

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного
оборудования воздушного транспорта

М.Б. Фридзон

ОСНОВЫ АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Учебное пособие

*Утверждено редакционно-
издательским советом МГТУ ГА
в качестве учебного пособия*

Москва
ИД Академии Жуковского
2018

УДК 006.91:6293(075.8)
ББК 0571.7
Ф88

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты:

Петров В.И. (МГТУ ГА) – канд. техн. наук, доц. ;
Голоколенцев С.А. («Аэроприбор») – ген. директор

Фридзон М.Б.

Ф88 Основы авиационной метеорологии [Текст] : учебное пособие /
М.Б. Фридзон. – М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – 64 с.

ISBN 978-5-907081-29-1

Данное учебное пособие издается в соответствии с рабочей программой дисциплины «Основы авиационной метеорологии» для студентов специальности 25.05.03 всех форм обучения.

В учебном пособии изложены основные сведения о составе, строении атмосферы, моделях атмосферы, в том числе модели стандартной атмосферы, широко используемой в авиации при инженерно-штурманских расчетах. Рассмотрены основы теории формирования воздушных масс, фронтальной и циклонической деятельности, принципы комплексного анализа состояния и прогноза погоды. Рассмотрены методы и аппаратура метеорологических измерений на аэродромах ГА, а также достоверность этих измерений. Наибольшее внимание уделяется метеорологическим факторам и явлениям погоды, опасным для деятельности авиации, таким как сдвиги ветра, турбулентность ясного неба, грозы и шквалы и т.д.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 27.04.2018 г. и методического совета 03.05.2018 г.

УДК 006.91:6293(075.8)

ББК 0571.7

Св. тем. план 2018 г.

поз. 21

ФРИДЗОН Марк Борисович
ОСНОВЫ АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ
Учебное пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 19.09.2018 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 4 Усл. печ. л. 3,72

Заказ № 334/0622-УП04 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68 E-mail: zakaz@itsbook.ru

ISBN 978-5-907081-29-1

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2018

Основы авиационной метеорологии

Оглавление.....	3
Введение.....	5
Глава 1. Состав и строение атмосферы.....	6
1.1. Общие сведения об атмосфере	6
1.2. Стандартная атмосфера.....	7
1.3. Состав атмосферы.....	7
1.4. Строение атмосферы.....	8
Глава 2. Физические характеристики атмосферы, влияющие на полёты воздушных судов.....	11
2.1. Температура воздуха.....	11
2.2. Влажность и плотность воздуха.....	14
2.3. Атмосферное давление.....	17
2.3.1. Изменение атмосферного давления по высоте.....	18
2.3.2. Методы и точность измерения атмосферного давления.....	21
2.3.3. Влияние температуры и давления на показания барометрического высотомера.....	21
2.4. Ветер в атмосфере.....	23
2.4.1. Изменение ветра с высотой в слое трения и в свободной атмосфере.....	23
2.4.2. Информация о ветре, используемая при оценке метеорологических условий на аэродроме и в свободной атмосфере.....	24
2.4.3. Влияние ветра на полёты воздушных судов.....	25
2.4.3.1. Влияние ветра на путевую скорость и дальность полета.....	25
2.4.3.2. Влияние ветра на взлет и посадку.....	26
2.4.4. Струйные течения.....	28
Глава 3. Атмосферные явления, оказывающие влияние на деятельность авиации.....	29
3.1. Облака и атмосферные осадки.....	29
3.1.1. Роль информации об облачности при оценке метеорологических условий полета.....	29
3.1.2. Классификация облаков.....	30
3.1.3. Структура и изменчивость высоты нижней границы облаков (НГО).....	32
3.1.4. Наблюдение за облаками на аэродроме.....	33
3.2. Атмосферные осадки.....	33
Глава 4. Видимость и атмосферные явления её ухудшающие.....	35
4.1. Горизонтальная видимость.....	35
4.1.1. Факторы, определяющие дальность видимости.....	35
4.2. Метеорологическая дальность видимости и дальность видимости огня.....	36
4.3. Дальность видимости на ВПП.....	38
4.4. Наклонная дальность видимости.....	39

4.5. Метеорологические явления ухудшающие видимость.....	40
Глава 5. Синоптические процессы в атмосфере.....	44
5.1. Синоптические объекты.....	44
5.2. Воздушные массы.....	44
5.2.1. Характеристики воздушной массы.....	44
5.2.2. Географическая и термодинамическая классификация воздушных масс.....	45
5.3. Атмосферные фронты.....	46
5.3.1. Понятие атмосферного фронта.....	46
5.3.2. Классификация атмосферных фронтов.....	47
5.3.3. Перемещение и эволюция атмосферных фронтов.....	49
5.3.4. Условия погоды вблизи тёплых, холодных фронтов и фронтов окклюзии.....	50
5.4. Циклоны и антициклоны.....	51
5.4.1. Возникновение циклонов и антициклонов.....	51
5.4.2. Перемещение циклонов и антициклонов.....	52
Глава 6. Федеральные авиационные правила «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полётов ВС ГА (ФАП-60).....	53
Литература	64

Введение

Транспорт — одна из наиболее зависимых от погоды отраслей народного хозяйства. Особенно это верно для воздушного транспорта, для обеспечения нормальной работы которого требуется самая полная, детальная информация о погоде, как о фактически наблюдающейся, так и об ожидаемой по прогнозу. Метеорологические условия оказывают решающее влияние на экономические показатели работы транспортных средств, а также на безопасность движения, от состояния погоды и качества информации о ней нередко зависят жизнь и здоровье людей.

Для удовлетворения потребностей транспорта в метеорологической информации оказалось необходимым не только создать специальные метеорологические службы, но и развить новые отрасли прикладной метеорологии, в частности, авиационную метеорологию.

Влияние потребностей транспорта на развитие метеорологии за последние полвека стало решающим, оно повлекло за собой и техническое переоснащение метеорологических станций, и использование в метеорологии достижений радиотехники, электроники, телемеханики и т. п., а также совершенствование методов прогноза погоды, внедрение средств и методов предвычисления будущего состояния метеорологических величин (атмосферного давления, ветра, температуры воздуха) и расчета перемещения и эволюции важнейших синоптических объектов, таких, как циклоны, антициклоны, атмосферные фронты и т. п.

Какие метеорологические условия могут препятствовать выполнению полетов или затруднять их?

Это прежде всего условия так называемых минимумов погоды — дальности видимости, высоты нижней границы облаков, скорости и направления ветра, устанавливаемых для пилотов (в зависимости от их квалификации), воздушных судов (в зависимости от их типа) и аэродромов (в зависимости от их технического оборудования и характеристик местности). Кроме того, существуют опасные для полетов метеорологические явления, затрудняющие или сильно ограничивающие выполнение полетов. Это турбулентность воздуха, вызывающая болтанку самолетов, грозы, град, обледенение самолетов в облаках и осадках, пыльные и песчаные бури, шквалы, смерчи, туман, снежные заряды и метели, а также сильные ливни, резко ухудшающие видимость. Еще следует упомянуть опасность разрядов статического электричества в облаках, снежные заносы, слякоть и гололед на взлетно-посадочной полосе (ВПП) и коварные изменения ветра в приземном слое над аэродромом, называемые вертикальным сдвигом ветра.

