда)

Дата _____
(число, месяц, год)

Время _____ час. _____ мин. _____ час. _____ мин.

Ветер на стандартных высотах

км	направл.	скор.	км	направл.	скор.	км	направл.	скор.
Над поверхностью земли			9,0			28		
0,1			10			29		
0,2			11			30		
0,3			12			31		
0,5			13			32		
0,6			14			33		
0,9			15			34		
			16			35		
Над уровнем моря			17			36		
0,5			18			37		
1,0			19			38		
1,5			20			39		
2,0			21			40		
3,0			22			41		
4,0			23			42		
5,0			24			43		
6,0			25			44		
7,0			26			45		
8,0			27			46		

Термический ветер

Слой	d	V
900–500 мб		
500–300 мб		
900–300 мб		

Уровни изобарических поверхностей			
P	H	d	V
1000			
925			
900			

Особые точки, слои и тропопауза		
H	d	V

Окончание таблицы

Уровни изобарических поверхностей				Особые точки, слои и тропопауза		
P	H	d	V	H	d	V
850	1500					
800						
700	3000					
600						
500	5500					
400	7000					
350						
300	9000					
250	10500					
200	12000					
150	13500					
100	16000					
70	18500					
50	20500					
30	23500					
20	26500					
15						
10	31000					
5						
3						
2						
1						

Обработал _____ Проверил _____
(фамилия) (фамилия)

Приложение 8.4

Таблица для определения поправок
к высоте радиозонда на рефракцию радиоволн и кривизну Земли

Дальность, м	6	9	12	15	18	21	24	27	30	36	42	48	54	60	66
	(деления угломера)														
	1-00	1-30	2-00	2-30	3-00	3-50	4-00	4-50	5-00	6-00	7-00	8-00	9-00	10-00	11-00
20000	23	23	23	22	21	21	20	19	18	16	14	11	8	6	4
25000	36	36	36	35	33	32	31	30	28	25	22	17	13	9	6
30000	52	52	51	50	48	47	44	42	40	36	31	24	19	13	9
35000	71	71	69	68	65	63	60	57	54	48	42	32	25	18	12
40000	93	92	90	88	85	82	79	76	71	68	55	43	33	24	16
45000	118	117	114	111	108	103	97	94	89	80	70	54	41	30	20
50000	146	144	141	138	133	128	123	117	110	99	86	66	51	37	
55000	176	174	170	167	161	155	149	142	134	119	105	80	62	45	
60000	210	207	203	196	192	185	177	168	159	142	124	96	74	53	
65000	246	243	238	232	225	217	206	198	185	167	146	124			
70000	285	281	275	270	261	252	241	229	216	194	169	144			
75000	328	323	317	309	300	289	276	260	248	222	194				
80000	373	367	360	352	341	328	314	295	283						
85000	421	415	407	397	385	371	355	350	319						
90000	472	465	456	445	431	416	393	380							
95000	525	518	508	496	481	459	443	420							
100000	582	574	563	549	532	514	491								
105000	642	633	621	605	587	565									
110000	705	695	681	665	644	621									
115000	770	759	745	726	704	682									
120000	839	827	811	790	767	740									
125000	910	897	888	858	832	805									
130000	984	970	951	920	900										
135000	1061	1046	1026	1001											
140000	1141	1125	1103	1076											
145000	1224	1207	1184	1156											
150000	1310	1291	1267	1235											

Приложение 8.5

	A	B	C	D
1		5.04	6.13	350
2		4.93	6.58	550
3		4.45	6.72	700
4		4.24	7.21	900
5		4.19	7.81	1250
6		4.21	8.32	1540
7		4.27	9.36	2710

Рис. П8.1. Вид исходной информации о временной изменчивости координат радиопилота на Листе 2 файла «Шар-РКЗ.xls»:
 колонка «А» со значениями времени не заполнена,
 «В» – У.М. (вертикальный угол) [ДУ],
 «С» – АЗМ (горизонтальный угол) [ДУ],
 «D» – ДАЛБН (наклонная дальность) [м]

	A	B	C	D	E
1	1	0.5	30.24	36.78	176.2
2	2	1	29.58	39.48	271.4
3	3	1.5	26.7	40.32	314.5
4	4	2	25.44	43.26	386.6
5	5	2.5	25.14	46.86	531
6	6	3	25.26	49.92	657.1
7	7	4	25.62	56.16	1171.7
8					
9	№№	Время	Вертик.	Горизонт.	Высота над
10	отсчетов	[мин]	[ДУ]	[ДУ]	поверх.
11					земли
12					[м]
13					
14	Высота	пункта	над морем:	70	[м]

Рис. П8.2. Вид информации о временной изменчивости координат радиопилота на Листе 1 файла «Шар-РКЗ.xls»:
 колонка «А» – порядковый номер измерения,
 «В» – время [мин],
 «С» – вертикальный угол [град],
 «D» – горизонтальный угол [град],
 «E» – высота радиопилота над поверхность земли [м]

F	G	H	I
88.1	158.1	216.7	10
223.8	293.8	224	5.8
293	363	223	4.9
350.5	420.5	232.9	6.3
458.8	528.8	235.9	10.8
594	664	242.8	8.9
914.4	984.4	244.2	17.8
Высота	середины	Направление	Скорость
	слоя	[град]	[м/с]
над землей	над морем		
[м]	[м]		

Рис. П8.3. Вид информации о профиле ветра на Листе 1 файла «Шар-РКЗ.xls»: колонка «F» – высота середины слоя над землей, «G» – высота середины слоя над морем, «H» – направление ветра, «I» – скорость ветра

J	K	L	M	N	O
0.1	217	9	0.5	236	9
0.2	224	6			
0.3	223	4	Высота	Направление	Скорост
0.5	236	10	над	[град]	[м/с]
0.6	243	8	морем		
0.9	244	17	[км]		
Высота	Направление	Скорость			
над	[град]	[м/с]			
землей					
[м]					

Рис. П8.4. Вид информации о профиле ветра на Листе 1 файла «Шар-РКЗ.xls»: колонка «J» – высота над землей, «K» – направление ветра, «L» – скорость ветра, «M» – высота над морем, «N» – направление ветра, «O» – скорость ветра

P	Q	R	S
242	181	302	
369	304	478	
476	404	625	
591	556	812	
773	825	1131	
896	1065	1392	
1360	2029	2443	
Координаты	проекции	Удаление	
радио-	пилота	$\text{Sqr}(y^2 + x^2)$ [м]	
на гор.	плоскость		
x [м]	y [м]		

Рис. П8.5. Вид информации о координатах проекции радиопилота на горизонтальную плоскость на Листе 1 файла «Шар-РКЗ.xls» (время указано в колонке «B»): колонка «P» – координата x, «Q» – координата y, «R» – удаление проекции радиопилота от точки выпуска

Лабораторная работа № 9. Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда МРЗ-3а

Цель работы: приобретение навыков в обработке радиотелеметрических данных, полученных с помощью системы комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы «РПМК-1 – МРЗ-3а».

Материалы для работы:

1) индивидуальное задание – распечатанный на принтере бланк с исходными данными, который был выдан преподавателем при выполнении лабораторной работы № 8 (см. Приложение 8.1);

2) бланки таблиц ТАЭ-4б (см. Приложение 9.1) и ТАЭ-3 (см. Приложение 9.2).

3) заполненные при выполнении лабораторной работы № 8 графики и бланки таблиц КАЭ-3 и КАЭ-3а (см. рис. 8.2 и 8.6);

4) файлы в формате Excel с программами для проведения расчетов (выдаются преподавателем);

5) миллиметровка, карандаш, линейка.

9.1. Исходные материалы

Вид бланка с исходными данными показан на рис. 9.1. Рассмотрим представленную здесь информацию.

Высота Солнца, определенная для данного выпуска, составляла 20° (понадобится в дальнейшем при определении радиационной ошибки).

Далее, в разделе «Сертификат» представлены коэффициенты из сертификатов радиозонда, которые будут использоваться при расчете значений температуры и влажности.

Ниже приводятся исходные данные радиозондирования – значения давления, температуры, относительной влажности и параметров ветра, измеренные в пункте выпуска в момент начала радиозондирования (понадобятся при построении вертикальных профилей температуры и влажности и при расчете вертикального профиля давления).

В правой части таблицы представлена телеметрическая информация: определенные периоды (Q) для некоторых моментов

МРЗ-3					
002.txt : Данные радиолокационного зондирования за 15-11-03,				12 час	

Зонд №: 73318		Станция №: 26063		Высота станции: 30 м	
Широта: 60°		Долгота: -30°			

Р = 1037.5 гПа		Т = -7.2 °С		U = 74 %	
Ветер: 19001		Высота		Солнца: 20°	

Сертификат					
R01 = 30.480		R02 = 30.480		Qоп = 1600	
A = 0.32306		B = 3840.34		C = 82.075	
K = 120.2		N = -10.1		M = 0.2	

Т [мин]	У.М.[ДУ]	АЗМ [ДУ]	Дальн [м]	Т [мин]	Q [мкс]
0.5	5.97	6.19	1700	0.9	2504
1	6.31	4.07	2800	1.1	1782
1.5	6.81	5.11	5500	1.2	2404
2	7.32	5.31	7300	1.8	2415
2.5	7.00	5.76	9700	1.9	1470
3	8.06	6.34	11400	2.6	1983
4	8.85	7.22	15900	3.1	2469
.....

Рис. 9.1. Пример бланка с исходными данными зондирования (фрагмент)

времени (Т). Это могут быть периоды для температуры Q_t , влажности Q_u или опорного сопротивления $Q_{оп}$, определенные для моментов резкого изменения соответствующих параметров: для датчика температуры могут определяться и дополнительные периоды, исходя из требования, чтобы временной интервал для измеряемого периода не превышал 1,5 мин. Зная возможные диапазоны изменения периодов телеметрических каналов для зонда МРЗ-3а, идентификация периодов, как правило, не вызывает трудностей. Пример такой идентификации приведен в Приложении 9.11.

9.2. Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда

Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда МРЗ-3а заключается в следующем:

- 1) в дешифровке сигналов, т. е. переходе от измеренных и зарегистрированных периодов метеовеличин непосредственно к значениям температуры и относительной влажности;
- 2) в построении графических зависимостей, удобных в дальнейшем для определения метеовеличин на любой высоте;
- 3) в использовании полученных данных для расчета давления воздуха по барометрической формуле;
- 4) в составлении итоговых таблиц зондирования, построении аэрологической диаграммы, контроле полученных данных и кодировании информации с помощью соответствующих кодов.

Используя коэффициенты, приведенные в разделе «Сертификат» (см. рис. 9.1), можно определить соответствующие значения температуры и относительной влажности с помощью следующих формул:

$$t = \frac{B}{\ln \left[\frac{\frac{Q_u R_{01}}{Q_{on}} - R_{02}}{A} 10^3 \right]} - C - 273,15, \quad (9.1)$$

$$U = K + N \left(\frac{Q_u R_{01}}{Q_{on}} - R_{02} \right) + M \left(\frac{Q_u R_{01}}{Q_{on}} - R_{02} \right)^2. \quad (9.2)$$

Для проведения расчетов температуры и влажности нужно воспользоваться программой, содержащейся в файле «ТемпВлажРЗ.xls». Текст этой программы и инструкция по ее использованию приведены в Приложении 9.3.

Найденные значения температуры и относительной влажности для соответствующего момента времени записывают в таблицу ТАЭ-4б (на четвёртой странице таблицы – см. Приложение 9.1).

Полученные значения температуры следует исправить на величину радиационной поправки, которая находится по таблице 9.1 в зависимости от высоты зонда и высоты Солнца.

Радиационные ошибки Δt радиозонда МРЗ-3а

H, км	Высота Солнца, h°									
	-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

Если высота Солнца неизвестна, ее следует найти по таблице из приложения 9.4 для местного среднего солнечного времени, соответствующего середине времени подъема радиозонда и 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, что таблица из Приложения 9.4 составлена для широты места наблюдения, равной 60° с.ш.

Полученные в процессе обработки исходных данных радиозондирования значения температуры и относительной влажности наносят на ранее построенный (при выполнении лабораторной работы № 8) график зависимости высоты подъема радиозонда от времени. Для этого следует построить две дополнительные вертикальные оси: температуры – в масштабе $1 \text{ см} \sim 2^\circ \text{C}$ (значения температуры должны убывать вверх по оси) и относительной влажности – в масштабе $1 \text{ см} \sim 10\%$. В нулевой момент времени откладываются температура и относительная влажность воздуха на уровне станции. Все нанесенные точки соединяют непрерывными ломаными линиями. Пример нанесения на график подъема радиозонда данных

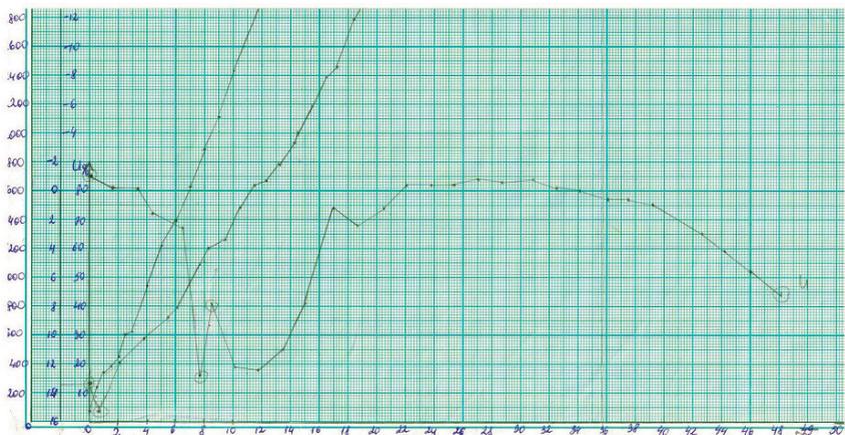


Рис. 9.2. Пример нанесения значений температуры и относительной влажности на ранее построенный при выполнении лабораторной работы № 8 график зависимости высоты подъема радиозонда от времени

о температуре и относительной влажности представлен на рис. 9.2. Здесь горизонтальная ось – это время, прошедшее с момента выпуска радиозонда (мин), а три вертикальные оси – это высота (м), относительная влажность (%) и температура (°C).

Следует обратить особое внимание на характер полученной кривой температуры: на ней не должно быть очень резких изменений температуры (более 10 °C) за достаточно короткие временные интервалы; если такие случаи есть, их необходимо исключить из дальнейшего рассмотрения.

С построенных графиков снимают значения температуры и относительной влажности для моментов времени, соответствующих стандартным высотам подъема радиозонда. При этом первой стандартной высотой будет уровень станции, а последней – максимальная высота подъема по измеренной температуре. Полученные данные записывают в таблицу ТАЭ-4б (см. приложение 9.1).

Вычисляют среднюю температуру и среднюю относительную влажность слоя между стандартными высотами с учётом особых точек по температуре, записывая найденные значения в соответствующие ячейки таблицы ТАЭ-4б.

Для последующего расчета вертикального профиля давления определяют среднюю виртуальную температуру слоя (\bar{t}_v) в °C, используя следующее выражение:

$$\bar{t}_v = \bar{t} + (\bar{t} + 273,15)0,37942 \frac{e}{\bar{p} - e}, \quad (9.3)$$

$$e = \frac{\bar{u}}{100} 6,1 \cdot 10^{\frac{7,5\bar{t}}{(273,3+\bar{t})}}, \quad (9.4)$$

где \bar{t} – средняя температура слоя, \bar{u} – средняя относительная влажность слоя, \bar{p} – давление по данным стандартной атмосферы, соответствующее середине рассматриваемого слоя.

Для проведения расчетов средней виртуальной температуры слоя можно воспользоваться программой, содержащейся в файле «ВирТемРЗ.xls». Текст этой программы и пример ее использования приведены в приложении 9.7.

Также можно определить виртуальную температуру, используя таблицу приложения 9.7. По этой таблице определяют виртуальную поправку к средней температуре слоя при максимальной упругости водяного пара ($\Delta t_{\text{в, макс}}$). Затем корректируют эту поправку при упругости водяного пара, соответствующей средней относительной влажности слоя, по формуле:

$$\Delta t_{\text{в}} = \Delta t_{\text{в, макс}} \frac{\bar{u}}{100}. \quad (9.5)$$

Найденную виртуальную поправку прибавляют к средней температуре слоя и таким образом определяют среднюю виртуальную температуру слоя \bar{t}_v .

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

$$P = P_0 \exp \left[-\frac{g\Delta h}{R(\bar{t}_v + 273)} \right], \quad (9.6)$$

где $R = 287,052$ Дж/кг*К – удельная газовая постоянная сухого воздуха, $g = 9,81$ м/с² – ускорение силы тяжести, P_0 – давление на предыдущей стандартной высоте, h – толщина рассматриваемого слоя в метрах.

Для проведения расчетов вертикального профиля давления также можно воспользоваться программой, содержащейся в файле

«ДавлениеРЗ.xls». Текст этой программы и инструкция по ее использованию приведены в приложении 9.8.

Вычисленные значения давления воздуха на стандартных высотах следует записать в соответствующие ячейки таблицы ТАЭ-4б с точностью до 0,1 гПа.

Определение высоты стандартных изобарических поверхностей 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 и 100 гПа производится по следующей формуле:

$$H_p = h + \frac{\bar{t}_v + 273,15}{s} \ln \frac{P_h}{P}, \quad (9.7)$$

где H_p – высота стандартной изобарической поверхности P , P_h – давление воздуха на ближайшей стандартной высоте h . Если используются значения высоты h в м, то коэффициент $s = 0,0341677$. Для изобарических поверхностей расчет высоты производится с точностью до 1 м.

Если наземное давление оказалось ниже 1000 гПа, расчет высоты изобарической поверхности 1000 гПа выполняют по следующей формуле:

$$H_{1000} = \frac{(\bar{t}_v + 273,15) + 0,00632h_0}{0,0341632} \ln \left(\frac{p_0}{1000} \right) + h_0, \quad (9.8)$$

где t_{v0} – виртуальная температура воздуха на поверхности земли (в °С), 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 МРЗ-3а для этих высот величины температуры и относительной влажности следует записать в бланк ТАЭ-4б. Кроме того, на основе данных о фактических высотах стандартных изобарических поверхностей корректируются значения скорости и направления ветра на этих уровнях, и данные заносятся в бланк таблицы КАЭ-3а (см. приложение 9.10). Здесь же определяются значения фактического давления на уровнях особых точек по ветру.

Анализ правильности определения высот стандартных изобарических поверхностей производится при выполнении лабораторной работы № 10.

Для стандартных изобарических поверхностей следует вычислить дефицит и температуру точки росы (D) следующим образом:

$$t_d = t - D, \quad (9.9)$$

$$D = t - \alpha \frac{A}{B}, \quad (9.10)$$

$$A = \beta t + \gamma(\alpha + t) \ln\left(\frac{u}{100}\right), \quad B = \alpha\beta - \gamma(\alpha + t) \ln\left(\frac{u}{100}\right), \quad (9.11)$$

$$\alpha = 241,9; \quad \beta = 7,6326; \quad \gamma = 0,43429, \quad (9.12)$$

где t – температура воздуха, t_d – температура точки росы в °С, u – относительная влажность воздуха.

Для расчетов дефицита и температуры точки росы можно воспользоваться программой, содержащейся в файле «ДефицитРосаРЗ.xls». Текст этой программы и инструкция по ее использованию приведены в приложении 9.9.

По кривой температуры на графике обработки подъема радиозонда 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° с/км.

Предполагаемый уровень тропопаузы проверяют на удовлетворение критериям выбора тропопаузы. Для этого:

- на графике подъема радиозонда на кривой зависимости температуры от времени находят предполагаемую температуру, соответствующую уровню тропопаузы (обозначена цифрой 1 на рис. 9.3);

- двигаясь горизонтально от точки 1 до вертикальной шкалы температуры, определяют значение температуры на предполагаемом уровне тропопаузы: значение t_1 ;

- опускаясь на горизонтальную ось, фиксируют момент времени, когда была измерена температура t_1 (значение τ_1 на рис. 9.3);

- поднимаясь вертикально вверх от момента времени τ_1 до кривой подъема, находят точку, соответствующую высоте для момента времени τ_1 (обозначена цифрой 2 на рис. 9.3);

- двигаясь горизонтально от точки 2 до вертикальной оси высоты, находят значение высоты, на которой была измерена температура в предполагаемой точке тропопаузы: H_1 ;

- на вертикальной оси высоты находят точку, высота которой на 2 км выше значения H_1 (обозначена цифрой 3 на рис. 9.3);

Если демаркационная линия, не пересекая кривую температуры, располагается выше и левее или совпадает с кривой температуры полностью или частично (как это показано на рис. 9.3 для пунктирной линии ДЛ1), 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° с/км, а предполагаемый уровень будет искомым уровнем тропопаузы.

Если же демаркационная линия пересекает кривую температуры или проходит ниже и правее ее (как это показано на рис. 9.3 для пунктирной линии ДЛ2, когда в качестве предполагаемого значения температуры тропопаузы была взята точка под номером 7), то предполагаемый уровень не будет уровнем тропопаузы. В этом случае описанную процедуру поиска тропопаузы следует повторить для других вышележащих предполагаемых уровней тропопаузы.

Далее находят высоты 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 30 с,
- уровни резких изломов кривой температуры, удовлетворяющие критериям выбора особых точек температуры.



Рис. 9.4 Пример определения уровня тропопаузы на графике подъема радиозонда

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 °С в тропосфере и до 2 °С 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 значками (кружками) отмечают точки, являющиеся априори особыми, и другими значками (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 °С в тропосфере и 2 °С в стратосфере (для относительной влажности 15% во всем исследуемом слое).

Пример определения особых точек по влажности представлен на рис. 9.2 – эти точки на графике относительной влажности выделены кружками.

Найденные особые точки по температуре и относительной влажности в порядке возрастания высоты следует записать в таблицу ТАЭ-46 (см. рис. 9.5).

Н _{гп}	Н	Станд. изобар. поверхн.	t	U	D	T _d	№ п/п	Δ P	Высота особых точек	P	t	U	D	T _d
73	73	1000	12.4	85	2.4	10.0		TU	70	1000.4	12.4	85	2.4	10.0
731	730	925	12.0	65	6.4	5.6		T	380	964.3	13.8	63	6.9	6.9
1432	1431	850	6.5	83	2.7	3.8		U	600	939.3	12.6	62	7.1	5.5
2990	2988	700	-3.2	65	5.6	-8.8		T	1270	866.7	9.9	82	2.9	5.0
5578	5576	500	-18.3	30	13.3	-31.6		U	2480	746.4	-2.6	87	1.9	-4.5
7204	7203	400	-31.9	33	10.9	-42.8		T	2760	420.4	-5.1	76	3.6	-8.7
9162	9164	300	-48.1	32	9.6	-57.7		T	3070	692.7	-3.0	60	6.7	-9.7
10344	10348	250	-55.8	32	8.8	-64.6		U	3330	670.1	-4.7	42	11.0	-15.7
11772	11779	200	-60.0	31	9.6	-59.6		T	3630	646.0	-7.1	37	12.2	-19.3
13666	13678	150	-46.3	—	—	—		T	4810	633.6	-12.5	29	14.4	-26.9
		100						T	10080	260.5	-55.0	32	8.9	-63.9
								T _{троп}	10640	243.0	-56.5	32	8.8	-65.3
								T	12440	180.8	-47.2	31	9.9	-67.1
								U	13540	153.1	-46.3	30	10.3	-66.6
								T	13700	149.5	-46.3	—	—	—
Стандартные высоты над поверхностью земли														
	Н	P	t	U	D	T _d								
	300	965,4	13.7	63	6.9	6.8								
	600	931,5	12.3	65	6.4	5.9								
	900	898,7	10.3	43	4.6	5.7								

Рис. 9.5. Пример занесения информации об особых точках в бланк таблицы ТАЭ-46

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

$$P_i = P_h \exp \left[\frac{s(h - h_i)}{t_v + 273,15} \right], \quad (9.13)$$

где h_i – высота особой точки, а P_i – давление на ее уровне; h – ближайшая стандартная высота, расположенная ниже особой точки, P_h – давление на ней; \bar{t}_v – виртуальная температура слоя между стандартными высотами, где располагается найденная особая точка.

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.

Рассчитать давление на уровнях 300, 600 и 900 м над поверхностью земли, используя формулу (9.13). Снять с графиков на этих высотах температуру и влажность. Записать полученные данные в таблицу ТАЭ-4б.

Затем, используя формулу (9.13), следует определить давление и на уровне особых точек по ветру; полученные результаты необходимо записать в бланк КАЭ-3а (см. приложение 8.3).

Результаты комплексного температурно-ветрового зондирования записывают в таблицу ТАЭ-3 (см. рис. 9.6 и 9.7). 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 высоты; 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, 925, 850 и 700 гПа, уровень станции и высоты 300, 600 и 900 м над поверхностью земли – с тремя десятичными знаками.

В графе P вносят данные давления с точностью одна десятая гПа.

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_d указывают значение температуры точки росы с десятиными долями градуса на уровнях изобарических поверхностей и особых точек температуры и относительной влажности.

При составлении таблицы ТАЭ-3 вычисляют вертикальный градиент температуры γ 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 0,01°/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 γ 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.

9.3. Содержание отчета

1. Заполненные в процессе проведения обработки данных комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы бланки таблиц ТАЭ-4б, КАЭ-3а, КАЭ-3 и ТАЭ-3.

2. Графики данных комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы, построенные в соответствии с указанными в данной лабораторной работе рекомендациями.

3. Письменные ответы на контрольные вопросы.

9.4. Контрольные вопросы

1. Какие РЛС используются для слежения за радиозондом МРЗ-3а?

2. На какой частоте работает передатчик в радиозонде МРЗ-3а?

3. Какой способ кодировки используется в отечественных радиозондах МРЗ-3а для передачи информации от радиозонда к аэрологическому радиолокатору?

4. Что является датчиком температуры воздуха в отечественных радиозондах МРЗ-3а?

5. Что является датчиком влажности воздуха в отечественных радиозондах МРЗ-3а?

6. Что является датчиком скорости и направления ветра в отечественных радиозондах МРЗ-3а?

7. Какой метод определения наклонной дальности используется в радиозонде МРЗ-3а?

8. Какие метеопараметры определяются по координатам радиозонда МРЗ-3а?

9. В какой стране и каком году был запущен первый радиозонд?

10. Какая из формируемых радиозондом МРЗ-3а частот имеет максимальные значения периода?

11. Начиная с какого значения наклонной дальности вводится поправка на рефракцию и кривизну Земли при обработке данных радиозондирования атмосферы?

12. Для чего используется виртуальная поправка для средней температуры слоя?

13. Сколько датчиков для измерения метеорологических величин установлено на отечественных радиозондах МРЗ-3а?

14. Что является датчиком характеристик ветра в отечественных радиозондах МРЗ-3а?

15. Какие виды периодов регистрируются аэрологическим радиолокатором при работе с отечественным радиозондом МРЗ-3а?

U% ср	U %	Станд. высо- ты	t° с учё- том рад. попр.	Сред- няя t° слоя	Вирт. по- правка	тср испр.	ΔP (А)	P, мб (lgP1 + ΣAi)	(P1 мб)	
		0,2								
		0,5								0,5
		1,0								1,0
		1,5								1,5
		2,0								2,0
		2,5								2,5
		3,0								3,0
		4,0								4,0
		5,0								5,0
		6,0								6,0
		7,0								7,0
		8,0								8,0
		9,0								9,0
		10,0								10,0
		11,0								11,0
		12,0								12,0
		13,0								13,0
		14,0								14,0
		15,0								15,0
		16,0								16,0
		17,0								17,0
		18,0								18,0
		19,0								19,0
		20,0								20,0
		21,0								21,0
		22,0								22,0
		23,0								23,0
		24,0								24,0
		25,0								25,0
		26,0								26,0
		27,0								27,0
		28,0								28,0
		29,0								29,0
		30,0								30,0
		31,0								31,0
		32,0								32,0

(Ai, lg P1 + ΣAi, P мб) для аналитического вычисления давления на стандартных высотах

Н	Станд. изобар. поверхн.	t	U	D		№ п/п	ΔP	Высота особых точек	P	t	U	D	
	1000												
	925												
	850												
	700												
	500												
	400												
	300												
	250												
	200												
	150												
	100												
Стандартные высоты над поверхностью земли													
Н	P	t	U	D									
300													
600													
900													

Мин.	Н км	Мин.	Н км	Мин.	t	U	Мин.	t	U	Данные сертификата				
										по температуре		по влажности		
0		64								30			100	
1		66								25			90	
2		68								20			80	
3		70								15			70	
4		72								10			60	
5		74								5			50	
6		76								0			40	
7		78								-5			30	
8		80								-10			20	
9		82								-15			10	
10		84								-20				
12		86								-25				
14		88								-30				
16		90								-35				
18										-40				
20										-45				
22										-50				
24										-55				

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Время [ми	Q опор	Qt	t [C]	Время [мин]	Q опор	Qu	u (%)	Коэффициент А	0.34496	
2	1.7	1600	2403	-1.1	2	1600	1834	83	Коэффициент В	3740.77	
3	3	1600	2484	-4.2	4.6	1600	1822	84	Коэффициент С	77.517	
4	5.7	1600	2699	-11	6.1	1600	1821	84	Коэффициент К	113.5	
5									Коэффициент N	-6.2	
6									Коэффициент М	-0.14	
7									Коэффициент R01	30.48	
8									Коэффициент R02	30.48	
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											

Рис. П9.1. Пример представления информации на Листе 1 после открытия файла «ТемпВлажР3.xls»

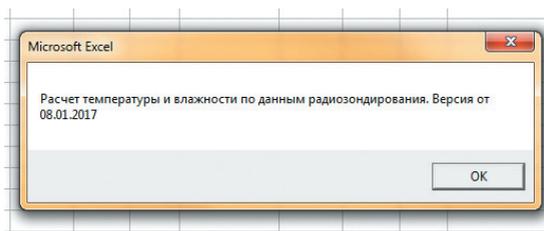


Рис. П9.2. Пример информационного окна: для продолжения работы программы нажать «ОК»

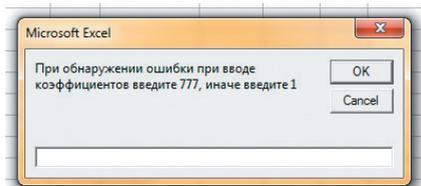


Рис. П9.3. Пример диалогового окна: для продолжения работы программы ввести с клавиатуры требуемые данные (в данном случае набрать число 1, если все коэффициенты введены правильно, или число 777 – в этом случае программа предложит заново ввести все коэффициенты) и нажать «ОК»

2. Стереть всю имеющуюся на Листе 1 информацию. При наличии на Листе 1 графиков – удалить и их. Эти графики в дальнейшем надо будет заново построить с учетом собственных проверяемых данных!

3. Запустить имеющийся в файле «ТемпВлажРЗ.xls» макрос «Лист1.ТемпВлажРЗ». При появлении информационных надписей после их прочтения нажать «ОК», при появлении диалогового окна для ввода данных – ввести с клавиатуры необходимое число и нажать «ОК». В зависимости от настройки пакета Excel десятичным разделителем может быть точка или запятая!

4. Для контроля полученных профилей температуры и влажности построить графики зависимости этих параметров от времени.

Текст программы, содержащейся в файле «ТемпВлажРЗ.xls»

Sub ТемпВлажРЗ()

Лист1.Cells(11, 9) = «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ «

Лист1.Cells(12, 9) = «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ»

Лист1.Cells(13, 9) = «УНИВЕРСИТЕТ»

Лист1.Cells(14, 9) = «Проф. Кузнецов А.Д.»

Лист1.Cells(15, 9) = «Доцент Сероухова О.С.»

Лист1.Cells(16, 9) = «Расчет температуры и влажности»

Лист1.Cells(17, 9) = «по данным радиозондирования»

MsgBox «Расчет температуры и влажности по данным радиозондирования. Версия от 08.01.2017»

metkr:

MsgBox «Последовательно введите содержащиеся в сертификате радиозонда коэффициенты.»

'Данные для отладки

'A = 0.34496: B = 3740.77: C = 77.517: K = 113.5: N = -6.2: M = -0.14: R01 = 30.48: R02 = 30.48

A = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент A»))

Лист1.Cells(1, 9) = «Коэффициент A»: Лист1.Cells(1, 10) = A

B = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент B»))

Лист1.Cells(2, 9) = «Коэффициент B»: Лист1.Cells(2, 10) = B
C = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент C»))

Лист1.Cells(3, 9) = «Коэффициент C»: Лист1.Cells(3, 10) = C

K = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент K»))

Лист1.Cells(4, 9) = «Коэффициент K»: Лист1.Cells(4, 10) = K

'N = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент N»))

Лист1.Cells(5, 9) = «Коэффициент N»: Лист1.Cells(5, 10) = N

M = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент M»))

Лист1.Cells(6, 9) = «Коэффициент M»: Лист1.Cells(6, 10) = M

R01 = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент R01»))

Лист1.Cells(7, 9) = «Коэффициент R01»: Лист1.Cells(7, 10) = R01

R02 = CDbI(InputBox(«Введите коэффициент R02»))

```

Лист1.Cells(8, 9) = «Коэффициент R02»: Лист1.Cells(8, 10) = R02
MsgBox «Проверьте на Листе 1 в колонке J правильность введенных коэффициентов.»
Kr = CDBl(InputBox(«При обнаружении ошибки при вводе коэффициентов введите
777, иначе введите 1»))
If kr = 777 Then GoTo metkr
Лист1.Cells(1, 1) = «Время [мин]»: Лист1.Cells(1, 2) = «Q опор»: Лист1.Cells(1, 3)
= «Qt»: Лист1.Cells(1, 4) = «t [C]»
Лист1.Cells(1, 5) = «Время [мин]»: Лист1.Cells(1, 6) = «Q опор»: Лист1.Cells(1, 7)
= «Qu»: Лист1.Cells(1, 8) = «u [%]»
Qon = CDBl(InputBox(«Введите опорный период Qon»)): hq = hq + 1
ht = 1: hu = 1: hq = 0
metvar:
vt1:
Var = CDBl(InputBox(«Для расчета температуры введите 1; для расчета влажности
2, для изменения опорного периода введите 3, для окончания работы введите 4»))
If Var = 4 Then GoTo metend
If Var = 0 Then GoTo metvar
If Var = 1 Then GoTo vt
If Var = 2 Then GoTo vf
If Var = 3 Then: Qon = CDBl(InputBox(«Введите опорный период Qon»)): hq = hq +
1: GoTo vt1
vt:
ht = ht + 1
tau = CDBl(InputBox(«Введите время [мин]»))
Qt = CDBl(InputBox(«Введите период температуры Qt»))
If Qt = 0 Then GoTo vt
t = B / Log((Qt * R01 / Qon - R02) / A * 1000) - C - 273.15
Лист1.Cells(ht, 1) = tau: Лист1.Cells(ht, 2) = Qon: Лист1.Cells(ht, 3) = Qt: Лист1.
Cells(ht, 4) = Int(t * 10) / 10
GoTo metvar
vf:
hu = hu + 1
tau = CDBl(InputBox(«Введите время [мин]»))
Qu = CDBl(InputBox(«Введите период влажности Qu»))
If Qu = 0 Then GoTo vf
u = K + N * (Qu * R01 / Qon - R02)
u = u + M * (Qu * R01 / Qon - R02) ^ 2
Лист1.Cells(hu, 5) = tau: Лист1.Cells(hu, 6) = Qon: Лист1.Cells(hu, 7) = Qu: Лист1.
Cells(hu, 8) = Int(u)
GoTo metvar
metend:
End Sub

```

Приложение 9.4

Таблица для определения высоты Солнца (в градусах) для широты 60° с.ш.