Из классического определения авиационной метеорологии следует, что эта метеорологическая наука исследует две области реальной действительности (бытия): первая область — это влияние метеорологических элементов (величин и явлений) на полеты ВС; вторая область — метеорологическое обеспечение этих полетов. Под метеорологическим обеспечением понимается деятельность

метеорологических органов, которые наблюдают, прогнозируют метеорологические условия на аэродромах, в районе аэродромов и по маршруту полета и предоставляют метеорологическую информацию экипажам ВС, органам УВД.

Объектом изучения авиационной метеорологии как науки является часть атмосферы, где осуществляются полеты ВС. Эту часть можно представить как совокупность метеорологических факторов. Таким образом, объектом авиационной метеорологии как науки является совокупность метеорологических факторов, влияющих на полеты ВС.

Предметом авиационной метеорологии как науки являются также закономерности влияния метеорологических факторов на деятельность авиации. Специфика авиационной метеорологии заключается в том, что объектом ее изучения является атмосфера как внешняя среда, непосредственно взаимодействующая с ВС в полете или во время его стоянки на земле.

При создании данного учебного пособия задача заключалась в выборе самой существенной информации о метеорологических факторах в системе метеорологического обеспечения полётов, необходимой для формирования умений и навыков, связанных с оценкой метеорологической обстановки, с принятием решения на проведение испытаний авиационной техники с учётом влияния физических параметров и явлений погоды реальной атмосферы на её эксплуатацию, а также на эксплуатацию радиотехнических систем обеспечения полётов.

Настоящее учебное пособие составлено по материалам публикаций Бабикова М.А., Богаткина О.А., Мешкова А.В., Поздняковой В.А., Сафоновой Т.В. и др. авторов.

Глава 1. Состав и строение атмосферы.

Стандартная атмосфера. Состав и строение атмосферы. Влияние атмосферы на полет воздушного судна. Температура воздуха. Влажность и плотность воздуха. Атмосферное давление. Ветер.

1.1. Общие сведения об атмосфере

Атмосфера – воздушная оболочка Земли, участвующая в ее суточном и годовом вращении. Масса атмосферы примерно в миллион раз меньше массы Земли. Резкой верхней границы атмосферы не существует. Атмосфера постепенно переходит в межпланетную среду, в которой содержится около 100 газовых частиц в 1 см^3 . Такая концентрация наблюдается на высоте 20-30 тыс. км над поверхностью земли. Эту высоту можно считать верхней границей атмосферы.

Иногда за верхнюю границу атмосферы принимают высоту 1000 км, до которой преобладают ионы кислорода и азота. Выше 1000 км преобладают гелий и водород. Примерно 50 % всей массы атмосферы содержится в ее нижнем пятикилометровом слое, 75 % – до высоты 10 км, 95 % – до 20 км, 99,9 % – до 100 км.

1.2. Стандартная атмосфера

Стандартная атмосфера (СА) – расчетная атмосфера со средним распределением физических характеристик по высоте, соответствующим широте 45° с.ш. Характеристики СА рассчитаны по барометрическим формулам и уравнению состояния атмосферного воздуха на основе следующих констант: на уровне моря температура воздуха 15°C ; давление воздуха – 760 мм рт. ст.; плотность воздуха $1,225 \text{ кг/м}^3$; влажность воздуха в СА равна 0; ускорение свободного падения $9,8 \text{ м/с}^2$; молярная масса 29 г/моль; скорость звука – 340 м/с; вертикальный градиент температуры в слое от уровня моря до высоты 11 км равен $0,65^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$; высота тропопаузы – 11 км; температура на уровне тропопаузы – $-56,5^{\circ}\text{C}$; от тропопаузы до высоты 20 км температура постоянна; ветер в СА отсутствует.

СА используется при приведении результатов летных испытаний ВС к стандартным условиям, а также для оценки фактических летно-эксплуатационных характеристик ВС, зависящих от состояния реальной атмосферы.

Стандартная барометрическая высота – высота в СА, на которой атмосферное давление равно фактическому давлению на уровне полета.

Эквивалентная высота (высота по плотности воздуха) – высота в СА, на которой плотность воздуха равна фактической плотности на уровне полета. Эта высота используется в расчетах летно-технических характеристик ВС при взлете и посадке ВС на горных аэродромах.

1.3. Состав атмосферы

Реальная атмосфера – это механическая смесь газов, которые можно разделить на *основные газовые составляющие* и *малые газовые составляющие*. К первым относятся азот и кислород. Ко вторым – водяной пар, аргон, углекислый газ, неон, гелий, водород, ксенон, озон. В СА содержится по объему 78 % азота, 21 % кислорода, 0,93 % аргона, 0,03 % углекислого газа. На долю других газов приходится примерно 0,04 %. В состав реальной атмосферы, кроме газов, входят твердые и жидкие примеси – *аэрозоли* естественного и антропогенного происхождения.

Водяной пар, углекислый газ, озон являются парниковыми газами, активными в радиационном и химическом отношении. Их содержание в атмосфере существенно изменяется в различных районах земного шара, поэтому эти газы называют переменными газовыми составляющими. Содержание водяного пара в атмосфере по объему колеблется от значений, близких к 0, до 5 %. На широте 70° с. ш. среднее объемное содержание водяного пара – 0,2 %, на экваторе – 2,6 %. Содержание углекислого газа в Арктике и Антарктике – 0,02 %, а в промышленных районах – в два раза больше. Объемное содержание озона в атмосфере составляет 10^{-5} %. Общее содержание озона в атмосфере, если его привести к давлению 1013 гПа и

температуре 0°C, колеблется от 1 до 6 мм (в среднем 3 мм). Эта величина называется *приведенной толщиной слоя озона*. Приведенная толщина слоя кислорода в среднем составляет 1,5 км, а азота – 6 км. Годовой ход содержания озона в атмосфере характеризуется максимумом весной, а минимумом – осенью. Наибольшее содержание озона на земном шаре – в высоких широтах северного полушария (70-75° с. ш.). В тропической зоне (между 30° с. ш. и 30° ю. ш.) приведенная толщина слоя озона невелика. Озон наблюдается от поверхности земли до верхней границы стратосферы (50 км). Основная масса озона содержится в озоносфере, которая совпадает со стратосферой (11-50 км).

1.4. Строение атмосферы

Атмосфера делится на слои по следующим признакам: по химическому составу воздуха и наличию ионов; по распределению температуры по высоте; по взаимодействию атмосферы с поверхностью земли; по влиянию атмосферы на летательные аппараты.

По составу воздуха атмосфера делится на гомосферу, гетеросферу, озоносферу, ионосферу, нейтросферу. В *гомосфере* состав воздуха и его молекулярный вес не изменяется с высотой в связи с перемешиванием воздуха. Гомосфера простирается до высоты 100 км. В *гетеросфере* – выше 100 км – молекулярный вес воздуха уменьшается с увеличением высоты в связи с гравитационным разделением газов. В гетеросфере с высотой содержание тяжелых газов уменьшается быстрее, чем содержание легких газов. Выше 50 км содержание ионов (заряженных частиц) резко увеличивается, на этих высотах располагается *ионосфера*, а ниже 50 км – *нейтросфера*.