Дата	Время, ч																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
январь	1-10									-7	-1	3	6	6	6	3	-1	-6							
	11-20									-6	1	6	9	10	8	5	1	-5							
	21-30									-5	1	6	9	10	10	7	3	-2	-8						
февраль	31-9									-10	-3	3	8	12	13	10	6	1	-6						
	10-19									-7	0	6	11	15	16	13	9	3	-3						
	20-1									-4	3	9	14	18	19	19	16	12	6	0	-8				
март	2-11									-8	-1	6	13	18	21	22	23	19	15	10	3	-5			
	12-21									-4	3	10	16	21	24	26	23	18	13	6	-2	-9			
	22-31									-8	-1	6	14	20	25	28	30	29	26	21	15	8	1	-6	-7
апрель	1-10									-11	-4	3	11	19	25	30	33	34	31	26	19	12	5	-3	-4
	11-20									-7	0	8	15	22	29	34	37	38	34	29	22	15	8	0	-3
	21-30									-10	-4	3	10	18	25	32	37	40	42	41	37	32	25	18	10
май	1-10									-6	0	6	13	21	28	35	40	43	45	44	40	34	28	20	13
	11-20									-9	-4	2	8	15	23	30	37	42	46	48	46	42	36	30	22
	21-30									-6	-1	4	10	17	25	32	39	44	48	50	48	44	38	32	24
июнь	31-9									-4	0	6	12	19	27	34	41	46	50	52	50	46	40	34	26
	10-19									-3	1	6	13	20	27	35	42	47	51	53	51	47	41	35	27
	20-29									-3	1	7	13	20	28	35	42	48	52	53	52	48	42	36	28
июль	30-9									-4	1	6	12	20	27	34	41	47	51	53	51	48	42	35	28
	10-19									-5	0	5	11	19	26	33	40	47	50	52	50	47	41	34	27
	20-29									-6	-2	3	10	17	24	31	38	45	48	50	49	45	40	33	26
август	30-8									-4	1	8	15	22	30	37	43	46	49	48	44	44	38	31	24
	9-18									-7	-1	6	13	20	28	34	40	44	46	44	41	35	29	21	14
	19-28									-9	-3	3	11	18	26	32	37	41	43	42	38	33	26	19	12

Дата	Время, ч																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0																								
сен- тябрь	29-7				-6	1	8	15	23	29	34	38	39	38	34	29	23	15	8	1	-6			
	8-17				-8	2	5	13	20	26	31	35	35	31	26	20	13	5	-2	-9				
	18-27					-5	2	10	16	22	28	31	32	30	27	22	16	9	1	-6				
ок- тябрь	28-7					-8	0	7	14	20	24	27	28	27	23	18	12	6	-3					
	8-17					-11	-4	4	11	16	21	24	24	23	19	14	8	2	-6	-10				
	18-27						-7	1	7	13	17	20	20	19	16	11	5	-2	-10					
но- ябрь	28-6							-2	4	10	14	15	16	15	12	7	1	-6						
	7-16						-9		1	6	10	12	13	11	8	3	-3	-9						
	17-26							-8	-1	4	8	10	11	9	6	2	-5							
де- кабрь	27-6								-4	2	6	8	8	7	4	0	-6							
	7-16							-10	-5	0	4	6	7	6	3	-1	-7							
	17-26								-6	-1	3	5	6	5	2	-2	-7							
	27-31								-7	-1	3	5	6	3	2	-1	-6							

Приложение 9.5

Пример заполнения бланка таблицы ТАЭ-46

Станция 26063 ТАЭ-46

Высота над уровнем моря 70М

ТАБЛИЦА ВЫПУСКА № _____

« 12 » августа 1987 г. Время вып. моск. декретн. 20ч30мин

Радиозонд _____ № 27769 Местное средн. солнечн. _____

Терморезистор № _____ Узел влажности № _____

Оболочка № _____ Подъёмная сила _____

Дата проверки приборов на заводе _____

Данные контрольной поверки в _____ ч _____ мин

Показания психрометра					Показания радиозонда	
Темпе- ратура	Сухой	Отсчёт	Попр.	Испр.	Т сертиф.	
		Смочен.				
Влажность					U сертиф.	

t Δ ₂₀	t Δ ₂₀₀	Δ t _{ср. средн}	δ t _{ср}	Δ t _в	Δ t ₁	Δ t ₂	Δ u

Наблюдения в момент выпуска

		Отсчёт	Поправка	Испр. вел.
Температура :	Сух.			
	Смоч.			
Влажность				
Давление на ур. станции				
Облачность и атмосферн. явл.				
Направление и скорость ветра				

Шар туманился _____ мин _____ с. Скрылся _____ мин _____ с

Форма и высота облака, в которое вошёл шар (н.у.м.) _____

Характеристика приёма сигналов (в начале и в конце) _____

Причина прекращения приёма сигналов _____

Прибор готовил _____

Сигналы принимали и обрабатывали Шакрыгина

Проверил (фамилия и дата) _____

$T_{исп}(K)$ D $T_d^{\circ}C$

U% _{ср}	U %	Станд. высоты	t° с учетом рад. погр.	Средняя t° слоя	Вирт. поправка $\Delta T_{вирт}$	t _{ср} испр.	ΔP (А)	P, мб (lg P ₁ +ΣA _i)	(P ₁ мб)		
—	85	0.07	12.4	—	1.5 1.3	13.7	286.9	1000.4	2.4	10.0	
80	75	0.2	13.3	13.0	1.6 1.3	14.3	284.5	985.1	4.3	9.0	
69	63	0.5	13.3	13.5	1.8 1.2	14.7	284.9	950.6	6.9	6.4	0.5
69	74	1.0	10.0	11.7	1.7 1.2	12.9	286.1	895.5	4.4	5.6	1.0
79	83	1.5	6.0	8.0	1.3 1.0	9.0	282.2	842.9	2.7	3.3	1.5
84	85	2.0	1.1	3.6	1.1 0.9	4.5	277.7	792.6	2.2	-1.1	2.0
86	87	2.5	-2.6	-0.8	0.8 0.7	-0.1	273.1	744.5	1.9	-4.5	2.5
76	64	3.0	-3.1	-3.6	0.7 0.5	-3.1	270.1	698.9	5.8	-8.9	3.0
48	31	4.0	-8.5	-5.4	0.7 0.3	-5.1	268.1	615.3	14.1	-22.6	4.0
31	30	5.0	-14.0	-11.3	0.6 0.2	-11.1	262.1	540.1	13.8	-27.8	5.0
30	29	6.0	-22.0	-18.0	0.3 0.1	-17.9	255.3	472.4	13.2	-35.2	6.0
31	32	7.0	-30.2	-26.1	0.2 0.1	-26.0	247.2	411.4	11.4	-44.6	7.0
33	33	8.0	-38.6	-34.4	0.0 0.0	-34.4	238.8	356.5	10.2	-48.8	8.0
33	32	9.0	-47.0	-42.8	0.0 0.0	-42.8	230.4	307.4	9.7	-56.7	9.0
32	32	10.0	-54.2	-50.6	0.0 0.0	-50.6	222.6	263.7	9.0	-63.2	10.0
32	31	11.0	-54.4	-55.0	0.0 0.0	-55.0	218.2	225.5	9.2	-63.6	11.0
31	31	12.0	-48.9	-51.7	0.0 0.0	-51.7	221.5	193.3	9.7	-58.6	12.0
31	30	13.0	-46.7	-47.5	0.0 0.0	-47.5	225.7	166.1	10.2	-56.9	13.0
13.7	—	14.0	-46.3	-46.4	0.0 0.0	-46.4	226.8	149.5	—	—	14.0
		15.0									15.0
		16.0									16.0
		17.0									17.0
		18.0									18.0
		19.0									19.0
		20.0									20.0
		21.0									21.0
		22.0									22.0
		23.0									23.0
		24.0									24.0
		25.0									25.0
		26.0									26.0
		27.0									27.0
		28.0									28.0
		29.0									29.0
		30.0									30.0
		31.0									31.0
		32.0									32.0

(A_i, lg P₁+ΣA_i, P мб) для аналитического вычисления давления на стандартных высотах

H _{гн}	H	Станд. изобар. поверхн.	t	U	D	T _d	№ п/п	Δ P	Высота особых точек	P	t	U	D	T _d
73	1000	1000	12.4	85	2.4	10.0		TU	70	1000.4	12.4	85	2.4	10.0
731	925	925	12.0	65	6.4	5.6		T	380	964.3	13.8	63	6.9	6.9
1432	850	850	6.5	83	2.7	3.8		U	600	939.3	12.6	62	7.1	5.5
2990	700	700	-3.2	65	5.6	-8.8		T	1270	866.7	7.9	82	2.9	5.0
5578	5576	500	-18.3	30	13.3	-31.6		U	2480	746.4	-2.6	87	1.9	-4.5
7204	7203	400	-31.9	33	10.9	-42.8		T	2760	720.4	-5.1	76	3.6	-8.7
9162	9164	300	-48.1	32	9.6	-57.7		T	3070	692.7	-3.0	60	6.7	-9.7
10344	10348	250	-55.8	32	8.8	-64.6		U	3330	670.1	-4.7	42	11.0	-15.7
11772	11779	200	-60.0	31	9.6	-59.6		T	3630	645.0	-7.1	37	12.2	-19.3
13666	13678	150	-46.3	—	—	—		T	4810	533.6	-12.5	29	14.4	-26.9
	100							T	10080	260.5	-55.0	32	8.9	-63.9
								Трощ	10540	243.0	-66.5	32	8.8	-65.3
								T	12440	180.8	-47.2	31	9.9	-57.1
								U	13540	153.1	-46.3	30	10.3	-56.6
								T	13700	149.5	-46.3	—	—	—
Стандартные высоты над поверхностью земли														
	H	P	t	U	D	T _d								
	300	965,4	13,7	63	6,9	6,8								
	600	931,5	12,3	65	6,4	5,9								
	900	898,7	10,3	73	4,6	5,7								

Приложение 9.6

Таблица для определения максимальной виртуальной разности

p, гПа	H, км																											
		30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	-1	-2	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-40
1000	0,1	4,9	4,8	3,8	3,3	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2				
900	1,0	5,4	4,8	4,2	3,7	3,3	2,9	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2				
850	1,5	5,7	5,1	4,5	3,9	3,5	3,1	2,7	2,3	2,0	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2				
800	1,9	6,1	5,4	4,7	4,2	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2			
700	3,0						3,2	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2				
600	4,2						2,9	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2						
500	5,6						3,5	3,0	2,6	2,3	2,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9	0,6	0,4	0,3						
400	7,2										2,8	2,5	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,1	0,7	0,5	0,3	0,2				
350	8,1													2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,2	0,8	0,5	0,3	0,2			
300	9,2													2,8	2,6	2,4	2,3	2,1	1,9	1,8	1,4	0,9	0,6	0,4	0,3			
250	10,4														3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	1,7	1,1	0,7	0,5	0,3	0,2		
200	11,8														3,7	3,4	3,2	2,9	2,7	2,1	1,5	0,9	0,6	0,4	0,2			
150	13,6																3,9	3,6	2,9	1,9	1,2	0,8	0,5	0,3				
100	16,2																				2,8	1,9	1,2	0,7	0,6	0,2		

Приложение 9.7

Текст программы «ВирТемРЗ.xls» и пример ее использования

Sub ВирТемРЗ()

Лист1.Cells(11, 9) = «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ»

Лист1.Cells(12, 9) = «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ»

Лист1.Cells(13, 9) = «УНИВЕРСИТЕТ»

Лист1.Cells(14, 9) = «Проф. Кузнецов А.Д.»

Лист1.Cells(15, 9) = «Доцент Сероухова О.С.»

Лист1.Cells(16, 9) = «Расчет виртуальной температуры. « Лист1.Cells(17, 9) = «по данным радиозондирования»

MsgBox «Расчет виртуальной температуры. Последовательно введите температуру (Цельсий), относительную влажность (%) и давление (гПа)»

Лист1.Cells(1, 1) = “№№”

Лист1.Cells(1, 2) = “t [C]”

Лист1.Cells(1, 3) = “u [%]”

Лист1.Cells(1, 4) = “p [гПа]”

Лист1.Cells(1, 5) = «Виртуальная t-ра [C]»

N = CDBl(InputBox(«Введите число уровней, для которых будут проводиться расчеты»))

```

For i = 1 To N
t = Cdbl(InputBox(«Введите значение средней температуры слоя [C]»))
u = Cdbl(InputBox(«Введите значение средней относительной влажности слоя [%]»))
p = Cdbl(InputBox(«Введите значение давление по данным стандартной атмосферы, соответствующее середине рассматриваемого слоя [гПа]»))

e = u / 100 * 6.1 * 10 ^ (7.5 * t / (273.3 + t))
tv = t + (t + 273.15) * 0.37942 * e / (p - e)
Лист1.Cells(1 + i, 1) = i: Лист1.Cells(1 + i, 2) = t: Лист1.Cells(1 + i, 3) = u: Лист1.Cells(1 + i, 4) = p
Лист1.Cells(1 + i, 5) = tv
Next i
End Sub

```

	A	B	C	D	E
1	№№	t [C]	u [%]	p [гПа]	Виртуальная t-ра [C]
2	1.0	12.4	84.0	1000.0	13.6
3	2.0	-17.6	78.0	500.0	-17.3
4	3.0	-51.9	53.0	150.0	-51.9

Рис. П9.4. Пример результатов расчетов по программе «ВирТемP3.xls»

Приложение 9.8

Расчет значений давления воздуха по данным радиозондирования с использованием табличного процессора Excel.

Произвести расчет профиля давления на основе следующих данных, полученных в процессе обработки данных радиозондирования атмосферы: средней температуре слоя атмосферы (с учетом виртуальной поправки) толщины этого слоя.

Открыть файл «ДавлениеP3.xls». Внимательно ознакомиться с порядком и формой представления данных на Листе 1. Стереть всю имеющуюся на Листе 1 информацию. В том числе удалить и имеющиеся на Листе 1 графики – их в дальнейшем надо будет заново построить с учетом собственных проверяемых данных! Запустить имеющийся в файле «ДавлениеP3.xls» макрос «Лист1.ДавлениеP3».

При появлении информационных надписей после их прочтения нажимать «ОК», при появлении диалогового окна для ввода данных – ввести с клавиатуры необходимое число и нажать «Ок».

В зависимости от настройки пакета Excel десятичным разделителем может быть точка или запятая! Для контроля полученного профиля давления построить график зависимости атмосферного давления от высоты.

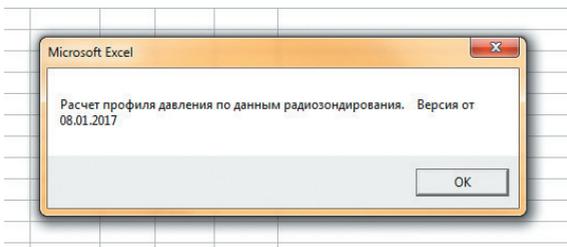


Рис. П9.5. Пример информационного окна: для продолжения работы программы нажать «ОК»

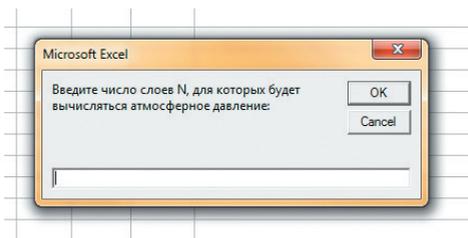


Рис. П9.6. Пример диалогового окна: для продолжения работы программы ввести с клавиатуры требуемые данные (в данном случае число слоев, например, 16) и нажать «ОК»

Microsoft Excel - ДавлениеРЗ-2.xls								
Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка								
O24								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	H	P	dH	Tv	dP	РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ		
2	[м]	[гПа]	[м]	[C]	[гПа]	ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ		
3	30	1035.2				УНИВЕРСИТЕТ		
4	200	1013.7	170	4.3	21.4	Проф. Кузнецов А.Д.		
5	500	976.7	300	2.3	36.9	Доцент Сероухова О.С.		
6	1000	917.4	500	-1.2	59.3	Расчет профиля давления по данным радиозондирования		
7	1500	860.7	500	-5.3	56.6			
8						Все высоты указана		
9						над уровнем моря!		
10								
11						Высота станции		
12						над уровнем моря Hst[m] =>	30	
13								
14						Число слоев N:	4	
15								

Рис. П9.7. Пример представления информации на Листе 1 после запуска макроса «Лист1.ДавлениеРЗ».

Текст программы, содержащейся в файле «ДавлениеРЗ.xls»

Sub ДавлениеРЗ()

Лист1.Cells(1, 6) = «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ»

Лист1.Cells(2, 6) = «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ»

Лист1.Cells(3, 6) = «УНИВЕРСИТЕТ»

Лист1.Cells(4, 6) = «Проф. Кузнецов А.Д.»

Лист1.Cells(5, 6) = «Доцент Сероухова О.С.»

Лист1.Cells(6, 6) = «Расчет профиля давления по данным радиозондирования»

Лист1.Cells(8, 6) = «Все высоты указаны»

Лист1.Cells(9, 6) = «над уровнем моря!»