По взаимодействию атмосферы с подстилающей поверхностью выделяют пограничный слой и свободную атмосферу. *Подстилающая (деятельная) поверхность* – это поверхность земли, взаимодействующая с атмосферой. В пограничном слое атмосферы (*слое трения*), который простирается до высоты примерно 1-1,5 км, на характер движения воздуха оказывает влияние сила трения; хорошо выражены суточные изменения метеорологических величин (температуры, влажности воздуха, ветра и др.). Внутри пограничного слоя выделяется *приземный слой* атмосферы до высоты 50-100 м, в пределах которого метеорологические величины резко изменяются с высотой. В *свободной атмосфере* сила трения близка к нулю.

В зависимости от распределения температуры по высоте, которое называется *стратификацией атмосферы*, выделяют пять основных слоев и четыре переходных слоя. Основные слои – тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера. Переходные слои – тропопауза, стратопауза, мезопауза, термопауза. Высоты переходных слоев могут значительно отклоняться от средних значений в зависимости от географической широты, времени года, синоптической обстановки

В высоких широтах *тропосфера* простирается до высоты 8-10 км, в умеренных широтах – до 10-12 км, а в тропической зоне – до 16-18 км. До *тропопаузы* температура воздуха с высотой понижается. В *стратосфере*

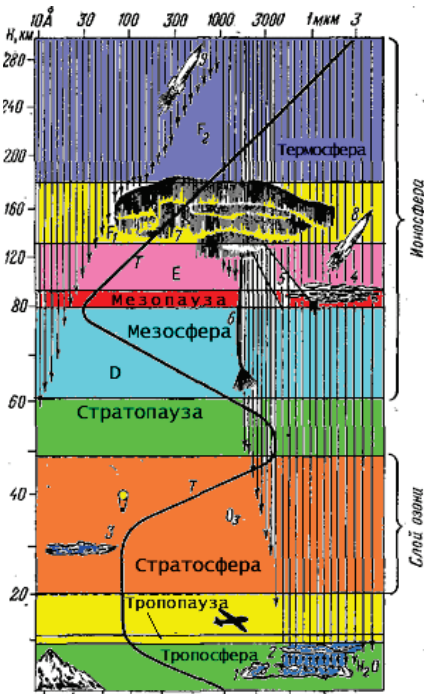
температура воздуха повышается с увеличением высоты. Повышение температуры связано с поглощением озоном жесткого ультрафиолетового излучения. На высоте 20 км наблюдаются перламутровые облака, имеющие радужную окраску и состоящие из ледяных кристаллов. В верхней стратосфере бывают зимние стратосферные потепления, когда температура воздуха повышается до 26°C .

В *мезосфере*, которая располагается выше *стратопавзы*, температура воздуха понижается с высотой. В верхней мезосфере на высоте около 80 км могут наблюдаться серебристые облака, состоящие из ледяных кристаллов, а температура воздуха может понижаться до минус 140°C .

В зависимости от влияния на летательные аппараты атмосфера делится на *плотные слои атмосферы* (до 150 км) и *околоземное космическое пространство* (выше 150 км). В пределах плотных слоев атмосферы летательный аппарат с выключенным двигателем не может совершить хотя бы один оборот вокруг Земли: он потеряет скорость или сгорит.

По высоте орбиты искусственные спутники Земли (ИСЗ) делятся на три группы:

- низкоорбитальные ИСЗ, запускаемые на высоты от 200 до 500 км (орбитальные космические станции);
- среднеорбитальные ИСЗ, запускаемые на высоты от 500 до 900 км (метеорологические спутники);
- высокоорбитальные ИСЗ, запускаемые на высоты десятки тысяч километров (геостационарные спутники).



Основным признаком, определяющим подразделение атмосферы на отдельные слои, является изменение ее температуры с высотой. Характер этого изменения во многом зависит от состава атмосферы.

Рис 1.1 Схема строения земной атмосферы:

Нижний слой атмосферы Земли (тропосфера) имеет следующий химический состав (по объему, в процентах):

азот - 78.09, кислород - 20.95, аргон - 0.93, углекислый газ - 0.03. На долю остальных газов приходится уже тысячные и десятитысячные доли процента. Такой состав атмосфера имеет почти до высоты 90 км.

Кроме постоянных компонентов, перечисленных выше, атмосфера содержит переменные компоненты: озон и водяной пар. Эти компоненты оказывают большое влияние на тепловой режим Земли и ее атмосферы.

Рассмотрим схему строения земной атмосферы. Известно, что в ее нижнем слое, именуемом тропосферой (от греческого тропэ - поворот), температура быстро падает с высотой: на 6-7 градусов на километр высоты (зимой несколько меньше). Это происходит потому, что нижние, (приземные) слои атмосферы получают тепло от земной поверхности, излучающей его в диапазоне инфракрасных лучей и передающей тепло также за счет конвекции и теплопроводности. В тропосфере образуются облака, осадки, дуют ветры, образуются самые различные метеорологические явления.

В зависимости от строения атомов и молекул различных газов они способны поглощать в той или иной степени излучение в различных диапазонах длин волн. Так, молекула водяного пара (H_2O) интенсивно поглощает инфракрасные лучи во всем диапазоне, за исключением «окна» на длинах волн 8-13 мкм. Напротив, озон, трехатомный кислород, поглощает ультрафиолетовые лучи короче 0,36 мкм. На уровне от 11 до 17 км падение температуры с высотой прекращается и начинается стратосфера - сравнительно спокойная область атмосферы с почти постоянной температурой до высоты 34-36 км и ростом температуры до уровня 50 км. Этот рост происходит за счет поглощения солнечных ультрафиолетовых лучей слоем озона, о котором подробнее будет сказано ниже. Пограничная область между тропосферой и стратосферой называется тропопаузой.

Контрольные вопросы к Главе 1

1. Дайте определение и назовите физические параметры стандартной атмосферы. Какие задачи решаются в авиации с помощью СА?
2. Охарактеризуйте роль и содержание водяного пара, углекислого газа и озона в атмосфере.
3. Дайте определение подстилающей поверхности, приземного, пограничного слоя атмосферы и свободной атмосферы.
4. Что такое стратификация атмосферы?
5. Дайте определение тропосферы, тропопаузы, стратосферы.

Глава 2. Физические характеристики атмосферы, влияющие на полёты воздушных судов



Рис.2.1. Метеостанция АМСГ

2.1. Температура воздуха.

. Температура воздуха, используемая при метеорологическом обеспечении полетов ВС, характеризует тепловое состояние воздуха, является характеристикой средней кинетической энергии движения молекул воздуха и потому называется кинетической (истинной) температурой. Пилоты и диспетчеры УВД должны знать и уметь использовать информацию о температуре воздуха при оценке метеорологических условий полета. Эта оценка предполагает учет следующих закономерностей:

- временного и пространственного изменения температуры воздуха;
- влияния температуры воздуха на летно-технические характеристики ВС.

Чем выше температура, тем больше длина разбега и пробега, скорость отрыва и посадки ВС. При отклонении температуры воздуха от стандартной температуры изменяется предельно допустимая высота полета ВС. От температуры зависит расход топлива;

- связи температуры воздуха с другими характеристиками состояния атмосферы: давлением, плотностью и влажностью воздуха. Не зная температуры воздуха, нельзя определить его плотность, поскольку последняя не измеряется, а рассчитывается с учетом температуры;
- связи температуры воздуха с явлениями погоды, влияющими на деятельность авиации, в том числе и опасными явлениями.

Информация о фактической температуре воздуха в приземном слое атмосферы (на высоте 2 м от поверхности земли) дается в местных сводках фактической погоды на аэродроме, в передачах АТIS, телеграммах METAR, на

приземных картах погоды. Температура воздуха на высотах указывается на картах абсолютной барической топографии, карте тропопаузы.

Методы и точность измерения температуры

Температурой воздуха называют температуру, которую показывает термометр при наличии теплового равновесия между ним и атмосферным воздухом.

Термометры бывают жидкостные (ртутные, спиртовые), металлические (термометры сопротивления, биметаллические пластинки), полупроводниковые (термисторы). В автоматических аэродромных метеорологических станциях КРАМС, AWOS, VAISALA используются металлические термометры сопротивления.

В местных сводках фактической погоды на аэродроме и в телеграммах METAR температура воздуха указывается с точностью до 1 °С. На приземную карту погоды температура воздуха наносится с разрешающей способностью до 0,1 °С. **Приземная карта погоды** – это географическая карта, на которую наносят данные наблюдений за погодой на синоптических станциях в синоптические сроки (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч).

При измерении температуры воздуха на высотах методом радиозондирования используются полупроводниковые термометры, обеспечивающие точность измерения температуры до 1 °С.

Причины и закономерности изменения температуры воздуха

Характер распределения температуры воздуха в тропосфере определяется ее теплообменом с подстилающей поверхностью, которая поглощает примерно в два раза больше солнечной радиации (тепловой энергии), чем тропосфера. Теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферным воздухом осуществляется благодаря радиационной и молекулярной теплопроводности, а также фазовым превращениям воды в атмосфере.

Тонкий слой воздуха, прилегающий к подстилающей поверхности, обменивается с ней теплом вследствие *молекулярной теплопроводности*. Внутри атмосферы теплообмен осуществляется путем *турбулентной теплопроводности*. Молекулярная теплопроводность воздуха мала: молекулярный поток тепла в атмосфере примерно в миллион раз меньше турбулентного потока тепла.

Передача тепла путем излучения называется *радиационной теплопроводностью*. Подстилающая поверхность излучает длинноволновую радиацию с длинами волн от 4 до 120 мкм, которая поглощается нижними слоями тропосферы. Последние, нагреваясь, посредством излучения передают тепло вышележащим слоям. Над сушей теплообмен путем излучения особенно выражен в ночные часы, когда турбулентный теплообмен ослаблен.

При фазовых превращениях воды в атмосфере происходит поглощение или выделение тепловой энергии. При испарении воды с деятельной поверхности температура последней понижается. При конденсации и

сублимации водяного пара в атмосфере происходит выделение тепловой энергии, которая нагревает воздух. **Конденсация** – переход водяного пара в жидкое состояние. **Сублимация** – переход водяного пара в кристаллическое состояние.

В атмосфере перенос тепла осуществляется не только по вертикали, но и по горизонтали вследствие адвекции. **Адвекция** – горизонтальное перемещение воздушных масс вдоль поверхности земли. Периодические изменения температуры воздуха на аэродроме (суточные, сезонные, годовые) связаны с теплообменом по вертикали. Непериодические изменения температуры воздуха связаны с адвекцией. Днем подстилающая поверхность поглощает солнечную радиацию и нагревается. Излучение земной поверхностью длинноволновой радиации происходит постоянно в течение суток. Вследствие этого максимальная температура воздуха вблизи поверхности земли наблюдается в послеполуденные часы – в 14-15 часов местного времени, а минимальная температура – в момент, близкий к восходу солнца. Изменение температуры воздуха в течение суток называется *суточным ходом температуры*. Он наиболее ярко выражен в пустынях и менее ярко – над океаном. При адвекции холода или тепла суточный ход температуры воздуха искажается: днем температура воздуха из-за адвекции холода понижается, а ночью – из-за адвекции тепла повышается.

Амплитуда суточного хода температуры воздуха – разница между максимальной и минимальной температурой в течение суток. В вогнутых формах рельефа (котловинах, ложбинах, долинах) она больше, чем над ровной поверхностью, а над последней больше, чем над выпуклыми формами рельефа (горами, холмами, возвышенностями). Эта закономерность носит название *закона Вейкова*.

Нагревание подстилающей поверхности зависит от ее удельной теплоемкости, удельной теплопроводности и отражательной способности (альбедо). Суша нагревается и охлаждается быстрее, чем водная поверхность, поскольку последняя обладает большими величинами теплоемкости и теплопроводности. Альbedo песка и снега больше, чем альbedo пашни, поэтому пашня нагревается сильнее.

Облачность оказывает влияние на нагревание и охлаждение подстилающей поверхности, а значит и прилегающего слоя воздуха: она уменьшает нагревание подстилающей поверхности днем и охлаждение – ночью. Зимой облачность способствует повышению температуры воздуха, а летом, наоборот, понижению.

Задерживающие слои

Для количественной оценки изменения температуры воздуха по вертикали используется *вертикальный градиент температуры* γ – изменение температуры воздуха в градусах Цельсия на 100 м высоты. При понижении температуры с высотой $\gamma > 0$, при повышении – $\gamma < 0$, при постоянстве температуры – $\gamma = 0$. *Кривая стратификации* – кривая распределения температуры воздуха с высотой – строится по данным радиозондирования атмосферы.

Задерживающие слои в атмосфере – инверсия, изотермия – играют большую роль в формировании погодных условий. **Инверсия** – слой атмосферы, где $\gamma < 0$, **изотермия** – слой атмосферы, где $\gamma = 0$. Приземные инверсии начинаются от подстилающей поверхности. Инверсии свободной атмосферы возникают на некоторой высоте от земной поверхности. Толщина инверсий изменяется от нескольких метров до 2-3 км. Скачок температуры – разность температуры на границах инверсии – может достигать 10 °С и более.

Приземные инверсии бывают радиационными и адвективными. **Радиационные инверсии** формируются при ясной погоде и слабом ветре летом – ночью, а зимой – в любое время суток. Инверсии достигают максимальной толщины утром на рассвете. Зимние инверсии могут сохраняться несколько недель. **Адвективные инверсии** образуются при натекании теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность.

Инверсии свободной атмосферы называются *инверсиями сжатия, оседания* и *антициклоническими инверсиями*. Они образуются в областях повышенного давления, где наблюдаются нисходящие движения воздуха. Опускающийся воздух сжимается и растекается на некоторой высоте, не достигая поверхности земли. Температура опускающегося воздуха возрастает на 1 °С на 100 м высоты.

Фронтальные инверсии связаны с атмосферными фронтами – переходными зонами между теплыми и холодными воздушными массами. Фронтальные инверсии имеют толщину несколько сотен метров.

Задерживающие слои в атмосфере препятствуют развитию восходящих движений воздуха. Под ними происходит скопление водяного пара, твердых частиц (литометеоров), продуктов конденсации и сублимации водяного пара, ухудшающих видимость в атмосфере. Инверсии являются слоями разрыва ветра: над и под инверсией наблюдается резкое изменение скорости и направления ветра. С инверсиями связаны опасные для полетов сильные сдвиги ветра – изменения скорости и/или направления ветра в пространстве.

2.2. Влажность и плотность воздуха

Информация о влажности воздуха, используемая при метеообеспечении полетов

Информация о влажности воздуха при оценке метеорологических условий полета, предполагает учет следующих закономерностей:

- изменения влажности воздуха во времени и пространстве;
- влияния влажности воздуха на летно-технические характеристики ВС;
- связи влажности воздуха с его температурой, давлением и плотностью;
- связи влажности воздуха с явлениями погоды, влияющими на полеты ВС.