MsgBox «Расчет профиля давления по данным радиозондирования. Версия от 08.01.2017»

metkan:

N = CDBl(InputBox(«Введите число слоев N, для которых будет вычисляться атмосферное давление: <»))

Лист1.Cells(14, 6) = «Число слоев N»: Лист1.Cells(14, 7) = N

If N <= 0 Then MsgBox «Ошибка ввода! Повторите ввод N:»: GoTo metkan

Dim A() As Double, P() As Double, H() As Double, dP() As Double, dH() As Double, Tv() As Double

ReDim A(N) As Double, P(N) As Double, H(N) As Double, dP(N) As Double, dH(N) As Double, Tv(N) As Double

metkar:

Pn = CDBl(InputBox(« Введите величину приземного давления Pn [гПа]: <»))

Лист1.Cells(3, 2) = Pn

If Pn < 700 Then MsgBox «Ошибка ввода! Повторите ввод Pn:»: GoTo metkar

Hst = CDBl(InputBox(«Введите высоту станции над уровнем моря Hst [м]:»))

Лист1.Cells(11, 6) = «Высота станции <»:

Лист1.Cells(12, 6) = «над уровнем моря Hst [м] =>»:

Лист1.Cells(12, 7) = Hst

Лист1.Cells(3, 1) = Hst

P(0) = Pn

H(0) = Hst 'Для расчета высот над уровнем моря!

i = 0

s = 0

Лист1.Cells(i + 3, 1) = H(i): Лист1.Cells(i + 3, 2) = P(i)

Лист1.Cells(1, 1) = «H»: Лист1.Cells(1, 2) = «P»: Лист1.Cells(1, 3) = «dH»: Лист1.Cells(1, 4) = «Tv»: Лист1.Cells(1, 5) = «dP»

Лист1.Cells(2, 1) = «[м]»: Лист1.Cells(2, 2) = «[гПа]»: Лист1.Cells(2, 3) = «[м]»: Лист1.Cells(2, 4) = «[C]»: Лист1.Cells(2, 5) = «[гПа]»

meti:

i = i + 1

metkak:

$Tv(i) = CDbl(InputBox(" Введите среднюю температуру слоя Tv [C] (с учетом виртуальной поправки): «))$

If $Tv(i) < -80$ Or $Tv(i) > 60$ Then MsgBox "Ошибка ввода! Повторите ввод Tv :"
GoTo metkak

metkak1:

$dH(i) = CDbl(InputBox(" Введите толщину слоя dH [м]: «))$

If $dH(i) \leq 0$ Then MsgBox "Ошибка ввода! Повторите ввод dH :" GoTo metkak1

$H(i) = H(i - 1) + dH(i)$

$A(i) = -273 / 18422.7 * dH(i) / (Tv(i) + 273.15)$

$s = s + A(i)$

$P(i) = P(0) * 10 ^ (s)$

$dP(i) = P(i - 1) - P(i)$

Лист1.Cells(i + 3, 1) = H(i): Лист1.Cells(i + 3, 2) = Int(P(i) * 10) / 10: Лист1.Cells(i + 3, 3) = dH(i)

Лист1.Cells(i + 3, 4) = Tv(i): Лист1.Cells(i + 3, 5) = Int(dP(i) * 10) / 10

If i < N Then GoTo meti

End Sub

Приложение 9.9

Текст программы, содержащейся в файле «ДефицитРосаРЗ.xls»

Sub ДефицитРосаРЗ()

Лист1.Cells(11, 9) = «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ»

Лист1.Cells(12, 9) = «ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ»

Лист1.Cells(13, 9) = «УНИВЕРСИТЕТ»

Лист1.Cells(14, 9) = «Проф. Кузнецов А.Д.»

Лист1.Cells(15, 9) = «Доцент Сероухова О.С.»

Лист1.Cells(16, 9) = «Расчет дефицита и точки росы»

Лист1.Cells(17, 9) = «по данным радиозондирования»

MsgBox «Расчет дефицита и точки росы по данным радиозондирования. Последовательно попарно введите температуру (Цельсий) и относительную влажность (%)»

alfa = 241.9: beta = 7.6326: gama = 0.4342

Лист1.Cells(1, 1) = "№№"

Лист1.Cells(1, 2) = "t [C]"

Лист1.Cells(1, 3) = "u [%]"

Лист1.Cells(1, 4) = "Дефицит [C]"

Лист1.Cells(1, 5) = «Точка росы [C]»

N = CDbl(InputBox(«Введите число уровней, для которых будут проводиться расчеты»))

For i = 1 To N

t = Cdbl(InputBox(«Введите значение температуры [C]»))

u = Cdbl(InputBox(«Введите значение относительной влажности[%]»))

A = beta * t + gama * (alfa + t) * Log(u / 100)

B = alfa * beta - gama * (alfa + t) * Log(u / 100)

D = t - alfa * A / B

td = t - D

Лист1.Cells(1 + i, 1) = i: Лист1.Cells(1 + i, 2) = t: Лист1.Cells(1 + i, 3) = u: Лист1.Cells(1 + i, 4) = D

Лист1.Cells(1 + i, 5) = td

Next i

End Sub

	A	B	C	D	E
1	№№	t [C]	u [%]	Дефицит [C]	Точка росы [C]
2	1.0	12.4	84.0	2.6	9.8
3	2.0	-17.6	78.0	2.9	-20.5
4	3.0	-51.9	53.0	5.2	-57.1

Рис. П9.8. Пример представления информации на Листе 1 после запуска макроса «ДефицитРосаРЗ.xls»

Приложение 9.10

Корректировка данных таблицы КАЭ-3а после нахождения вертикального профиля давления

Уровни изобарических поверхностей				Особые точки, слои и тропопауза				
p	H	d	V	#	d	V	P	
1000	79,3	260	2	0	70	260	2	1001,1
980	936,6	260	2	1	300	260	2	974,3
850	1441,2	240	10	2	1120	230	13	777,3
	1500							
800				3	2000	230	13	794,6
700	3023,6	235	13	4	8480	220	21	336,2
	3000							
600				5	8640	220	22	327,2
500	5632	235	14	6	8180	220	23	316
	5500							
400	7058,6	225	17	7	10040	220	23	283,4
	7000							
350				8	10560	220	22	242,9
300	8211	220	23	9	10190	220	22	230,7
	9000							
250	10412	215	24	10	11000	220	22	228
	11206							
200	12000	230	16					
	13845							
150	13500	245	11					
	16000							

Приложение 9.11

Пример расшифровки принадлежности периодов
к опорному сопоставлению $Q_{оп}$, датчику температуры Q_t и влажности Q_u

020.q.txt Данные радиолокационного зондирования за 07-07-1987, 21 час.					
Зонд №: 0		Станция №: 26063		Высота станции: 70 м	
Широта: 60°		Долгота: -30°			
Р = 1001.1 гПа		Т = 13.4 °С		U = 85 м	
Ветер: 26002		Высота Солнца: 10°			
* Сертификат *					
	R01 = 30.480	R02 = 30.480	Qоп = 1600		
	A = 0.05999	B = 4599.02	C = 99.037		
	K = 134.9	N = -13.5	M = 0.29		
T [мин]	У.М. [ДВ]	ΔЭМ. [ДВ]	Дальн [м]	T [мин]	Q [мкс]
0.5	5.04	6.13	350	0.4	(1582)
1	4.93	6.58	550	0.6	2028
1.5	4.45	6.72	700	0.9	2035
2	4.24	7.21	900	1.6	1813
2.5	4.19	7.81	1250	2.1	2077
3	4.21	8.32	1540	3.4	1814 1583
4	4.27	9.36	2020	3.8	2102
5	4.17	10.10	2710	4.6	1854
6	3.87	10.31	3350	5.5	2128
7	3.77	10.29	4070	6.1	2140
8	3.69	10.11	4820	6.5	1883
9	3.61	9.94	5680	7.7	2197 t
10	3.56	9.74	6480	8.3	2219
12	3.48	9.51	8030	8.4	(1583)
14	3.42	9.38	9650	8.5	2029
16	3.34	9.32	11550	9.4	2234
18	3.25	9.01	13160	10.1	2175
20	3.17	8.99	15680	10.5	2284
22	3.17	9.08	17640	11.5	2319
24	3.15	9.01	19870	11.7	2182 1585
26	3.06	8.88	22030	12.3	2327
28	3.05	8.65	24190	13.2	2357
30	2.98	8.35	26650	13.5	2133
32	2.92	8.21	29320	14.1	(1586)
34	2.84	8.05	32180	14.2	2398
36	2.78	7.91	35170	14.5	2417
38	2.75	7.77	37890	15	2029
40	2.75	7.70	40570	15.5	2473 1587
44	2.82	7.78	44020	16.5	2535
48	2.96	7.98	46640	17	1850
50	3.01	8.12	47710	17.1	(1588)
				17.2	2562
				18.4	2684 1588
				18.7	1884
				19	2721
				19.2	(1589)
				19.3	2735 1591
				19.7	2790
				20.5	1855
				20.6	(1592)
				20.7	2894
				21.5	2948
				22.1	1819 1593
				22.5	3131
				23.5	(1593)
				23.6	3219 1593
				23.8	1819
				25	1596
				25.1	3492 1597
				25.4	1824
				26.6	(1598)
				26.7	3825 1599
				27	1818
				27.7	(1600)
				27.8	4119
				28.5	4305
				28.7	1821 1601
				29.5	4584

Лабораторная работа № 10.

Контроль результатов обработки данных радиозондирования атмосферы

Цель работы: изучить и освоить методику проведения контроля качества результатов обработки данных радиозондирования атмосферы и на ее основе проверить результаты, полученные при выполнении лабораторной работы № 9.

Материалы для работы:

- 1) описание лабораторной работы «Контроль результатов обработки данных радиозондирования атмосферы»;
- 2) заполненные после выполнения лабораторной работы № 9 бланки таблиц ТАЭ-4б, КАЭ-3, КАЭ-3а, ТАЭ-3;
- 3) бланк технического контроля (см. табл. 10.3).

10.1. Вертикальный статический контроль

Сетевые аэрологические наблюдения служат основой оперативных гидродинамических прогнозов. В последние годы требования к надежности этого вида метеорологической информации непрерывно возрастают в связи с тем, что для прогностических целей используются все более сложные математические модели. С помощью этих моделей можно прогнозировать основные метеорологические величины, как для небольших регионов, так и для территории всего Земного шара. Поэтому контроль аэрологических сообщений оказывается обязательным этапом в технологической схеме каждого крупного метеорологического прогностического центра.

Как известно, результаты наблюдений не могут быть абсолютно точными. Они всегда содержат множество погрешностей. Устранение всех незначительных погрешностей совершенно необязательно. Но обнаружение и исправление грубых просчетов и ошибок, являющихся следствием неисправности измерительной аппаратуры, искажений в процессе передачи сообщений по каналам связи и т.д. совершенно необходимо. Несмотря на то, что так называемые грубые ошибки встречаются не очень часто, они могут существенно снизить точность анализа и прогноза метеорологических полей.

В связи с вышеизложенным главной целью контроля является именно предупреждение искажающего влияния грубых ошибок.

На первом этапе контроля необходимо отделить сомнительную информацию от достоверной. Затем должен быть поставлен диагноз ошибки. Это означает обнаружение ошибки, ее локализация и классификация. Если исправление невозможно, то сообщение, содержащее ошибку, бракуется и исключается из дальнейшего анализа.

В условиях современной технической революции и всеобщей компьютеризации прогностической метеорологической службы необходимо рассматривать именно автоматизированные методы контроля. Такие методы в отличие от субъективных приемов, используемых непосредственно при ручной обработке метеорологической информации, позволяют подвергнуть контролю весь объем начальных данных и устранить большую часть грубых ошибок.

В настоящее время для контроля аэрологической информации используется вертикальный статический контроль, основанный на проверке выполнения уравнения статики в пределах каждого слоя между стандартными изобарическими поверхностями.

10.2. Контроль с использованием невязок

1. Разобьем атмосферу по вертикали на определенное количество слоев, ограниченных основными изобарическими поверхностями: 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200 и 100 гПа. Внутри каждого слоя проинтегрируем уравнение статики атмосферы, записанное в изобарической системе координат – формула (10.1):

$$\frac{\partial h}{\partial P} = -\frac{RT}{gP}, \quad (10.1)$$

где h – геопотенциальная высота изобарической поверхности, в геопотенциальных метрах; P – давление, в гПа; R – универсальная газовая постоянная; T – температура воздуха в градусах Кельвина.

Если предположить линейность профиля температуры и перейти к значениям температуры в шкале Цельсия, то после интегрирования уравнения (9.1) в пределах от P_i до P_{i+1} получается следующая рабочая формула:

$$h_{i+1} - h_i = A_{i+1}^i + B_{i+1}^i (t_i + t_{i+1}), \quad (10.2)$$

где h_i – высота изобарической поверхности, а коэффициенты A и B равны:

$$A_{i+1}^i = \frac{273R}{98} \ln \frac{P_i}{P_{i+1}}, \quad (10.3)$$

$$B_{i+1}^i = \frac{R}{196} \ln \frac{P_i}{P_{i+1}}. \quad (10.4)$$

Значения коэффициентов А и В указаны в таблице 10.1.

Таблица 10.1

Значения коэффициентов А и В

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7
Р, гПа	1000–850	850–700	700–500	500–400	400–300	300–200	200–100
А, дам	130	155	269	178	230	324	554
В, дам/°С	0,24	0,29	0,49	0,33	0,42	0,59	1,02

2. Рассчитаем невязку между левой и правой частью уравнения (9.2) по формуле:

$$\delta_{i+1}^i = h_{i+1} - h_i - A_{i+1}^i - B_{i+1}^i (t_i + t_{i+1}). \quad (10.5)$$

Полученную по формуле (10.5) невязку δ необходимо сравнить с допустимой для данного слоя невязкой Δ , которая представлена в таблице 10.2.

Таблица 10.2

Допустимые невязки статического контроля

Слой	1000–850	850–700	700–500	500–400	400–300	300–200	200–100
Δ_{i+1}^i	3	3	3	4	4	8	12

При этом возможен один из двух случаев:

1. Если модуль невязки δ меньше допустимой невязки Δ , то с высокой степенью уверенности можно считать расчет высот h на уровнях i или $i + 1$ и в температуре t на уровнях i или $i + 1$ правильными.

2. Если модуль невязки δ больше допустимой невязки Δ , то вероятна ошибка или в расчете высот h на уровнях i или $i + 1$, или в температуре t на уровнях i или $i + 1$, или в расчете высот и температуры.

10.3. Контроль с использованием эталонных данных

Наиболее эффективным и простым способом проверки правильности определения высот изобарических поверхностей является сравнение результатов данного зондирования с данными другого – эталонного зондирования. Обычно сравнение производят с данными предыдущего, уже проверенного зондирования, либо данными стандартной атмосферы. Сущность проверки состоит в том, что для каждой изобарической поверхности предвычисляются разности их высот для двух зондирований, одно из которых считается эталонным. Разность полученных разностей и служит критерием правильности определения высот изобарических поверхностей.

Расчетная формула для этих разностей может быть получена из барометрической формулы для определения толщины (ΔH_i) изотермического слоя с известными значениями давлений на нижней (p_i) и верхней (p_{i+1}) границах:

$$\Delta H_i = \frac{R\bar{T}_{vi}}{g} \ln \frac{p_i}{p_{i+1}}, \quad (10.6)$$

где \bar{T}_{vi} – средняя виртуальная температура слоя; R – газовая постоянная сухого воздуха; g – ускорение свободного падения.

Тогда для определения высоты любой изобарической поверхности относительно уровня моря можно использовать следующее выражение:

$$H = H_0 + \sum_{i=1}^B \Delta H_i, \quad (10.7)$$

где H_0 – высота аэрологической станции над уровнем моря.

Записав выражение (10.7) для двух зондирований и вычтя их друг из друга, приходим к расчетной формуле, позволяющей найти предвычисленную разность высот любой изобарической поверхности для двух сравниваемых зондирований.

Так, для первой поверяемой поверхности ($p_1 = 850$ гПа) исходная расчетная формула будет иметь вид:

$$\Delta H_{p_1} = \delta H_0 + n'_0 \Delta p_0 + F_1(\Delta \bar{T}_1, p'_0), \quad (10.7)$$

где δH_0 – разность высот станций над уровнем моря (если сравниваются зондирования на одной станции, то, очевидно, что $\delta H_0 = 0$);

n'_0 – значение барической ступени у земли, рассчитанное по данным эталонного зондирования ($n'_0 = 8,8$ м/гПа); Δp_0 – алгебраическая разность наземных давлений для сравниваемых зондирований; $F_1(\Delta T_1, p''_0)$ – функция, показывающая изменение толщины слоя за счет изменения его средней температуры $\Delta \bar{T}_1$ в зависимости от давления у поверхности земли для проверяемых результатов зондирования (p''_0).

Знак второго и третьего слагаемых в формуле (10.7) определяется знаком величин Δp_0 и $\Delta \bar{T}_1$. Значение функции $F_1(\bar{T}_1, p'_0)$ определяется по таблице 10.3 приложения.

Для второго и последующего слоев предвычисленные разности высот могут быть найдены по формуле:

$$\delta H_{p_n} = \delta H_{p_1} + \sum_{i=1}^n F_i(\Delta \bar{T}_i), \quad (10.8)$$

где $F_i(\Delta \bar{T}_i)$ – функция, учитывающая изменение толщины i -го слоя сравниваемых зондирований за счет изменения средней температуры данного слоя. Значение функции $F_i(\Delta \bar{T}_i)$ затабулированы в приложении 10.2.

Знак функции $F_i(\Delta \bar{T}_i)$ определяется знаком $\Delta \bar{T}_i$.

Результаты предвычисленных таким путем разностей высот основных изобарических поверхностей сравниваются с фактическими разностями δH_{p_i} , что позволяет судить о правильности обработки данных зондирования. Критерием правильности этой обработки зондирования является выполнение условия:

$$|\Delta_i(\delta H)| = |\delta H_{p_i} - \delta H_{p_{фi}}| \leq 20. \quad (10.9)$$

Бланк технического контроля и пример его заполнения представлены в таблицах 10.3 и 10.4.

10.4. Содержание отчета

1. Используя результаты первичной обработки данных температурного зондирования атмосферы, выполнить проверку правильности определения высот основных изобарических поверхностей. В качестве эталонного зондирования использовать данные стандартной атмосферы (см. колонки 1, 2 и 3 таблицы 10.3).

Таблица 10.3

Бланк таблицы для проверки правильности расчета
высот основных изобарических поверхностей

Проверяемый уровень, гПа	$p'_0 = 1013,3$ гПа			$p''_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ гПа			$\Delta p_0 = p''_0 - p'_0 =$ гПа			$n'_0 =$ 8,8 м/гПа	
	H' м	T' °С	T'' °С	H'' м	$\frac{\delta H_\phi}{H'' - H'}$ м	$\frac{\Delta T}{T'' - T'}$ °С	$\Delta \bar{T}$ °С	$n'_0 \Delta p_0$ м	$F_n(\Delta \bar{T})$ м	δH_p м	$\frac{\Delta(\delta H)}{\delta H_p - \delta H_\phi}$ м
Земля	0	15									
850	1457	5,5									
700	3014	-4,6									
500	5579	-21,2									
400	7194	-31,7									
300	9177	-44,6									
250	10380	-52,4									
200	11806	-56,5									
150	13638	-56,5									
100	16221	-56,5									

Таблица 10.4

Пример заполнения таблицы для проверки правильности расчета
высот основных изобарических поверхностей

Проверяемый уровень, гПа	$p'_0 = 1013,3$ гПа			$p''_0 = 1011,9$ гПа			$\Delta p_0 = p''_0 - p'_0 =$ -1,4 гПа			$n'_0 = 8,8$ м/гПа	
	H' м	T' °С	T'' °С	H'' м	$\frac{\delta H_\phi}{H'' - H'}$ м	$\frac{\Delta T}{T'' - T'}$ °С	$\Delta \bar{T}$ °С	$n'_0 \Delta p_0$ м	$F_n(\Delta \bar{T})$ м	δH_p м	$\frac{\Delta(\delta H)}{\delta H_p - \delta H_\phi}$ м
Земля	0	15,0	0,2	110	110	-14,8			110	0	0
850	1458	5,5	-8,0	1450	22	-13,5	-14,2	-12	-72	26	4
700	3015	-4,6	-16,2	2975	-40	-11,6	-12,6		-71	-45	-5
500	5578	-21,3	-30,4	5420	-158	-9,1	-10,3		-102	-147	11

2. Результаты проверки представить в виде таблицы (см. пример – таблица 10.3). Добиться выполнения на каждом уровне условия (10.9).