Содержание водяного пара в воздухе называется *влажностью воздуха*. Характеристики влажности воздуха называются *гигрометрическими характеристиками*. При метеорологическом обеспечении полетов используется информация о точке росы, дефиците точки росы и относительной влажности воздуха.

Точка росы – температура, при которой воздух достигает состояния насыщения по отношению к ровной водной поверхности при данном содержании водяного пара и постоянном атмосферном давлении. Точка росы равна температуре воздуха при состоянии насыщения. *В ненасыщенном воздухе точка росы всегда ниже температуры воздуха.* На приземных картах погоды точка росы указывается с точностью до 0,1 °С. В местных сводках фактической погоды на аэродроме и в телеграммах METAR точка росы дается в целых градусах Цельсия.

Дефицит точки росы – разность между температурой воздуха и точкой росы. При насыщении воздуха водяным паром дефицит точки росы равен 0. Чем меньше дефицит точки росы, тем ближе воздух к состоянию насыщения, тем больше вероятность тумана. Дефицит точки росы указывается на картах абсолютной барической топографии.

Относительная влажность воздуха – отношение фактического содержания водяного пара в воздухе к максимально возможному содержанию водяного пара при данной температуре воздуха. При насыщении воздуха водяным паром относительная влажность его равна 100 %. Относительная влажность воздуха дается в местных сводках погоды на аэродроме.

Методы определения влажности воздуха

На аэродромах влажность воздуха определяется с помощью гигрометрического и психрометрического методов. *Гигрометры* и *психрометрические установки (психрометры)* размещаются на высоте 2 м от поверхности земли. Гигрометры служат для измерения относительной влажности воздуха. Действие волосного гигрометра основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину в зависимости от влажности воздуха: чем больше влажность, тем длиннее волос.

В основе психрометрического метода лежит измерение температуры воздуха сухим и смоченным термометрами. С помощью психрометрических таблиц по измеренным значениям температуры сухого и смоченного термометров можно определить все гигрометрические характеристики: точку росы, относительную влажность, давление водяного пара, давление насыщенного водяного пара, абсолютную влажность, удельную влажность воздуха.

Водяной пар, как и другие газы атмосферы, создает давление. Давление (упругость) водяного пара выражается в гектопаскалях (миллибарах). Давление водяного пара у земной поверхности на земном шаре меняется от сотых долей гектопаскаля (при низких температурах) до 35 гПа и более (при высоких температурах). Давление водяного пара в состоянии насыщения называется давлением насыщенного водяного пара (упругостью насыщения). Чем выше температура воздуха, тем больше давление насыщенного водяного пара.

Упругость насыщения над выпуклой поверхностью воды (над каплей) меньше, чем над ровной поверхностью воды, и надо льдом меньше, чем над

водой. Эта закономерность играет большую роль в процессе образования атмосферных осадков (см. разд. 6.5).

Абсолютная влажность (плотность водяного пара) – это масса водяного пара, содержащегося в единичном объеме влажного воздуха. Насыщающая абсолютная влажность – это максимально возможная абсолютная влажность при данной температуре воздуха.

Удельная влажность – масса водяного пара в единичной массе влажного воздуха. Насыщающая удельная влажность – максимально возможная удельная влажность при данной температуре воздуха.

Влияние влажности на плотность воздуха

Плотность воздуха – это масса воздуха в единичном объеме. Она не измеряется, а рассчитывается по уравнению состояния воздуха по измеренным значениям давления и температуры воздуха

$$\rho = P / RT \quad (2.1)$$

где ρ – плотность воздуха;

P – давление воздуха;

T – температура воздуха, °K;

R – удельная газовая постоянная сухого воздуха.

При полете на эшелоне, где атмосферное давление постоянно, плотность воздуха обратно пропорционально зависит от температуры, согласно уравнению (2.1).

Плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха, т.к. молярная масса водяного пара равна 18, а молярная масса сухого воздуха – 29. Влияние влажности воздуха на его плотность учитывается с помощью понятия виртуальной температуры.

Виртуальная температура – это температура, которую имел бы при данном атмосферном давлении сухой воздух той же плотности, что и влажный.

С введением виртуальной температуры уравнение состояния влажного воздуха по виду становится аналогичным уравнению состояния сухого воздуха. Разница заключается в том, что в уравнении состояния влажного воздуха вместо кинетической температуры учитывается расчетная виртуальная температура. Виртуальная температура (T_V) рассчитывается по формуле

$$T_V = T(1 + 0.608q), \quad (2.2)$$

где T – кинетическая температура влажного воздуха, °K;

q – удельная влажность воздуха, г/г.

Виртуальная температура отличается от измеренной температуры воздуха на величину виртуального добавка. Виртуальный добавок (ΔT_V) рассчитывается по формуле

$$\Delta T_V = 0,608q \cdot T \quad (2.3)$$

При относительной влажности воздуха, равной 100 %, виртуальный добавок принимает максимальное значение. При давлении воздуха 1000 гПа, относительной влажности 100 % и температуре 30 °С величина виртуального добавка равна 5 °С. При этих условиях влажный воздух легче сухого примерно на 2 %.

2.3. Атмосферное давление

Данные об атмосферном давлении, используемые в авиации.

Давление атмосферы – это сила, с которой атмосфера давит на единичную горизонтальную площадку. При метеорологическом обеспечении полетов, при анализе и оценке условий погоды используются пять значений давления воздуха, которые обозначаются так: QFE, QNH, QNE, QFF, *P_{мин.прив.}*.

Давление QFE – атмосферное давление на аэродроме, соответствующее уровню порога ВПП рабочего курса посадки. QFE дается в местных сводках фактической погоды на аэродроме, в передачах ATIS, сообщается диспетчером УВД экипажу на борт ВС перед посадкой для установки высотомера. Это давление указывается в мм рт. ст. с округлением в меньшую сторону до целых значений. В телеграммах METAR после сокращения RМК оно дается не только в мм рт. ст., но и в гектопаскалях. Один гектопаскаль (гПа) равен одному миллибару и составляет $\frac{3}{4}$ мм рт. ст.

Давление QNH – давление воздуха на аэродроме, приведенное к уровню моря по условиям СА. Приведение осуществляется с помощью барометрической формулы. Давление QNH указывается в телеграммах METAR в гектопаскалях с округлением до целых значений в меньшую сторону после буквы Q. Например, Q1000 означает, что QNH равно 1000 гПа. В международной практике QNH используется для установки высотомера и в телеграммах METAR может указываться в дюймах рт. ст. после буквы A. Например, A2992 означает, что QNH составляет 29,92 дюйма рт. ст. (inches). Один дюйм равен примерно 25 мм.

Если ВС находится на ВПП, и на шкале высотомера установлено давление QNH, то высотомер должен с достаточной точностью показывать высоту аэродрома относительно уровня моря. Если установлено давление QFE, то высотомер должен показывать нулевую высоту.

Давление QNE – это стандартное давление на уровне моря, которое составляет 760 мм рт. ст. (1013 гПа или 29,92 дюйма рт. ст.).

Давление QFF определяется на синоптических станциях и наносится на приземные карты погоды в гектопаскалях с точностью до 0,1 гПа. QFF – давление на станции, приведенное к уровню моря не по СА, а по фактическим погодным условиям – с учетом измеренных значений температуры и влажности воздуха.

Все синоптические станции располагаются на разных высотах относительно уровня моря, поэтому величины давления воздуха, измеренные на этих станциях, нельзя сравнивать. Данные об атмосферном давлении приводятся к уровню моря, чтобы их можно было использовать в целях анализа и прогноза погоды на аэродромах. На земном шаре QFF изменяется от 1085 гПа в сибирском антициклоне до 877 гПа в тропическом циклоне. Чаще всего оно изменяется в пределах от 950 до 1040 гПа.

Минимальное приведенное давление $P_{мин. прив.}$ сообщается в прогнозах по площадям при обслуживании полетов на малых высотах. Это давление в практике метеообеспечения полетов определяется по приземным картам погоды и дается в мм рт. ст. с округлением до целых значений в меньшую сторону

2.3.1. Изменение атмосферного давления по высоте

Знание закономерностей изменения атмосферного давления во времени и пространстве для диспетчера УВД и пилота необходимо, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, основным методом определения высоты в авиации является барометрический метод; во-вторых, с изменением атмосферного давления во времени и пространстве связано изменение погоды.

Если вертикальные и горизонтальные движения воздуха в атмосфере отсутствуют или ими можно пренебречь, то изменение давления с высотой выражается основным уравнением статики атмосферы (ОУСА):

$$-\frac{dp}{dz} = g\rho \quad (2.4)$$

где p – давление воздуха;

z – высота;

g – ускорение свободного падения;

ρ – плотность воздуха.

Атмосферное давление убывает с увеличением высоты. На практике эту закономерность впервые выявил Б. Паскаль в XVII в.: с помощью ртутного барометра, изобретенного Э. Торричелли, он измерял давление воздуха у подножия и на вершине горы.

Вертикальный градиент давления воздуха, характеризующий скорость убывания давления с высотой, зависит от плотности воздуха. Ускорение свободного падения незначительно изменяется в зависимости от высоты. Поскольку атмосферный воздух, в отличие от воды, сжимаем, плотность его уменьшается с высотой. Следовательно, с увеличением высоты вертикальный градиент давления уменьшается. Атмосферное давление на каждом уровне равно весу столба воздуха единичного поперечного сечения, высотой от данного уровня до верхней границы атмосферы.

В авиации для характеристики изменения давления воздуха с высотой используется барическая ступень – величина, обратная вертикальному градиенту давления. *Барическая ступень* – высота, на которую надо подняться,

чтобы давление уменьшилось на единицу. Барическая ступень (h) определяется по формуле безопасных высот полета

$$H = 8000/P \cdot (1 + aT) \quad (2.5)$$

Где P – атмосферное давление

t – температура воздуха, °C;

При повышении температуры воздуха на 1°C барическая ступень увеличивается на 0,4 % при неизменном давлении. В теплом воздухе при одинаковом давлении барическая ступень больше, чем в холодном воздухе. Барическая ступень используется при расчете безопасных высот полета.

Барометрические формулы

Барометрические формулы (БФ) – интегралы ОУСА, полученные при различных предположениях относительно изменения температуры и плотности воздуха по высоте. На основе этих формул производится расчет распределения давления и плотности воздуха по высоте в СА, рассчитываются значения давления QFE, QNH, QFF.

Таблица 2.1

Модели сухой атмосферы

Название модели	Однородная	Изотермическая	Политропная
Барометрическая формула	$p = p_0 - \rho g z$	$p = p_0 e^{-\frac{g z}{RT}}$	$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T_0 - \gamma z}{T_0} \right)^{\frac{g}{R\gamma}}$
Закон изменения давления	линейный	экспоненциальный	показательный
Плотность воздуха	$\rho = \rho_0$	$\rho = \rho_0 e^{-\frac{g z}{RT}}$	$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{T_0 - \gamma z}{T_0} \right)^{\frac{g}{R\gamma} - 1}$
Вертикальный градиент температуры	3,42	0	больше 0
Температура Воздуха	$T = T_0 - 3,42 \cdot z : 100$	T_0	$T_0 - \gamma z : 100$
Высота атмосферы	$\frac{RT_0}{g}$	бесконечна	$\frac{T_0}{\gamma}$

p_0, T_0, ρ_0 – давление, температура (°K), плотность воздуха на уровне моря;

p, T, ρ – давление, температура °K, плотность воздуха на высоте z ;

γ – вертикальный градиент температуры воздуха, °C/100 м;

g – ускорение свободного падения, не зависящее от высоты;

Шкала барометра-высотомера градуируется в единицах высоты, являющейся функцией давления, для условий СА. Из принципа работы высотомера следует, что если в полете выдерживается постоянная высота по прибору (эшелон), то ВС перемещается по поверхности равного давления – *изобарической поверхности*.

С помощью барометрических формул находится атмосферное давление на определенном уровне, если известно атмосферное давление на нижнем уровне и средняя температура слоя атмосферы между этими уровнями. В современных системах радиозондирования атмосферы используется методика вычисления атмосферного давления на разных высотах по известному наземному давлению и измеренным значениям высоты, температуры и влажности воздуха.

В табл. 2.1 представлены характеристики различных моделей сухой атмосферы. В *однородной атмосфере* плотность воздуха постоянна, в *изотермической атмосфере* температура воздуха не изменяется по высоте. *Политропной* называется атмосфера, в которой температура воздуха понижается с увеличением высоты по линейному закону. Стандартная атмосфера от уровня моря до высоты 11 км является политропной

($\gamma = 0,65 \text{ } ^\circ/100 \text{ м}$), а в слое от 11 км до 20 км – изотермической атмосферой с температурой – $-56,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Однородная и изотермическая атмосферы являются частными случаями политропной атмосферы (рис. 2.1).

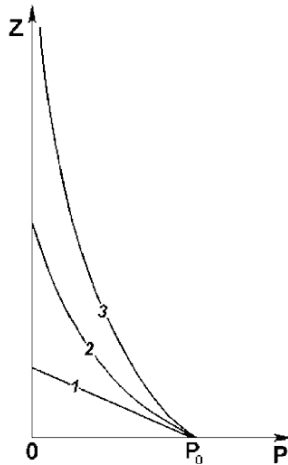


Рис. 2.1. Изменение давления воздуха по высоте в однородной (1), политропной (2) и изотермической (3) атмосферах

Из трех моделей изотермическая атмосфера самая теплая, однородная атмосфера самая холодная при условии равенства температуры воздуха на уровне моря. Если реальная атмосфера холоднее СА (зимой), то высота полета

относительно любого уровня меньше барометрической высоты (высотомер завьшает). Если реальная атмосфера теплее СА (летом), то высота полета относительно любого уровня больше барометрической высоты (высотомер занижает). При отклонении температуры воздуха от стандартной на 30 °С, высота изменится на 10 %.

На практике часто пользуются упрощенной барометрической формулой Лапласа

$$z = 18400 \times (1 + \alpha t) \times \lg \frac{p_0}{p} \quad (2.6)$$

где z – высота относительно уровня моря;

t – средняя температура слоя атмосферы высотой z ;

p_0 – давление воздуха на уровне моря;

p – давление воздуха на высоте z ;

$\alpha = 1/273$

2.3.2. Методы и точность измерения атмосферного давления

Самым точным прибором для измерения атмосферного давления на метеорологических станциях является ртутный чашечный барометр, который обеспечивает точность до 0,1 гПа.