10.5. Приложения

Приложение 10.1

Изменение высоты (м) изобарической поверхности 850 гПа в зависимости от значений наземного давления и изменения средней температуры слоя от поверхности земли до изобарической поверхности 850 гПа

ΔT_i , °C	p, гПа															
	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060
1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6
2	4	5	5	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	12	12	13
3	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19	19
4	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	23	24	25	26
5	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	31	32
6	12	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	34	35	37	39
7	14	16	18	21	23	25	27	29	31	33	35	37	40	41	43	45
8	16	19	21	24	26	29	31	33	36	38	40	43	45	47	50	52
9	18	21	24	27	29	32	35	38	40	43	46	48	51	53	56	58
10	20	23	26	30	33	36	39	42	45	48	51	53	57	59	62	65
11	22	26	29	32	36	39	43	46	49	52	56	59	62	65	68	71
12	24	28	32	35	39	43	47	50	54	57	61	64	68	71	74	78
13	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	69	74	77	81	84
14	28	32	37	41	46	50	54	58	63	67	71	75	79	83	87	91
15	30	35	40	44	49	54	58	63	67	72	76	80	85	89	93	97

Приложение 10.2

Изменение толщины слоя δH (м) между изобарическими поверхностями в зависимости от изменения средней температуры слоя ΔT_i (°C)

Целые градусы	Десятые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	850–700 гПа									
0	0	1	1	2	2	3	3	4	5	5
1	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11
2	11	12	12	13	14	14	15	15	16	16
3	17	18	18	19	19	20	20	21	22	22
4	23	24	24	24	25	26	26	27	27	28
5	28	29	30	30	31	31	32	32	33	34
6	34	35	35	36	36	37	38	38	39	39

Целые градусы	Десятые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	40	40	41	42	42	43	43	44	44	45
8	46	46	47	47	48	48	49	50	50	51
9	51	52	52	53	54	54	55	55	56	56
10	57	58	58	59	59	60	60	61	62	62
	700–500 гПа									
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
3	30	31	32	32	33	34	35	36	37	38
4	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
5	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
6	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
7	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
8	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
9	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
10	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
	500–400 гПа									
0	0	1	1	2	3	3	4	5	5	6
1	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12
2	13	14	14	15	16	16	17	18	18	19
3	20	20	21	22	22	23	24	24	25	26
4	26	27	27	28	29	29	30	31	31	32
5	33	33	34	35	35	36	37	37	38	39
6	39	40	41	41	42	43	43	44	44	45
7	46	46	47	48	48	49	50	50	51	52
8	52	53	54	54	55	56	56	57	58	58
9	59	60	60	61	62	63	63	64	64	65
10	66	66	67	67	68	69	69	70	71	71
	400–300 гПа; 200–150 гПа									
0	0	1	2	2	3	4	5	6	7	8
1	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16
2	17	18	19	19	20	21	22	23	24	25
3	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33
4	34	35	35	36	37	38	39	40	40	41
5	42	43	44	45	46	46	47	48	49	50
6	51	52	52	53	54	55	56	56	57	58

Целые градусы	Десятые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	59	60	61	62	62	63	64	65	66	67
8	68	68	69	70	71	72	73	74	74	75
9	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84
10	84	85	86	87	88	88	89	90	91	92
	300–250 гПа									
0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
1	5	6	6	7	7	8	8	9	10	10
2	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
3	16	16	17	18	18	19	19	20	20	21
4	21	22	22	23	23	24	24	25	25	26
5	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31
6	32	32	33	33	34	34	35	36	36	37
7	37	38	38	39	39	40			41	42
8	42	43	44	44	45	45	46	47	47	47
9	48	48	49	49	50	50	51	51	52	53
10	53	53	54	55	55	56	56	57	57	58
	250–200 гПа									
0	0	1	1	2	3	3	4	5	5	6
1	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12
2	13	14	14	15	16	16	17	18	18	19
3	20	20	21	21	22	23	23	24	25	25
4	26	27	27	28	29	29	30	31	31	32
5	33	33	34	34	35	36	36	37	38	38
6	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45
7	45	46	47	47	48	49	49	50	51	51
8	52	53	53	54	55	55	56	56	57	58
9	58	59	60	60	61	62	62	63	64	64
10	65	66	66	67	68	68	69	70	70	71
	150–100 гПа									
0	0	1	2	4	5	6	7	8	9	11
1	12	13	14	16	17	18	19	20	21	23
2	25	26	27	29	30	31	32	33	34	35
3	36	37	38	39	40	42	43	44	45	46
4	48	49	50	51	52	54	55	56	57	58
5	59	61	62	63	64	65	67	68	69	70
6	71	72	74	75	76	77	78	80	81	82

Окончание таблицы

Целые градусы	Десятые доли									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94
8	95	96	98	99	100	101	102	193	105	106
9	107	108	109	111	112	113	114	115	116	118
10	119	120	121	123	124	125	126	127	128	130

Лабораторная работа № 11.

Построение аэрологической диаграммы

Цель работы: освоить методику построения аэрологической диаграммы по данным комплексного температурно-ветрового зондирования и методику интерпретации изображенной на ней информации.

Материалы для работы:

- 1) данные комплексного температурно-ветрового зондирования:
 - данные, полученные при выполнении лабораторных работ № 8 и № 9;
 - данные аэрологического зондирования для заданных преподавателем пункта аэрологического зондирования и даты в Арктическом или Антарктическом регионах (см. приложение 11.2);
- 2) бланки аэрологической диаграммы.

11.1. Схема линий аэрологической диаграммы

Для анализа атмосферных процессов и прогноза погоды широко используются аэрологические диаграммы (АД) и вертикальные разрезы атмосферы. Аэрологические диаграммы предназначены для наглядного представления хода метеорологических элементов с высотой.

В Росгидромете применяются три вида аэрологических диаграмм, одна из которых построена в прямоугольной системе координат, а две других для тёплого и холодного периода года – в косоугольной.

1) АД прямоугольная (индекс ф. АДП). Эта форма АД независимо от времени года может быть использована для анализа данных наблюдений в слое атмосферы от 1050 гПа до 100 гПа и температуры от 40 °С до – 70 °С.

2) АД косоугольная для теплого периода (индекс ф. АДКТ), предназначена для анализа данных температурного зондирования в слое атмосферы от 1050 гПа до 100 гПа и температуры от 40 °С до –25 °С.

3) АД косоугольная для холодного периода (индекс ф. АДКХ), имеющая шкалы давления от 1050 гПа до 100 гПа, температуры от 10 °С до – 55 °С.

В отличие от АДП, изотермы на АДКХ и АДКТ наклонены к изобарам под углом 50° , что позволяет более точно производить термодинамический анализ результатов зондирования.

Аэрологическая диаграмма представляет собой семейство линий. Теоретические основы построения АД перечисленных форм практически аналогичны, поэтому рассмотрим устройство АДП, как наиболее часто употребляемое.

На АД имеется 5 семейств изолиний, с помощью которых расчеты, требующие большой точности, заменяются несложными графическими построениями и элементарными расчетами.

1. Изобары представляют собой сплошные горизонтальные линии (обычно коричневые), проведенные через 10 гПа. Ордината у каждой изобары – P_x , $x = 0,286$. Формы АДКТ и АДКХ позволяют отражать результаты зондирования в слое от 1050 до 100 гПа, форма АДП – от 1050 до 10 гПа. Шкала давления расположена на правом обрезе диаграммы.

2. Изотермы представляют собой вертикальные сплошные линии, проведенные через 1°C , шкала изотерм в градусах Цельсия расположена на нижнем обрезе АД.

3. Изограммы – прямые линии (обычно зелёные), наклонённые вправо. Это линии равных значений массовой доли водяного пара (%). На АД изограммы – это наклоненные влево непрерывные зеленые линии для значений от 0,001 % до 50 %. Обозначения даны выше изобары 650 гПа.

4. Сухие адиабаты (линии равных потенциальных температур в градусах Цельсия), представляющие собой наклонные влево сплошные линии. Цифры, нанесенные у некоторых из них, указывают потенциальную температуру $\theta^\circ\text{C}$. Сухие адиабаты показывают адиабатическое изменение температуры частицы сухого или влажного ненасыщенного воздуха при его опускании или подъёме.

5. Влажные адиабаты – линии равных значений псевдопотенциальной температуры (Θ_p), представляющие собой наклонные прерывистые (штриховые) линии (обычно зелёные), отличающиеся от других изолиний на АД большей кривизной линии. Показывают адиабатическое изменение температуры частицы влажного воздуха при его опускании или подъёме. Их значения написаны на каждой влажной адиабате в Кельвинах вдоль левого вертикального обреза бланка. Указанные линии представляют собой также потенциальные температуры смоченного термометра адиабатически поднимающегося воздуха для значений температуры в интервале

от $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, подписанные аналогично соответствующими значениями потенциальной температуры смоченного термометра. Потенциальной температурой смоченного термометра (θ_1) называется такая температура, которую принимает влажная частица, если её опустить по влажной адиабате с уровня конденсации до уровня 1000 гПа.

На бланке АД нанесены дополнительные линии и обозначения:

- шкала виртуального добавка дана на изобарах 900, 720 и 520 гПа. Значения указаны для насыщенного воздуха в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$);

- шкала расстояний между основными изобарическими поверхностями (в гп дкм) изображена на изобарах 925, 770, 600, 400, 250, 150, 75, 40, 25 и 15 гПа, т. е. дана для 10 уровней;

- шкала для расчета величины энергии неустойчивости (δA), нанесена на поле справа. Численные значения этой шкалы имеют размерность, выраженную в дж/см-2 при подъеме массы воздуха в 1 кг.

Номограмма для определения относительной влажности (f) представлена в правом верхнем углу. На ней изображены кривые, представляющие зависимость между относительной влажностью и дефицитом точки росы, для ряда значений температуры воздуха,

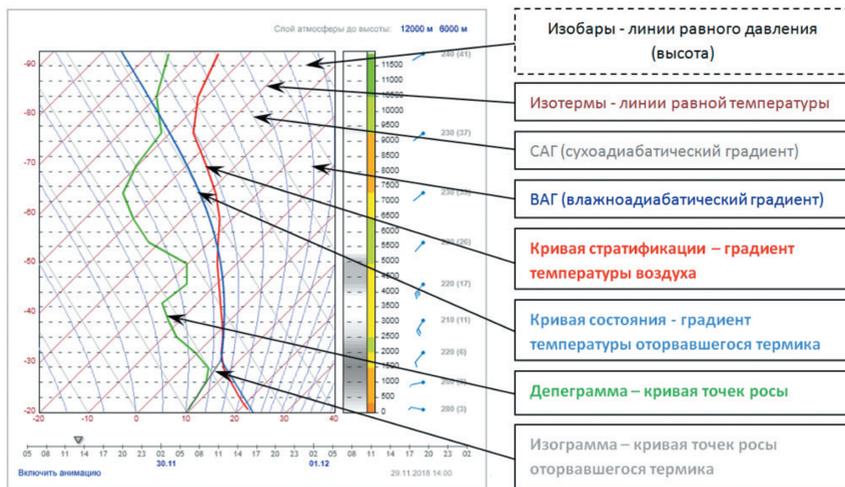


Рис. 11.1. Бланк аэрологической диаграммы с нанесенными на нее результатами комплексного температурно-ветрового зондирования

кратных 10. Столбец слева предназначен для нанесения данных наблюдений за ветром.

Общий вид бланка аэрологической диаграммы и пояснение о имеющихся на ней линиях представлено на рис. 11.1.

11.2. Построение аэрологической диаграммы

Процесс построения АД заключается в нанесении на ее бланк семейства кривых, построенных по данным комплексного температурно-ветрового зондирования. Пример профессионально заполненного бланка АД представлен на рис. 11.2.

В процессе выполнения данной лабораторной работы студенты должны пользоваться цветными карандашами, и поэтому общий вид построенной АД будет отличаться от профессиональной. Пример построенной таким образом АД представлен на рис. 11.3 и 11.4.

Прежде всего, на бланк аэрологической диаграммы необходимо по данным о давлении, температуре воздуха и температуре точки росы нанести точки, соответствующие основным изобарическим

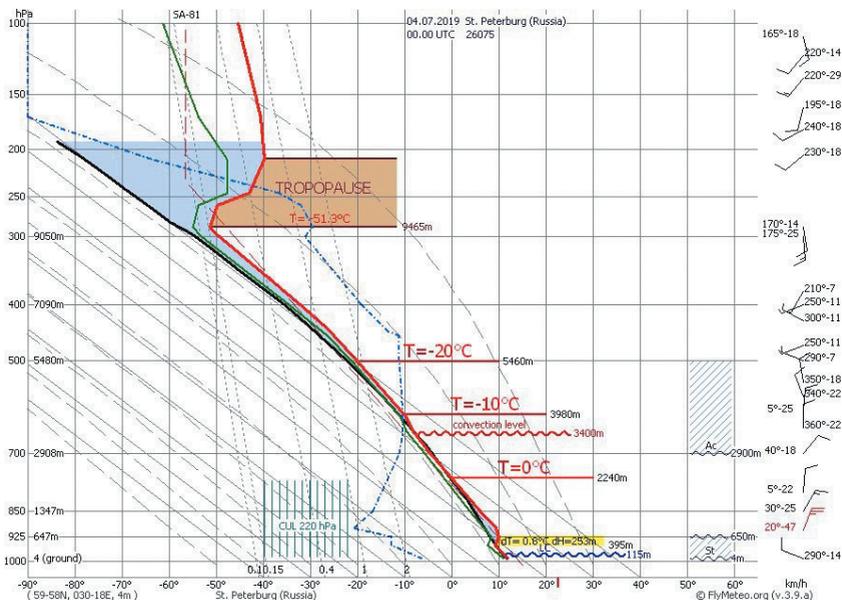


Рис. 11.2. Пример профессионально заполненного бланка АД в прямоугольной системе координат

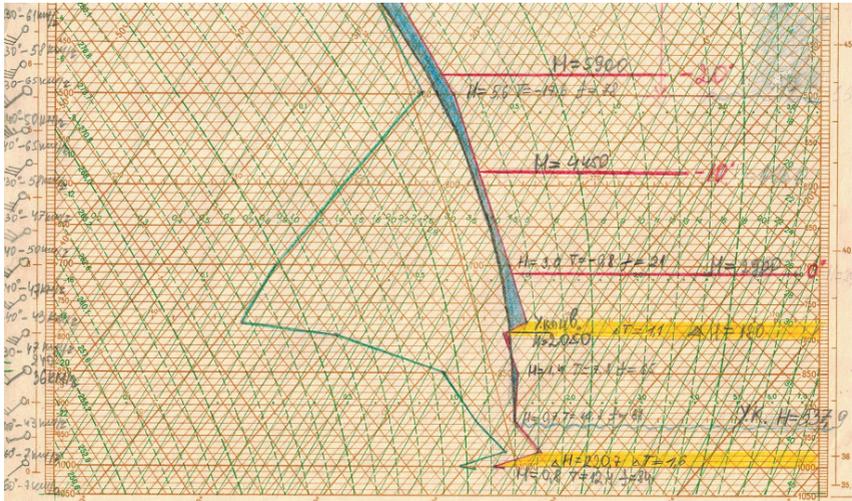


Рис. 11.3. Пример заполнения бланка аэрологической диаграммы (нижняя часть)

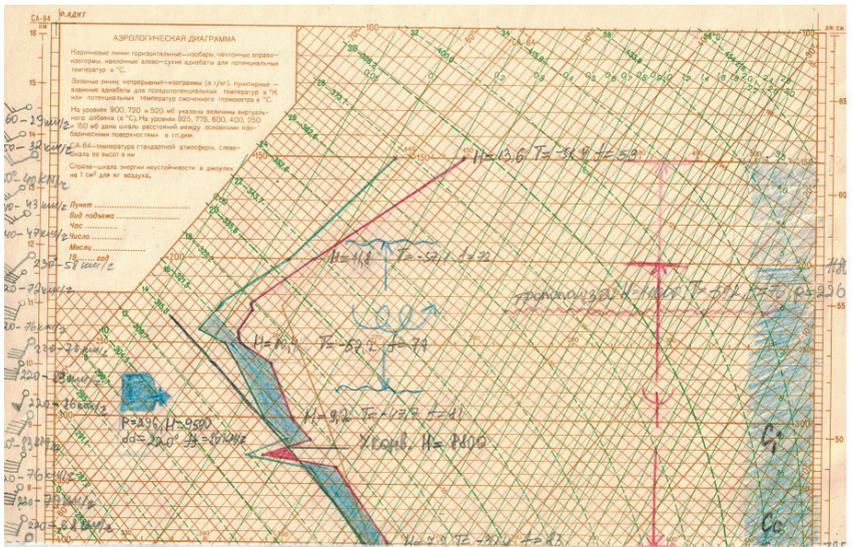


Рис. 11.4. Пример заполнения бланка аэрологической диаграммы (верхняя часть)

поверхностям и особым точкам по температуре (красным цветом) и влажности (значения точки росы наносятся зеленым цветом).

Построить кривую стратификации. Для этого, не пропуская ни одной точки, ломаной линией соединить точки значений температуры воздуха. Кривая стратификации проводится красным цветом. Кривая стратификации показывает распределение температуры воздуха с высотой над пунктом зондирования атмосферы.

Построить кривую точки росы (депеграмму). Для этого также, как и при построении кривой стратификации, необходимо соединить точки соответствующих значений температуры точки росы. Эта линия проводится зеленым цветом.