Датчик давления станции КРАМС обеспечивает точность до 0,5 гПа, которая является достаточной для целей производства полетов ВС. Приемником атмосферного давления в этом датчике является вакуумированный сильфон – металлическая камера с гофрированной боковой поверхностью. Усилие, развиваемое сильфоном под действием атмосферного давления, измеряется автоматическим силокомпенсационным устройством. Измерение атмосферного давления преобразуется в пропорциональное изменение электрического сопротивления.

Датчик давления станции КРАМС является усовершенствованной модификацией барометра-анероида, принцип действия которого заключается в измерении деформации упругой вакуумированной гофрированной металлической коробки под действием атмосферного давления.

2.3.3. Влияние температуры и давления на показания барометрического высотомера

Проблема измерения высоты, на которой летит воздушное судно, не такая простая, как может показаться на первый взгляд. Действительно, если самолет летит горизонтально, то можно говорить об истинной высоте полета (Нист), абсолютной высоте полета (Набс) - высоте полета над уровнем моря, а также об относительной высоте полета (Нот) - высоте полета относительно аэродрома вылета (посадки) или относительно стандартного давления у земли.

Высота полета может определяться или с помощью радиотехнических средств, или с помощью барометрического высотомера. При использовании

радиовысотомера определяется истинная высота полета (Н ист). Принцип работы прибора основан на измерении времени прохождения радиоволной расстояния от передатчика, установленного на борту самолета, до поверхности земли и обратно. Радиовысотомеры обеспечивают высокую точность измерений, их показания не зависят от метеорологических условий и скорости полета. Однако использовать радиовысотомеры при полетах трудно, особенно над пересеченной местностью, так как в этом случае показания высотомера будут «прыгать» со скоростью изменения высоты рельефа.

Основным методом измерения высоты в полете является барометрический метод, использующий закономерности изменения атмосферного давления с высотой. Иными словами, летчик в полете измеряет не высоту полета, а давление на высоте полета и, введя в показания высотомера необходимые поправки, определяет высоту полета. Основная шкала барометра (высотомера) градуируется в единицах высоты для условий стандартной атмосферы.

Как указывалось, выше, шкала барометрического высотомера градуируется применительно к условиям стандартной атмосферы (СА). При полете в реальной атмосфере истинная высота полета может быть различной. Возникающие ошибки могут быть или барометрическими, или температурными.

Барометрическая ошибка устраняется при внесении поправки на давление путем установки подвижной шкалы высотомера в соответствующее положение.

В дальнейшем высотомер будет показывать относительную высоту - высоту, относительно аэродрома вылета.

Чтобы выдерживать в полете высоту эшелона, летчик после достижения безопасной высоты обязан на подвижной шкале установить давление 760 мм рт. ст. в качестве исходного значения для отсчета высоты эшелона относительно давления на уровне моря в условиях СА.

При подходе к пункту посадки летчик снова устанавливает на приборе давление на уровне ВПП аэродрома посадки.

Сведения об атмосферном давлении в миллиметрах ртутного столба на уровне ВПП обязательно передаются на борт самолета в сводке погоды, составляемой на авиаметеорологической станции.

Ошибки в определении давления на уровне ВПП могут явиться причиной летных происшествий или предпосылок к ним. Например, если на борт самолета передано давление с ошибкой на 5 мм рт. ст. в сторону увеличения, то высота по барометрическому высотомеру при заходе на посадку будет завышена примерно на 50 м, что в сложных метеорологических условиях может привести к столкновению самолета с наземными объектами.

Однако, ошибки в 5 мм рт. ст. встречаются крайне редко.

Температурная ошибка возникает за счет отклонения средней температуры слоя от земли до заданной высоты полета от стандартного

значения. Значение этой ошибки рассчитывается штурманом, но по метеорологическим данным о распределении температуры воздуха с высотой.

Если не учитывать отклонение средней температуры слоя от стандартного значения, то ошибки в определении высоты полета могут составить 8-13%, а это уже достаточно много.

Вот одна из причин, зачем необходим прогноз температуры воздуха у земли и на высотах, который сообщается летному составу.

2.4. Ветер в атмосфере

В атмосфере на всех высотах есть ветер. Ветер – это вектор, который характеризуется скоростью и направлением. При метеорологическом обеспечении полетов используется метеорологический ветер, направление которого выражается в десятках градусов и определяется азимутом той точки горизонта, **откуда** ветер дует. Метеорологический ветер отличается по направлению от навигационного ветра на 180°.

2.4.1. Изменение ветра с высотой в слое трения и в свободной атмосфере

В *пограничном слое* атмосферы (слое трения) изменение ветра с высотой связано с уменьшением силы трения при удалении от подстилающей поверхности. Наибольшее отклонение ветра влево от изобары имеет место в приземном слое (до высоты примерно 50 м). С увеличением высоты угол отклонения ветра от изобары уменьшается и приближается к нулю на верхней границе пограничного слоя, где ветер становится близким к градиентному ветру.

В слое трения с увеличением высоты ветер меняет направление и скорость: по направлению он приближается к направлению изобары и при этом усиливается; наблюдается *правое вращение ветра* с высотой (по часовой стрелке). В более редких случаях в этом слое наблюдается *левое вращение ветра* с высотой или отмечается постоянство направления ветра по высоте. Это происходит, когда барическое поле с увеличением высоты быстро меняется.

Изменение ветра с высотой *в свободной атмосфере* связано с перестройкой барического поля атмосферы, обусловленной изменением температуры воздуха по горизонтали. С увеличением высоты ветер усиливается и приближается по направлению к направлению изотерм средней температуры нижележащего слоя. Это приводит к тому, что на высотах 3-6 км в атмосфере формируется устойчивый однородный поток воздуха – *ведущий поток*. В направлении и со скоростью этого потока перемешаются барические системы, воздушные массы, атмосферные фронты, кучево-дождевые облака и грозы. Направление ведущего потока примерно совпадает с направлением изогипс на карте АТ-700 гПа.

В умеренных широтах северного полушария ветер с увеличением высоты усиливается и становится все более близким к западному направлению, достигая максимальной скорости под тропопаузой.

2.4.2. Информация о ветре, используемая при оценке метеорологических условий на аэродроме и в свободной атмосфере

Скорость ветра у поверхности земли в РФ измеряется с помощью анеморумбометров в м/с (MPS), а в других странах может измеряться в км/ч (КМН) или в узлах (КТ).

На приземных картах погоды, в телеграммах METAR, SPECI дается фактический истинный ветер, направление которого отсчитывается от географического (истинного) меридиана. Период осреднения этого ветра – 10 мин. В прогнозах погоды по аэродрому, составляемых кодом TAF, указывается прогнозистический истинный ветер.

В местных сводках погоды по аэродрому, в передачах ATIS, для взлета и посадки ВС дается **магнитный** ветер, осредненный за 2 мин. Направление магнитного ветра отсчитывается от северного направления магнитного меридиана. Магнитный ветер отличается от истинного ветра, если магнитное склонение – 5° или более. При определении магнитного ветра, если магнитное склонение положительное (восточное), то оно отнимается от направления истинного ветра, а при отрицательном (западном) магнитном склонении – прибавляется.