Уровень конденсации определяется как высота, на которой сухая адиабата, проведенная от значения температуры на начальном уровне, пересекается с изограммой, проведенной от того же начального уровня (нижняя точка кривой стратификации или верхняя граница приземной инверсии или изотермии), проходящей через температуру точки росы. Высота определяется по формуле:

$$H_{\text{ук}} = 122 (T_0 - Td_0) + \Delta H_{\text{и}}, \quad (11.1)$$

где $(T_0 - Td_0)$ – дефицит температуры точки росы на начальном уровне, $\Delta H_{\text{и}}$ – толщина приземной инверсии или изотермии в метрах.

Уровень конденсации отмечается синей волнистой линией, подписывается «У.К.», ставится значение высоты.

Построить кривую состояния. Эта линия показывает адиабатические изменения состояния вертикально смещающейся частицы.

До уровня конденсации поднимается ненасыщенный воздух, изменение температуры частицы до уровня конденсации происходит по сухоадиабатическому закону, и поэтому кривая состояния в своей нижней части совпадает с сухой адиабатой, выше уровня конденсации – по влажноадиабатическому закону.

Выше уровня конденсации подниматься вверх будет насыщенный воздух, и, следовательно, кривая состояния пойдет вдоль влажной адиабаты.

Кривая состояния проводится черным цветом. При построении кривой состояния за начальный уровень принимается нижняя точка на кривой стратификации или точка, соответствующая верхней границе приземной инверсии или изотермии.

Правее кривой стратификации надписать черным цветом против соответствующего уровня высоты основных изобарических поверхностей, температуру и относительную влажность на них.

Значения высот в километрах с точностью до сотых, температура в градусах Цельсия до десятых, относительная влажность до целых.

Данные о распределении ветра с высотой нанести в крайнем левом столбце аэрологической диаграммы на всех основных изобарических поверхностях и высотах особых точек по ветру. Они обозначаются чёрной стрелкой с оперением, возле которой записывается направление и скорость ветра, переведённая в км/ч.

Отметить уровни, на которых находятся изотермы 0, -10 и -20 °С. На высотах с соответствующими значениями температур вправо от кривой стратификации проводятся красным цветом выносные линии и надписываются значения температуры. Чёрным цветом подписывается их высота, которая находится методом интерполяции.

Выделить зоны с положительной и отрицательной энергией неустойчивости (см. рис. 11.5). Если кривая состояния находится правее кривой стратификации, то в этом слое энергия неустойчивости положительная. Образованная этими кривыми площадь закрашивается красным цветом. В тех случаях, когда кривая состояния располагается левее кривой стратификации, энергия неустойчивости отрицательна. Площадь между этими линиями закрашивается синим цветом.

Выделить зоны инверсии и изотермии. От верхней и нижней границ всех зон (до тропопаузы) вправо от кривой стратификации чёрным цветом провести выносные линии. Слои выделить жёлтым

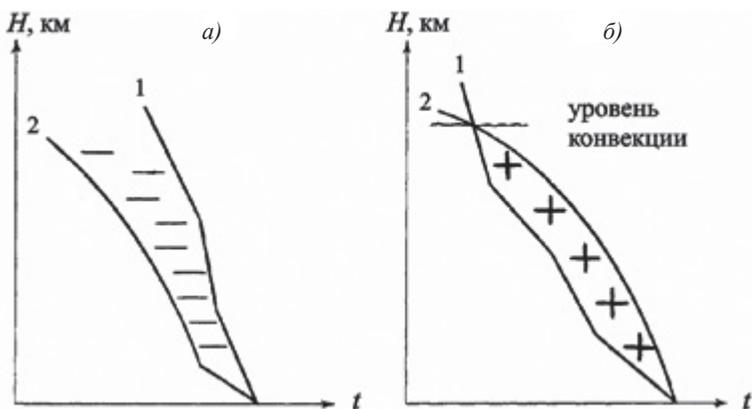


Рис. 11.5. Устойчивая (а) и неустойчивая (б), (которая благоприятствует развитию и поддержанию конвекции) стратификация воздуха: состояние воздуха:

1 – кривая стратификации, 2 – кривая состояния

цветом и внутри каждой зоны надписать толщину зоны ΔH (м), для инверсии – перепад температур ΔT ($^{\circ}\text{C}$), для изотермии – температуру T ($^{\circ}\text{C}$).

Выделить зону тропопаузы. На уровне тропопаузы коричневым цветом провести волнистую линию, выше которой пишется слово «Тропопауза» и значения высоты, давления, температуры и относительной влажности на её уровне.

Выделить зоны облачности. Данные дефицита точки росы на различных уровнях сравнивают со значениями, приведёнными в таблице 11.1. На тех уровнях, где реальный дефицит точки росы меньше или равен значениям, приведённым в столбце 2 таблицы 11.1, следует указать облачность, а на уровнях где дефицит больше или равен значениям, приведённым в столбце 3 таблицы 11.1, облачность указывать не следует. Если дефицит точки росы находится между критическими значениями, указанными в столбцах 2 и 3, то для выделения облачных слоёв необходимо привлекать дополнительные характеристики. Нижняя и верхняя границы каждого облачного слоя выделяются волнистой линией синего цвета, а зона облачности заштриховывается, чёрным цветом подписываются высоты верхней и нижней границы каждого облачного слоя, и указывается тип облаков в соответствии с их положением по высоте.

Таблица 11.1

Значения дефицита температуры точки росы,
при которых наблюдается или отсутствует облачность

P (гПа)	Облачность	
	наблюдается	отсутствует
1	2	3
950	$\leq 1,6$	$\geq 4,5$
900	1,5	4,5
850	1,5	5,2
800	1,7	6,0
750	1,8	7,0
700	1,9	7,2
650	2,0	8,0
600	2,2	8,0
550	2,4	8,2
500	2,5	8,2
400	2,8	8,3
300	3,2	8,5
200	4,0	9,0

Выделить зоны обледенения в тех слоях атмосферы, где:

- наблюдаются отрицательные температуры воздуха,
- присутствует облачность.

Верхняя и нижняя границы каждого слоя зоны обледенения отмечаются красной линией, а в середине слоя ставится значок обледенения.

Определить зоны конденсационных следов за самолётами. Нижняя граница слоя расположена на уровне пересечения кривой стратификации с изограммой 0,15 г/кг, а верхняя граница – на уровне пересечения кривой стратификации с изограммой 0,10 г/кг. Обе границы слоя выделяются волнистой синей линией, а в середине слоя проводится синяя спиральная линия.

На аэрологической диаграмме уровень конвекции определяется в точке пересечения кривой стратификации с кривой состояния при переходе от положительных значений энергии неустойчивости к отрицательным. От полученной таким образом точки вправо проводится чёрным цветом выносная линия, около которой записываются «Уровень конвекции» и её высота, найденная методом интерполяции.

Выделить положение атмосферного фронта над пунктом зондирования. В тех случаях, когда на кривой стратификации на высотах наблюдается значительное уменьшение вертикального градиента температуры воздуха ($\gamma \leq 0,2$ °C/100 м), эти слои можно отождествлять с положением фронтальной зоны. Дополнительным признаком того, что это фронтальная зона, а не инверсия оседания, является постоянство (или увеличение) относительной влажности с высотой. На наличие фронтальной зоны указывает резкое изменение направления ветра с высотой: против часовой стрелки при холодном фронте и по часовой – при тёплом. Фронтальная зона закрашивается цветом в зависимости от типа фронта, внутри записывается толщина фронтальной зоны ΔH (м) и изменение температуры воздуха с высотой ΔT (°C). Если температура с высотой продолжает уменьшаться, то вместо ΔT записывается вертикальный градиент температуры γ .

На уровнях максимального ветра нарисовать большую синюю стрелку и указать давление, высоту, направление и скорость ветра в километрах в час.

По значениям вертикального сдвига скорости ветра, изменению направления ветра с высотой и вертикального градиента

температуры (γ) производят анализ условий болтанки динамического происхождения. В качестве критериев вышеуказанных градиентов приняты следующие значения:

- сдвиг скорости ветра – 10 м/с на км;
- сдвиг ветра по направлению – 15 град/км;
- градиент температуры – 0,7 °С / 100 м.

Если в анализируемом слое атмосферы хотя бы один из фактических градиентов равен или превышает значения вышеуказанных критериев, то в этом слое отмечают болтанку. Границы слоев болтанки обозначаются горизонтальными отрезками красного цвета в столбце для нанесения данных о ветре и символом болтанки, справа от которых черным цветом наносят значения высот с точностью до десятков метров.

11.3. Анализ аэрологической диаграммы

Анализ аэрологической диаграммы включает нижеследующие операции.

- Выделение площади положительной и отрицательной энергии неустойчивости (ЭН) производится путём закрашивания соответствующих слоев синим (отрицательная ЭН) или красным (положительная ЭН).
- Выделение границ облачных слоев волнистой линией (по верхней и нижней границам облачности). Облачный слой заштриховывают наклонными линиями синего цвета, в середине слоя проставляют форму облаков и толщину облачного слоя в метрах.
- Выделение зон осадков вертикальными зелеными штрихами, проведенными от нижней границы облачности до поверхности Земли. Внутри зоны проставляется вид осадков (символами синоптического кода КН-01) зеленым цветом.
- Обозначение слоев обледенения (ψ) и болтанки (Λ) соответствующими условными знаками красного цвета с указанием интенсивности показателем степени: « ψ_0 » – слабое явление, « ψ_2 » – сильное явление, « ψ_1 » – умеренное явление. Знаки проставляют в середине слоя, вверх и вниз от знака обледенения проводятся стрелки, указывающие толщину слоя, слои болтанки отмечают волнистой вертикальной линией справа от кривой стратификации.
- Слои тумана закрашиваются желтым цветом с указанием интенсивности и характера тумана (словесно).

- Слои инверсий и изотермий (задерживающие слои атмосферы) выделяются линиями жёлтого цвета по их верхней и нижней границам. В середине слоя проставляется его толщина в метрах, величина прироста температуры воздуха, характер задерживающего слоя (словесно, например, радиационная, оседания и т.д.).
- Определение уровня тропопаузы как зоны, расположенной выше поверхности 500 гПа, между слоем с большими значениями вертикального градиента температуры в верхней тропосфере и слоем изотермии, инверсии или замедленного падения температуры воздуха с высотой в верхней тропосфере. За начало тропопаузы принимается уровень, где значение вертикального температурного градиента составляет $0,2^\circ/100$ м и менее. Нижняя и верхняя границы тропопаузы выделяются коричневыми линиями, справа от линий проставляются высоты границ в метрах, над линиями – значения температуры воздуха на уровне верхней и нижней границ тропопаузы. Слой тропопаузы слегка закрашивается коричневым цветом. При наличии 2-х тропопауз (полярной и тропической) каждая из них выделяется отдельно.

11.4. Содержание отчета

1. Краткие сведения из теории.
2. Исходные данные зондирования.
3. Обработанные бланки аэрологической диаграммы.
4. Письменный анализ аэрологических диаграмм:
 - устойчивая или неустойчивая воздушная масса,
 - высота и температура уровня конденсации,
 - толщины слоёв инверсий и изотермий с указанием разницы температуры на границах инверсии и температуры изотермии,
 - определение высот верхних и нижних границ облачности,
 - высота уровня конвекции,
 - высоты изотерм 0°C , -10°C , -20°C ,
 - наличие конденсационных следов и их высота,
 - анализ распределения ветра с высотой,
 - высоты уровней максимального ветра,
 - параметры тропопаузы.
5. Письменные ответы на контрольные вопросы (п. 11.5).

11.5. Контрольные вопросы

1. Что называется конвекцией? Назовите причины возникновения конвективных движений.
2. Что называется адиабатическим процессом и где в атмосфере наблюдаются адиабатические процессы?
3. Как и почему изменяется температура в поднимающемся воздухе?
4. Как и почему изменяется температура в опускающемся воздухе?
5. Что называется сухоадиабатическим (влажноадиабатическим) градиентом и чему он равен?
6. Почему влажноадиабатический градиент меньше, чем сухоадиабатический?
7. Почему температура в опускающемся насыщенном воздухе повышается так же, как и при опускании ненасыщенного воздуха?
8. Что называется уровнем конденсации, от каких факторов и как зависит его высота?
9. Что называется уровнем конвекции, от каких факторов и как зависит его высота?
10. Каким образом зависят условия образования облаков от взаимного расположения уровней конвекции и конденсации?
11. Что такое изотерма?
12. Что такое изобара?
13. Что называется сухой (влажной) адиабатой?
14. Что называется изограммой?
15. Что такое кривая стратификации и каким цветом она проводится на АД?
16. Что такое кривая состояния и каким цветом она проводится на АД?
17. Как определяется высота уровня конденсации (конвекции) на АД?
18. Как определить энергию неустойчивости на АД?

11.6. Приложения

Приложение 11.1

Пример заполнения бланка АД

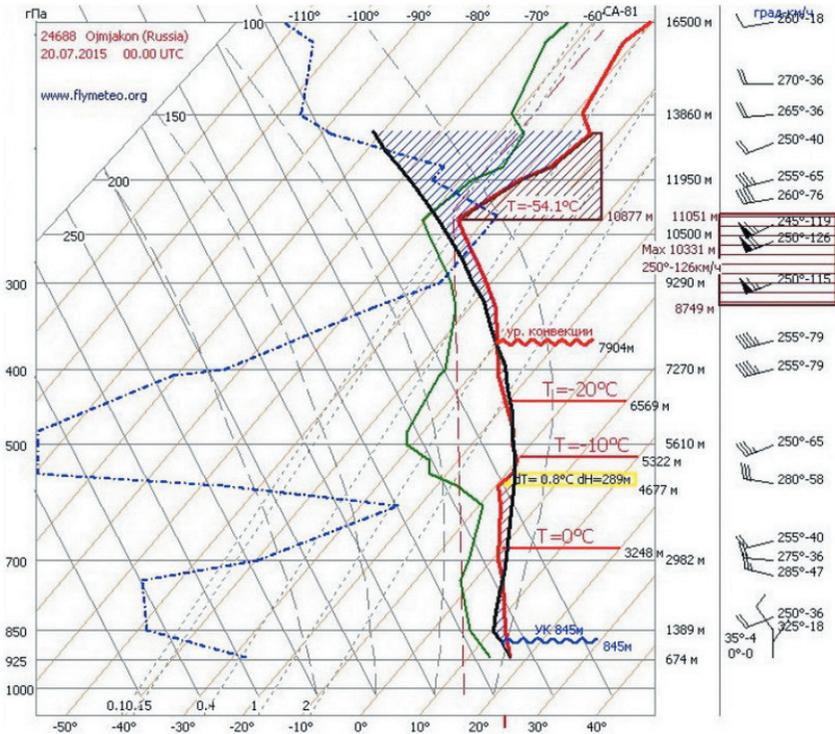


Рис. П11.2. Пример заполнения бланка АД

Приложение 11.2

Порядок формирования файла
с данными аэрологического зондирования атмосферы

1. Зайти на сайт <http://weather.uwyo.edu/> и «кликнуть» в появившемся окошке «Upper Air Observations» (см. рис. П11.2).
2. Кликнуть «Sounding» (см. рис. П11.3).
3. Под надписью «Region» развернуть окошко и кликнуть «Arctic» или «Antarctica» (см. рис. П.11.4).

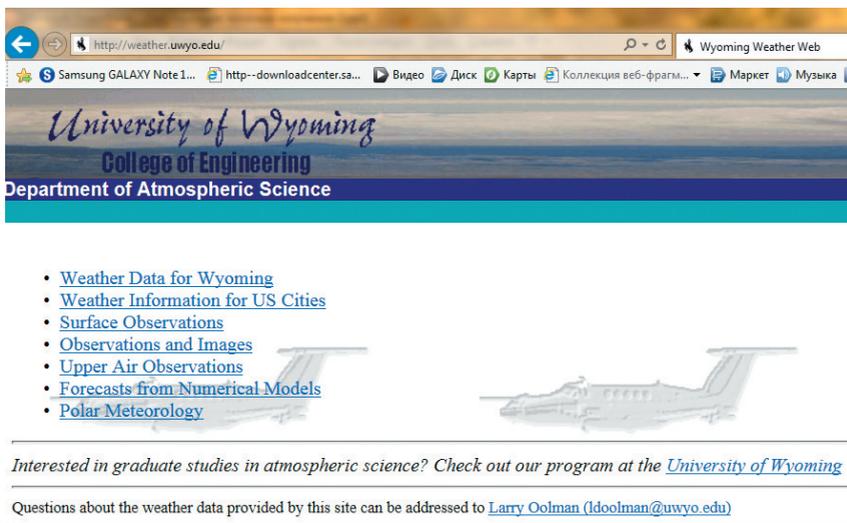


Рис. П11.2. Сайт <http://weather.uwyo.edu/>: вид окошка для выбора «Upper Air Observations»

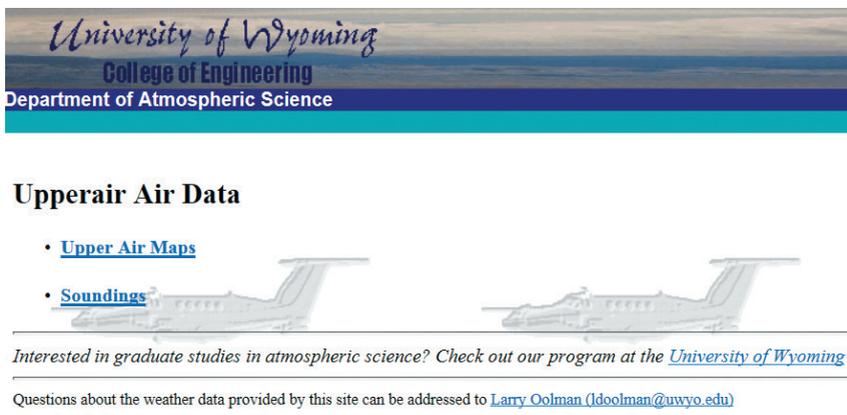


Рис. П11.3. Вид окошка для выбора «Sounding»

4. На появившейся карте «кликнуть» один из указанных преподавателем пунктов (появятся данные текущего зондирования; если нужны данные за другой срок – при выполнении пункта 4 заменить дату) (см. рис. П11.4)

5. Записать полученный файл с расширением «.txt» (см. рис. П11.6)

6. Импортировать полученный текстовый файл в таблицу «Excel» (см. рис. П11.7).

Region	Type of plot	Year	Month	From	To	Station Number
North America	Text: List	2017	Jan	18/00Z	18/00Z	71915

Click on the image to request a sounding at that location or enter the station number above.



Рис. П11.4. Вид окошка для выбора «Region»

22008 Murmansk Observations at 12Z 14 Sep 2019

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1000.0	53									
992.0	121	8.2	4.7	79	5.43	0	14	282.0	297.2	282.9
977.0	245	6.7	3.1	78	4.92	5	19	281.7	295.6	282.6
939.0	569	2.8	-1.1	76	3.77	1	17	281.0	291.7	281.6
925.0	690	2.4	-1.2	77	3.80	0	16	281.8	292.6	282.4
921.0	725	2.0	-1.6	77	3.71	359	15	281.7	292.3	282.3
850.0	1368	-2.9	-5.4	83	3.02	345	14	283.1	291.9	283.6
838.0	1480	-3.6	-6.0	83	2.92	335	12	283.5	292.0	284.0
771.0	2134	-7.7	-9.8	85	2.37	349	10	285.9	293.0	286.3
752.0	2327	-9.1	-11.8	81	2.07	353	9	286.4	292.7	286.8
726.0	2599	-9.3	-19.3	44	1.15	359	9	289.1	292.8	289.3
700.0	2880	-11.1	-19.1	52	1.21	5	8	290.2	294.0	290.4
698.0	2902	-11.2	-19.1	52	1.21	5	8	290.3	294.1	290.5
679.0	3111	-12.4	-19.6	55	1.20	350	6	291.2	295.0	291.4
628.0	3702	-15.8	-21.0	64	1.15	185	6	294.0	297.7	294.2
609.0	3935	-17.1	-21.5	69	1.13	187	6	295.0	298.7	295.2
574.0	4374	-20.0	-25.5	61	0.84	190	8	296.7	299.5	296.8
561.0	4544	-21.1	-27.1	58	0.74	179	7	297.3	299.8	297.4
539.0	4835	-23.6	-29.2	60	0.63	160	6	297.7	299.9	297.9
504.0	5322	-27.8	-32.9	62	0.48	180	10	298.4	300.1	298.5
500.0	5380	-28.3	-33.3	62	0.46	175	12	298.5	300.1	298.6
402.0	6905	-41.0	-47.0	52	0.14	135	21	301.2	301.7	301.2
400.0	6940	-41.3	-47.3	52	0.13	135	21	301.2	301.7	301.3
343.0	7964	-49.5	-56.5	44	0.05	160	31	303.6	303.8	303.6
315.0	8521	-49.6	-57.3	40	0.05	175	39	310.9	311.1	310.9
300.0	8840	-49.7	-57.7	38	0.05	175	33	315.2	315.4	315.2

Рис. П11.5. Фрагмент файла с данными аэрологического зондирования

University of Wyoming - Radiosonde Data
 22008 Murmansk Observations at 12Z 14 Sep 2019

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1000.0	53									
992.0	121	8.2	4.7	79	5.43	0	14	282.0	297.2	282.9
977.0	245	6.7	3.1	78	4.92	5	19	281.7	295.6	282.6
939.0	569	2.8	-1.1	76	3.77	1	17	281.0	291.7	281.6
925.0	690	2.4	-1.2	77	3.80	0	16	281.8	292.6	282.4
921.0	725	2.0	-1.6	77	3.71	359	15	281.7	292.3	282.3
850.0	1368	-2.9	-5.4	83	3.02	345	14	283.1	291.9	283.6
838.0	1480	-3.6	-6.0	83	2.92	335	12	283.5	292.0	284.0
771.0	2134	-7.7	-9.8	85	2.37	349	10	285.9	293.0	286.3
752.0	2327	-9.1	-11.8	81	2.07	353	9	286.4	292.7	286.8
726.0	2599	-9.3	-19.3	44	1.15	359	9	289.1	292.8	289.3
700.0	2880	-11.1	-19.1	52	1.21	5	8	290.2	294.0	290.4
698.0	2902	-11.2	-19.1	52	1.21	5	8	290.3	294.1	290.5
679.0	3111	-12.4	-19.6	55	1.20	350	6	291.2	295.0	291.4
628.0	3702	-15.8	-21.0	64	1.15	185	6	294.0	297.7	294.2
609.0	3935	-17.1	-21.5	69	1.13	187	6	295.0	298.7	295.2
574.0	4374	-20.0	-25.5	61	0.84	190	8	296.7	299.5	296.8
561.0	4544	-21.1	-27.1	58	0.74	179	7	297.3	299.8	297.4
539.0	4835	-23.6	-29.2	60	0.63	160	6	297.7	299.9	297.9
504.0	5322	-27.8	-32.9	62	0.48	180	10	298.4	300.1	298.5
500.0	5380	-28.3	-33.3	62	0.46	175	12	298.5	300.1	298.6
402.0	6905	-41.0	-47.0	52	0.14	135	21	301.2	301.7	301.2
400.0	6940	-41.3	-47.3	52	0.13	135	21	301.2	301.7	301.3
343.0	7964	-49.5	-56.5	44	0.05	160	31	303.6	303.8	303.6

Рис. П11.6. Фрагмент файла с данными
 аэрологического зондирования в формате «.txt»

M18										
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	University of	Wyoming	#ИМЯ?	onde Dat	a					
3	22008 Murmansk	Observ	ations at	12Z 14	Sep	2019				
4	PRES HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
5	hPa m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7	1000.0 53									
8	992.0 121	8.2	4.7	79	5.43	0	14	282	297.2	282.9
9	977.0 245	6.7	3.1	78	4.92	5	19	281.7	295.6	282.6
10	939.0 569	2.8	-1.1	76	3.77	1	17	281	291.7	281.6
11	925.0 690	2.4	-1.2	77	3.8	0	16	281.8	292.6	282.4
12	921.0 725	2	-1.6	77	3.71	359	15	281.7	292.3	282.3
13	850.0 1368	-2.9	-5.4	83	3.02	345	14	283.1	291.9	283.6
14	838.0 1480	-3.6	-6	83	2.92	335	12	283.5	292	284
15	771.0 2134	-7.7	-9.8	85	2.37	349	10	285.9	293	286.3
16	752.0 2327	-9.1	-11.8	81	2.07	353	9	286.4	292.7	286.8
17	726.0 2599	-9.3	-19.3	44	1.15	359	9	289.1	292.8	289.3
18	700.0 2880	-11.1	-19.1	52	1.21	5	8	290.2	294	290.4
19	698.0 2902	-11.2	-19.1	52	1.21	5	8	290.3	294.1	290.5
20	679.0 3111	-12.4	-19.6	55	1.2	350	6	291.2	295	291.4
21	628.0 3702	-15.8	-21	64	1.15	185	6	294	297.7	294.2
22	609.0 3935	-17.1	-21.5	69	1.13	187	6	295	298.7	295.2
23	574.0 4374	-20	-25.5	61	0.84	190	8	296.7	299.5	296.8
24	561.0 4544	-21.1	-27.1	58	0.74	179	7	297.3	299.8	297.4
25	539.0 4835	-23.6	-29.2	60	0.63	160	6	297.7	299.9	297.9
26	504.0 5322	-27.8	-32.9	62	0.48	180	10	298.4	300.1	298.5
27	500.0 5380	-28.3	-33.3	62	0.46	175	12	298.5	300.1	298.6
28	402.0 6905	-41	-47	52	0.14	135	21	301.2	301.7	301.2
29	400.0 6940	-41.3	-47.3	52	0.13	135	21	301.2	301.7	301.3

Рис. П11.7. Фрагмент файла с данными аэрологического зондирования в формате «.xls»

Лабораторная работа № 12.

Аэрологическая телеграмма по коду КН-04

Цель работы: изучить методику кодирования данных комплексного температурно-ветрового зондирования по коду КН-04; приобрести практические навыки по составлению телеграммы с данными комплексного температурно-ветрового зондирования.

Материалы для работы:

1) бланк ТАЭ-3 с обработанными в процессе выполнения лабораторной работы № 9 данными о высотном распределении температуры, влажности, скорости и направлении ветра в атмосфере.

12.1. Описание кода для передачи данных комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы КН-04

Аэрологические данные, содержащиеся в телеграммах, кодируются кодом КН-04. Код КН-04 содержит разделы «А», «В», «С», «D».

Части кода «А» и «С» включают данные о высотах стандартных изобарических поверхностей, температуре воздуха, дефиците точки росы, направлении и скорости ветра на данных изобарических поверхностях.

В разделе «А» приводятся сведения до уровня 100 гПа, в разделе «С» – выше уровня 100 гПа (до уровня 10 гПа).

Разделы «В» и «D» содержат сведения об особых точках атмосферы по температуре воздуха и ветру: до 100 гПа в части кода «В» и выше – в части кода «D».

Часть А. Раздел 1. Сведения о месте и времени наблюдений.

Группа ТТАА – буквенный указатель кодовой формы и ее части.

Группа YYGG_d: YY – число месяца, GG – срок наблюдения по международному согласованному времени (МСВ), округленное до целых часов, I_d – указатель последней стандартной изобарической поверхности, для которой в сводку включены данные о ветре; кодируется по таблице 12.2.

Группа Iiii – индекс стационарной наземной аэрологической станции. II – номер района, iii – номер станции в пределах района. Аэрологическая станция «Воейково» имеет индекс 26063.

Часть «А» кода КН-04

ТТАА	YYGGI _d	IIiii			
99P ₀ P ₀ P ₀	T ₀ T ₀ T _{a0} D ₀ D ₀	d ₀ d ₀ f ₀ f ₀ f ₀	00h ₁ h ₁ h ₁	T ₁ T ₁ T _{a1} D ₁ D ₁	d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁
92h ₂ h ₂ h ₂	T ₂ T ₂ T _{a2} D ₂ D ₂	d ₂ d ₂ f ₂ f ₂ f ₂	85h ₃ h ₃ h ₃	T ₃ T ₃ T _{a3} D ₃ D ₃	d ₃ d ₃ f ₃ f ₃ f ₃
70h ₄ h ₄ h ₄	T ₄ T ₄ T _{a4} D ₄ D ₄	d ₄ d ₄ f ₄ f ₄ f ₄	50h ₅ h ₅ h ₅	T ₅ T ₅ T _{a5} D ₅ D ₅	d ₅ d ₅ f ₅ f ₅ f ₅
40h ₆ h ₆ h ₆	T ₆ T ₆ T _{a6} D ₆ D ₆	d ₆ d ₆ f ₆ f ₆ f ₆	30h ₇ h ₇ h ₇	T ₇ T ₇ T _{a7} D ₇ D ₇	d ₇ d ₇ f ₇ f ₇ f ₇
25h ₈ h ₈ h ₈	T ₈ T ₈ T _{a8} D ₈ D ₈	d ₈ d ₈ f ₈ f ₈ f ₈	20h ₉ h ₉ h ₉	T ₉ T ₉ T _{a9} D ₉ D ₉	d ₉ d ₉ f ₉ f ₉ f ₉
15h ₈ h ₈ h ₈	T ₁₀ T ₁₀ T _{a10} D ₁₀ D ₁₀	d ₁₀ d ₁₀ f ₁₀ f ₁₀ f ₁₀	10h ₁₁ h ₁₁ h ₁₁	T ₁₁ T ₁₁ T _{a11} D ₁₁ D ₁₁	d ₁₁ d ₁₁ f ₁₁ f ₁₁ f ₁₁
88P _t P _t P _t	T _t T _t T _{at} D _t D _t	d _t d _t f _t f _t f _t			
или	88999				
77P _m P _m P _m или	d _m d _m f _m f _m f _m	4v _b v _b v _b v _a			
66P _m P _m P _m или	77999				

Таблица 12.2

Указатель последней изобарической поверхности с данными о ветре

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

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

Группа 99P₀P₀P₀: 99 – отличительные цифры того, что далее кодируются данные у поверхности земли; P₀P₀P₀ – давление у поверхности земли в целых гПа; если давление равно или больше 1000 гПа, то при кодировании число тысяч отбрасывается.

Группа T₀T₀T_{a0}D₀D₀: T₀T₀ – температура воздуха у поверхности земли в целых градусах Цельсия (неокругленная); T_{a0} – приближенное значение десятых долей градуса температуры воздуха у поверхности земли и одновременно указатель знака температуры воздуха; при положительных значениях температура округляется до четных десятых долей в меньшую сторону (цифры кода 0, 2, 4, 6, 8, соответственно), а при отрицательных значениях округление ведется до нечетных долей в большую сторону (цифры кода 1, 3, 5, 7, 9, соответственно). D₀D₀ – дефицит точки росы; при значениях дефицита менее 5,0 °C цифра кода равна значению дефицита, умноженному на 10; при значениях дефицита в 6 °C (цифра кода 56) и более – цифра

кода увеличивается на 1 при увеличении значения дефицита на 1 °С (см. таблицу в Приложении 12.1).

Группа $d_0 d_0 f_0 f_0$: $d_0 d_0$ – направление ветра (откуда дует), округленное до ближайших 5 или 10°; округленное значение направления ветра сообщается в группе следующим образом: на месте $d_0 d_0$ указываются цифры сотен и десятков, а цифра единиц прибавляется к цифре сотен скорости ветра; $f_0 f_0$ – скорость ветра в м/с. Значения единиц направления ветра 1, 2 округляются до 0, 3–7 округляются до 5, 8 и 9 – до следующего десятка.

Далее в разделе 2, начиная с группы $P_1 P_1 h_1 h_1$, передаются данные на стандартных изобарических поверхностях. Кодирование осуществляется следующим образом: $P_1 P_1 \dots P_n P_n$ – давление на стандартных изобарических поверхностях (указываются десятки и сотни гПа); $h_1 h_1 h_1 \dots h_n h_n h_n$ – 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).

Значения геометрической высоты H (м) переводят в значения геопотенциальной высоты $H_{гп}$ (гп.м) по формуле:

$$H_{гп} = \frac{gRH}{g_c(R+H)}, \quad (12.1)$$

где $g_c = 9,80665$ (м/с²) – стандартное ускорение свободного падения, $R = 6356767$ (м) – радиус Земли. Значение ускорения свободного падения в точке наблюдения g находят по формуле:

$$g = 9,80616(1 - 0,0026373 \cos 2\varphi + 0,0000059 \cos^3 2\varphi), \quad (12.2)$$

где φ (градусы) – значение географической широты.

Остальные группы раздела кодируются аналогично соответствующим группам, описанным выше.

Часть А. Раздел 3. Сведения о тропопаузе.

Группа $88P_t P_t$: 88 – отличительные цифры раздела 3; $P_t P_t$ – 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.

Часть А. 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 (2 км), по крайней мере на 10 м/с.

Группа $77P_m P_m P_m$ или $66P_m P_m P_m$: 77 или 66 – отличительные цифры раздела, если максимальный ветер соответствует наивысшей точке зондирования, то используются 66, во всех остальных случаях 77; $P_m P_m P_m$ – 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 $(4v_b v_b v_a v_a)$ – сведения о вертикальных сдвигах ветра, расположенных между уровнем максимума ветра и уровнями на 1 км ниже и выше него. Если направления ветра на уровне максимума и уровнях, отстоящих на 1 км ниже или выше, отличаются менее чем на 20° , сдвиг скорости ветра в этом слое равен абсолютному значению разности скоростей на границах слоя. При разности направлений более 20° вертикальный сдвиг скорости ветра определяется с учётом изменения направления

$$\Delta v_1 = \sqrt{v_{\max}^2 + v_1^2 - 2v_{\max} v_1 \cos(d_{\max} - d_1)}, \quad (12.3)$$

где v_{\max} и d_{\max} – соответственно скорость и направление ветра на высоте максимума скорости ветра; v_1 и d_1 – соответственно скорость и направление ветра на уровне, который на 1 км ниже (или выше) высоты максимума скорости ветра.

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 В кодовой формы.

Остальные группы раздела 1 кодируются так же, как соответствующие группы раздела 1 части «А» кодовой формы, за исключением последнего символа (a_4) в группе YYGGa₄, на месте которого сообщается тип используемого измерительного оборудования; для систем радиозондирования «РПМК-1 – МРЗ-3а» a_4 равно 3.

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

Группы $00P_0 P_0 P_0 T_0 T_0 T_{a0} D_0 D_0$ – данные у поверхности земли (на уровне станции) в момент выпуска радиозонда.

Часть «В» кода КН-04

TTBB	YYGG/	Iiiii	
Особые точки по температуре воздуха:			
00P ₀ P ₀ P ₀	T ₀ T ₀ T _{a0} D ₀ D ₀	11P ₁ P ₁ P ₁	T ₁ T ₁ T _{a1} D ₁ D ₁
22P ₂ P ₂ P ₂	T ₂ T ₂ T _{a2} D ₂ D ₂	33P ₃ P ₃ P ₃	T ₃ T ₃ T _{a3} D ₃ D ₃
...
99P ₉ P ₉ P ₉	T ₉ T ₉ T _{a9} D ₉ D ₉	11P ₁₀ P ₁₀ P ₁₀	T ₁₀ T ₁₀ T _{a10} D ₁₀ D ₁₀
и т.д.			
Особые точки по ветру:			
21212	00P ₀ P ₀ P ₀	d ₀ d ₀ f ₀ f ₀ f ₀	
11P ₁ P ₁ P ₁	d ₁ d ₁ f ₁ f ₁ f ₁	22P ₂ P ₂ P ₂	d ₂ d ₂ f ₂ f ₂ f ₂
...	...	99P ₉ P ₉ P ₉	d ₉ d ₉ f ₉ f ₉ f ₉
11P ₁₀ P ₁₀ P ₁₀	d ₁₀ d ₁₀ f ₁₀ f ₁₀ f ₁₀	12P ₁₁ P ₁₁ P ₁₁	d ₁₁ d ₁₁ f ₁₁ f ₁₁ f ₁₁
и т.д.			
41414 N _h C _l hC _M C _H			

00 – отличительные цифры, P₀P₀P₀ – давление в целых гПа, кодируется так же, как соответствующая группа в разделе 2 части А.

Группа T₀T₀T_{a0}D₀D₀ – температура и дефицит точки росы, кодируется так же, как соответствующая группа в разделе 2 части А.

Группы n₁n₁P₁P₁P₁ ... n_nn_nP_nP_nP_n; n₁n₁ ... n_nn_n – порядковые номера уровней особых точек, нумеруются от нижнего уровня к верхнему (11, 22, ..., 99, 11, ...); P₁P₁P₁ ... 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 T₁T₁T_{a1}D₁D₁ ... T_nT_nT_{an}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.

Часть В. Раздел 6. Данные на уровнях особых точек в профиле ветра.

21212 – отличительная группа раздела.

Группы 00P₀P₀P₀ d₀d₀f₀f₀f₀ – 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 $n_1n_1P_1P_1P_1 \dots n_n n_n P_n P_n P_n$ – порядковые номера и давления на уровнях особых точек ветра; кодируются так же, как и соответствующие группы в разделе 5 части В.

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

Часть В. Раздел 8. Данные об облачности в срок наблюдения.

41414 – отличительная группа раздела. Данные об облачности содержатся в группе $N_h C_L h C_M C_H$. N_h – количество облаков C_L или C_M , если облаков C_L нет; C_L – форма облаков вертикального развития и облаков нижнего яруса (кроме слоисто-дождевых); h – высота нижней границы самых низких облаков; C_M – форма облаков среднего яруса и слоисто-дождевые облака (нижний ярус); C_H – форма облаков верхнего яруса. Основные сведения о содержании группы $N_h C_L h C_M C_H$ представлены в таблице 12.5.

Таблица 12.5

Кодирование облачности раздела 8 по коду КН-04

Цифра кода	N_h (балл)	C_L	h (м)	C_M	C_H
0	Облаков нет	Облаков нет	0–50	Облаков нет	Облаков нет
1	1 или менее (включая следы облаков)	Cu hum, Cu fr	50–100	As trans	Ci unc, Ci vert, Ci int (не увеличиваются)
2	2–3	Cu cong, Cu med	100–200	As op, As pr, Ns	Ci sp, Ci floc
3	4	Cb calv	200–300	Ac trans (однослойные)	Ci ing
4	5	Sc cuf, Sc diur, Sc vesp	300–600	Ac lent, Ac inh	Ci fib, Ci und, Ci vert, Ci int (увеличиваются)
5	6	Sc und, Sc trans, Sc op, Sc cast	600–1000	Ac und, Ac trans (гряды, полосы)	Cs fib Cs neb (увеличиваются, не поднимаясь выше 45° над горизонтом)

Цифра кода	N_h (балл)	C_L	h (м)	C_M	C_H
6	7–8	St neb, St und	1000–1500	Ac cug, Ac vir	Cs fib Cs neb (увеличиваются, поднимаясь выше 45° над горизонтом)
7	9 или более, но с просве- тами	Frnб	1500–2000	Ac op вместе с As или Ns	Cs fib Cs neb (10 баллов)
8	10 (без просветов)	Cu, Sc (кроме Sc diur, Sc vesp)	2000–2500	Ac cuf, Ac floc, Ac cast	Cs fib Cs neb (менее 10 баллов)
9	Облака не видны	Cb cap, Cb inc, Cb hum	2500 или более или облаков нет	Ac (хаотично)	Cc und, Cc lent, Cc cuf, Cc floc
/	Не исполь- зуется	Не вид- ны	Высота не известна	Не видны	Не видны

12.2. Содержание отчета

1. Бланк КАЭ-1 с результатами обработки данных оптического аэрологического зондирования.
2. Телеграмма по коду КН-04, составленная по содержащимся в бланке КАЭ-1 данным.
3. Письменные ответы на контрольные вопросы, содержащиеся в п. 12.3.

12.3. Контрольные вопросы

1. Сколько частей содержит телеграмма в коде КН-04?
2. В какой части телеграммы в коде КН-04 кодируется информация об особых точках по ветру?
3. В какой части телеграммы в коде КН-04 кодируется информация об особых точках высотного профиля температуры?
4. В какой части телеграммы в коде КН-04 кодируется информация об уровне максимального ветра.

12.4. Приложение

Приложение 12.1

Кодирование дефицита температуры точки росы в коде КН-04

Цифра кода	Дефицит точки росы (°C)								
00	0.0	20	2.0	40	4.0	60	10	80	30
01	0.1	21	2.1	41	4.1	61	11	81	31
02	0.2	22	2.2	42	4.2	62	12	82	32
03	0.3	23	2.3	43	4.3	63	13	83	33
04	0.4	24	2.4	44	4.4	64	14	84	34
05	0.5	25	2.5	45	4.5	65	15	85	35
06	0.6	26	2.6	46	4.6	66	16	86	36
07	0.7	27	2.7	47	4.7	67	17	87	37
08	0.8	28	2.8	48	4.8	68	18	88	38
09	0.9	29	2.9	49	4.9	69	19	89	39
10	1.0	30	3.0	50	5.0	70	20	90	40
11	1.1	31	3.1	51	Не исполь- зуются	71	21	91	41
12	1.2	32	3.2	52		72	22	92	42
13	1.3	33	3.3	53		73	23	93	43
14	1.4	34	3.4	54		74	24	94	44
15	1.5	35	3.5	55		75	25	95	45
16	1.6	36	3.6	56	6	76	26	96	46
17	1.7	37	3.7	57	7	77	27	97	47
18	1.8	38	3.8	58	8	78	28	98	48
19	1.9	39	3.9	59	9	79	29	99	49
//	Данные отсутствуют								

Лабораторная работа № 13. Дежурство на радиолокационной станции РПМК-1

Цель дежурства: закрепление теоретических знаний по курсу «Методы зондирования окружающей среды» и приобретение практических навыков при производстве комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы с помощью системы РПМК – МРЗ-3.

Материалы для работы:

- 1) радиопеленгационный метеорологический комплекс РПМК-1;
- 2) радиозонд МРЗ-3а с батареей 28МХМ-0,1;
- 3) комплект поверочной аппаратуры КИПАС.
- 4) бланк аэрологической диаграммы;
- 5) синоптические карты (Интернет);
- 6) цветные карандаши, линейка, миллиметровка.

13.1. Введение

Широкое использование различных методов зондирования окружающей среды позволяет обеспечить многие отрасли хозяйства страны метеорологической информацией в свободной атмосфере, включая пространственно-временные распределения метеорологических величин, для решения широкого круга научных и прикладных задач.

Основные задачи дежурства связаны с освоением студентами:

- теории современных методов измерений метеорологических величин в свободной атмосфере;
- навыков работы с аппаратурой, используемой в оперативной практике;
- принципов функционирования радиотелеметрических систем зондирования.

При этом необходимо понимание способов обработки и анализа информации о физическом состоянии свободной атмосферы с использованием автоматизированных систем обработки метеорологической информации.

Общая трудоемкость дежурства на аэрологической станции: 10 ч на бригаду из 4 человек. При этом: 4 ч – дежурство, 3 ч – обработка данных, 2 ч – самостоятельная работа, 1 ч – зачет.

После прохождения дежурства студент должен знать:

- принципы построения и функционирования радиотехнических комплексов, основные их блоки и взаимодействие этих блоков;
- методы проведения наблюдений параметров в свободной атмосфере с использованием современных радиотелеметрических систем зондирования.

После прохождения дежурства студент должен уметь:

- проводить оперативные измерения при радиозондировании и при радиолокационном наблюдении за облачностью.

13.2. Содержание разделов дежурства

Первое дежурство. В период проведения первого дежурства на учебной аэрологической станции студенты должны освоить следующие виды работ:

- изучить инструкцию по технике безопасности;
- ознакомиться с приборами и оборудованием учебной аэрологической станции;
- изучить основные характеристики, правила эксплуатации РПМК-1;
- включить РПМК-1, подготовить его к работе, провести функциональный контроль;
- подготовить радиозонд МРЗ-3, проверить его технические характеристики на КИПАС (см. лабораторные работы № 6 и № 7);
- провести контрольную выдержку радиозонда;
- определить годность радиозонда;
- выполнить имитацию выпуска радиозонда с помощью встроенной системы РПМК-1;
- провести выключение РПМК-1;
- провести ручную обработку данных температурно-ветрового зондирования по имеющимся материалам (см. лабораторные работы №№ 8–12).

Второе дежурство. В период проведения второго дежурства на учебной аэрологической станции студенты должны освоить следующие виды работ:

- включить РПМК-1, подготовить его к работе, провести функциональный контроль;
- подготовить радиозонд МРЗ-3;
- провести контрольную выдержку радиозонда на воздухе перед выпуском;

- подготовить оболочку, наполнить её водородом;
- провести выпуск радиозонда и обеспечить его сопровождение с помощью РПМК-1;
- провести автоматизированную обработку данных комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы;
- провести выключение РПМК-1;
- провести комплексный контроль полученных данных, используя телеграмму по коду КН-04 (см. лабораторную работу № 12);
- по данным зондирования построить аэрологическую диаграмму, определить уровни конденсации и конвекции, рассчитать вертикальные градиенты температуры воздуха, оценить устойчивость атмосферы, возможность формирования кучево-дождевых облаков и гроз (см. лабораторную работу № 11);
- провести совместный анализ данных аэрологического зондирования и синоптических карт.

13.3. Содержание отчета

1. Телеграмма по коду КН-04.
2. Аэрологическая диаграмма и ее анализ.
3. Ответы на контрольные вопросы.

13.4. Контрольные вопросы

1. Что называют уровнем конденсации, уровнем конвекции?
2. Дайте определения понятиям кривой состояния и кривой стратификации.
3. Какие процессы называют адиабатическими, сухоадиабатическими и влажноадиабатическими?
4. Дайте определения понятиям сухой адиабаты, влажной адиабаты.

Литература

1. Авиационная метеорология. Метеорология и экология в аэропортах. Методические указания к выполнению лабораторных работ. – СПб.: ГУГА, 2014. – 66 с. – Текст: электронный. – URL: https://spbguga.ru/files/MU_LR_p2.pdf.
2. *Алдухов О.А., Черных И.В.* Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. – Т. 1.: Контроль качества и обработки данных. – Обнинск: ФГБУ«ВНИИГМИ-МЦД», 2013. – 306 с.
3. Аэрологическая диаграмма. – Текст: электронный. – URL: <https://studopedia.info/9-7166.html>.
4. *Дашко Н.А.* Курс лекций по синоптической метеорологии. – Текст: электронный. – URL: http://rusin.rshu.ru/4k/3kDM/AD_RUS.pdf.
5. *Киселёв В.Н., Кузнецов А.Д.* Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб.: РГГМУ, 2004. – 428 с.
6. *Киселёв В.Н., Мушленко П.М.* Практикум по аэрологии и радиометеорологии. – Л.: ЛПИ им. Калинина, 1986. – 136 с.
7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 4. Ч. 3. РД 25.11.650-2003. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 311 с.
8. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 4. Ч. 3а. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – С. 118–122.
9. *Осипов Ю.Г., Саенко А.Г.* Руководство к лабораторным работам система зондирования «Радиопеленгационный метеорологический комплекс (РПМК-1) – МРЗ-3А». – СПб.: РГГМУ, 2012. – 45 с.
10. *Рудянов Г.В., Осипов Ю.Г., Саенко А.Г., Дядюра А.В.* Устройство и эксплуатация радиопеленгационного метеорологического комплекса РПМК-1. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 193 с.
11. Вертикальный статистический контроль. Лекция. – Электронный ресурс. – <http://files.fip.rshu.ru/лекция%208.pdf>
12. Как «читать» аэрологическую диаграмму. Лекция. – Электронный ресурс. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GSpuvOUVxMI>.
13. Сайт с данными на 00 и 12 UTC для станций России и в мире. – Электронный ресурс. – URL: Flymeteo.org.
14. Сайт с прогностическими аэрологическими диаграммами. – Электронный ресурс. – URL: meteo.paraplan.
15. Сборник аэрологических кодов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994.
16. *Фридзон М.Б., Ермошенко Ю.М.* Радиозондирование атмосферы // Мир измерений. – 01.07.2009. – С. 16–21.

Информация об авторах

Восканян Карина Левановна

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы.



Симакина Татьяна Евгеньевна

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы.



Сероухова Ольга Станиславовна

Кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы.



Саенко Андрей Геннадьевич

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы.



Екатери́ничева Наталья Константи́новна

Старший преподаватель кафедры экспериментальной физики атмосферы.



Кузнецов Анатолий Дмитриевич

Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой экспериментальной физики атмосферы.



Содержание

Введение.....	3
Раздел 1. Оптические методы наблюдения за ветром	
Лабораторная работа № 1. Организация и проведение однопунктных шар-пилотных наблюдений.....	6
1.1. Шар-пилот.....	6
1.2. Газы для наполнения шар-пилотных оболочек.....	9
1.3. Порядок наполнения шар-пилотных оболочек.....	11
1.4. Порядок выполнения расчетного задания.....	15
1.5. Содержание отчета.....	16
1.6. Контрольные вопросы.....	16
1.7. Приложение.....	17
Лабораторная работа № 2. Аэрологические теодолиты.....	31
2.1. Введение.....	31
2.2. Аэрологический шар-пилотный теодолит АШТ.....	32
2.3. Теодолит 2АШТ.....	37
2.4. Установка и проверка теодолита.....	41
2.5. Проведение наблюдений.....	50
2.6. Порядок выполнения лабораторной работы.....	54
2.7. Содержание отчета.....	55
2.8. Контрольные вопросы.....	56
2.9. Приложение.....	56
Лабораторная работа № 3. Получение информации о распределении скорости и направления ветра с высотой при использовании оптических однопунктных шар-пилотных наблюдений.....	58
3.1. Теоретические сведения.....	58
3.2. Планшет А-30.....	59
3.3. Аналитическая обработка.....	62
3.4. Порядок обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений графическим методом с использованием планшета А-30.....	64
3.5. Порядок обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений аналитическим методом.....	68
3.6. Порядок обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений с использованием программы «Шар-пилот.xls».....	69
3.7. Содержание отчета.....	70
3.8. Контрольные вопросы.....	71
3.9. Приложения.....	71
Лабораторная работа № 4. Аэрологическая телеграмма по коду КН-03... ..	88
4.1. Описание кода для передачи данных ветрового зондирования атмосферы КН-03 (FM 32-IX PILOT).....	88
4.2. Содержание кодовых групп и правила их использования.....	90
4.3. Содержание отчета.....	102
4.4. Контрольные вопросы.....	102
4.5. Приложение.....	102
Лабораторная работа № 5. Базисные оптические шар-пилотные наблюдения.....	104
5.1. Введение.....	104

5.2. Разбивка базы	105
5.3. Установка и проверка теодолитов	109
5.4. Производство наблюдений	111
5.5. Содержание обработки наблюдений	113
5.6. Введение поправок в отсчёты углов по теодолитам и вычисление теоретической вертикальной скорости	113
5.7. Выбор формул для базисной обработки	115
5.8. Обработка высот на горизонтальную плоскость	120
5.9. Обработка высот на вертикальную плоскость	121
5.10. Анализ результатов вычисления высот	124
5.11. Вычисление высот средин слоёв	127
5.12. Определение скорости и направления ветра	127
5.13. Содержание отчёта	129
5.14. Контрольные вопросы	129
5.15. Приложения	129

Раздел 2. Радиотехнические методы зондирования атмосферы

Лабораторная работа № 6. Проверка технических характеристик радиозонда МРЗ-3а с помощью комплекта измерительных приборов аэрологической станции (КИПАС) и контрольная выдержка радиозонда в помещении	142
6.1. Теоретические сведения	142
6.2. Порядок выполнения	149
6.3. Содержание отчёта	152
6.4. Контрольные вопросы	152
6.5. Приложения	153
Лабораторная работа № 7. Включение и функциональный контроль радиолокационной станции РПМК-1, контрольная выдержка радиозонда МРЗ-3а перед выпуском	155
7.1. Функциональный контроль радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1	155
7.2. Подготовка батареи к выпуску	160
7.3. Порядок работы на радиолокационной станции температурно-ветрового зондирования РПМК-1	161
7.4. Содержание отчёта	170
7.5. Контрольные вопросы	170
7.6. Приложение	170
Лабораторная работа № 8. Обработка данных радиоветровых наблюдений, полученных с помощью системы комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы «РПМК-1 – МРЗ-3а»	171
8.1. Исходные материалы	171
8.2. Обработка данных радиоветровых наблюдений	173
8.3. Содержание отчёта	178
8.4. Контрольные вопросы	179
8.5. Приложения	180
Лабораторная работа № 9. Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда МРЗ-3а	187
9.1. Исходные материалы	187

9.2. Обработка данных радиотелеметрического канала радиозонда	189
9.3. Содержание отчета	202
9.4. Контрольные вопросы	203
9.5. Приложения	204
Лабораторная работа № 10. Контроль результатов обработки данных радиозондирования атмосферы	224
10.1. Вертикальный статический контроль	224
10.2. Контроль с использованием невязок	225
10.3. Контроль с использованием эталонных данных	227
10.4. Содержание отчета	228
10.5. Приложения	230
Лабораторная работа № 11. Построение аэрологической диаграммы	234
11.1. Схема линий аэрологической диаграммы	234
11.2. Построение аэрологической диаграммы	237
11.3. Анализ аэрологической диаграммы	243
11.4. Содержание отчета	244
11.5. Контрольные вопросы	245
11.6. Приложения	246
Лабораторная работа № 12. Аэрологическая телеграмма по коду КН-04	251
12.1. Описание кода для передачи данных комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы КН-04	251
12.2. Содержание отчета	257
12.3. Контрольные вопросы	257
12.4. Приложение	258
Лабораторная работа № 13. Дежурство на радиолокационной станции РПМК-1	259
13.1. Введение	259
13.2. Содержание разделов дежурства	260
13.3. Содержание отчета	261
13.4. Контрольные вопросы	261
Литература	262
Информация об авторах	263

Учебное издание

**К.Л. Восканян, Н. К. Екатериничева, А.Д. Кузнецов,
А.Г. Саенко, О.С. Сероухова, Т.Е. Симакина**

**ПРАКТИКУМ ПО АЭРОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДАМ
ЗОНДИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Начальник РИО А.В. Ляхтейнен
Редактор Л.Ю. Кладова
Верстка М.В. Ивановой*

Подписано в печать 30.12.2020. Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,75. Тираж 100 экз. Заказ № 1024.
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79.