С помощью анеморумбометров можно определить мгновенный ветер, период осреднения которого 2-3 с. Если максимальная мгновенная скорость ветра превышает среднюю скорость за период осреднения на 5 м/с или более, то в местных сводках погоды по аэродрому и в телеграммах METAR дается максимальный ветер – порыв.

Порывистость ветра указывает на наличие турбулентности в атмосфере: движение воздуха в атмосфере носит турбулентный (вихревой) характер, следствием чего является изменение (колебание) направления и скорости ветра около некоторого среднего значения. Чем больше величина порыва, тем более выражена атмосферная турбулентность.

Приземный ветер на синоптических станциях определяется на высоте 8 м от поверхности земли, а на аэродроме – на высотах 6-10 м от ВПП. Точность измерения приземного ветра на аэродромах по скорости – до 1 м/с, по направлению – до 10°.

В передачах ATIS для прилетающих и вылетающих ВС дается ветер на высотах 100 м и на круге для того, чтобы можно было оценить изменение ветра по вертикали.

Ветер на высотах измеряется с помощью радиозондирования атмосферы на аэрологических станциях (АЭ). Точность измерения по скорости – до 10 м/с, по направлению – до 10°. Сеть аэрологических станций на земном шаре насчитывает гораздо меньше станций, чем сеть синоптических станций.

Радиус действия реального ветра – это расстояние от точки его измерения, в пределах которого изменчивость ветра не превышает заранее заданной величины. Радиус действия ветра, измеренного с помощью радиозондов, считается равным 150 км.

Срок годности реального ветра – промежуток времени от момента измерения ветра, в пределах которого изменчивость ветра не превышает заранее заданной величины, – составляет примерно 6 ч.

Ветер в атмосфере изменяется в пространстве и во времени. Чем больше скорость ветра, тем меньше изменчивость его направления и больше изменчивость скорости. Чем меньше скорость ветра, тем больше изменчивость его направления и меньше изменчивость скорости.

Ветер на приземные и высотные карты погоды наносится с помощью стрелок и оперения. Стрелка указывает направление истинного ветра, а оперение – его скорость. Малое перо означает скорость ветра 2,5 м/с или 10 км/ч. Большое перо – скорость ветра 5 м/с или 18 км/ч. Флажок или вымпел – скорость ветра 25 м/с или 93 км/ч.

2.4.3. Влияние ветра на полёты воздушных судов

2.4.3.1.. Влияние ветра на путевую скорость и дальность полета

По отношению к летящему самолету ветер представляет собой переносное движение. При наличии ветра направление движения самолета относительно земной поверхности не совпадает с продольной осью самолета, т.е. ветер сносит самолет с того курса, каким этот самолет летит.

Летчику воздушного судна, естественно, еще до вылета необходимо знать, каким курсом и с какой скоростью нужно лететь, чтобы, выполнять полет в поле реального ветра.

Все задачи, связанные с так называемым предварительным штурманским расчетом, выполняет экипаж самолета по исходным данным: маршрут и высота полета, время вылета и расчетное время посадки, направление и скорость ветра на эшелоне полета.

Задачи предварительного штурманского расчета помогает решить навигационный треугольник скоростей. Навигационный треугольник скоростей составляют три вектора:

- вектор воздушной скорости V ;
- вектор скорости ветра U ;
- вектор путевой скорости, а также углы;
- курс самолета γ - угол между направлением на север и продольной осью самолета (вектором воздушной скорости);
- путевой угол α - угол между направлением на север и вектором путевой скорости;
- угол сноса ϕ - угол между векторами воздушной и путевой скоростями. Этот угол показывает, на сколько изменилось направление движения самолета под действием ветра;
- угол направления ветра, или просто направление ветра – угол между направлением на север и направлением вектора ветра (направлением, откуда дует ветер);
- угол ветра – угол между вектором ветра и вектором путевой скорости, который изменяется от 0 до 360°.

Иными словами, путевая скорость представляет собой векторную сумму воздушной скорости и скорости ветра.

Элементы навигационного треугольника скоростей при полёте самолета могут существенно изменяться вследствие большой пространственной и временной изменчивости ветра и большой протяженности многих маршрутов. Учет пространственной и временной изменчивости ветра особенно важен для воздушной навигации.

Дальность и продолжительность полета можно определить, если известны располагаемый запас топлива на самолете, а также его километровый и часовой расход.

В авиации существует несколько понятий дальности полета:

-техническая дальность - расстояние, которое самолет пролетает до полной выработки топлива;

-максимальная дальность - расстояние, которое самолет пролетает с таким расчетом, что в его топливных баках остается 7-10% топлива и

-навигационная дальность - расстояние, которое самолет может пролететь, причем после посадки у него в топливных баках должно остаться такое количество топлива, которого должно было бы хватить для полета до запасного аэродрома.

Естественно, что гражданская авиация выполняет полеты только на навигационную дальность.

Кроме понятия о дальности полета, в авиации существует понятие **радиуса действия самолета** – это такое расстояние, долетев до которого воздушное судно может вернуться на аэродром вылета. Радиус действия самолета чуть меньше половины дальности полета.

2.4.3.2. Влияние ветра на взлет и посадку

Самолет взлетает и садится всегда против ветра.

Оценим количественно влияние ветра на взлет и посадку самолета.

Из физики известно, что скорость равно ускоренного движения V равна $V = at$, где a -ускорение, t - время. Следовательно, $t = V/a$. Кроме того, путь при равноускоренном движении равен

$$S = at^2/2 = V^2/2a. \quad (2.7)$$

Так как при разбеге самолет по ВПП совершает равно ускоренное движение, самолет взлетит тогда, когда при разбеге он достигнет скорости отрыва (V отр.)

Следовательно, при штиле время разбега самолета и длина разбега L будут соответственно равны

$$t_{\text{разб. штиль}} = V_{\text{отр.}}/j, L_{\text{разб. штиль}} = V_{\text{отр.}}^2/2j \quad (2.8)$$

где j — ускорение самолета.

При наличии встречного ветра со скоростью U время разбега и длина разбега самолета будут определяться несколько другими выражениями:

$$t_{\text{разб}} = (V_{\text{омп}} - U)/j; L_{\text{разб}} = (V_{\text{омп}} - U)^2/2j \quad (2.9)$$

а отношение времени и длины разбега при штиле и при ветре можно определить по формулам (2.10):

$$t_{\text{разб}} / t_{\text{разб}, 0} = (1 - U/V_{\text{омп}}); L_{\text{разб}} / L_{\text{разб}, 0} = (1 - U/V_{\text{омп}})^2 \quad (2.10)$$

Как видно из последнего выражения, и время разбега самолета, и длина разбега в значительной степени зависят от ветра.

Если предположить, что скорость встречного ветра равна 10м/с, а скорость отрыва самолета 250км/ч (70м/с), то при таких условиях время разбега самолета уменьшится по сравнению со штилевыми условиями на 14%, а длина разбега на 26%. Таким образом, не учитывать влияние ветра на взлет и посадку, безусловно, нельзя. Например, наши магистральные самолеты при штиле разбегаются по ВПП примерно 35-45с.

Увеличение или уменьшение времени разбега самолета не принципиально, так как это при скорости ветра 10м/с составляет всего около 10с. Другое дело – длина разбега самолета. Если при штиле она равна 1000 м, то при встречном ветре скоростью 10м/с длина разбега сократится до 740 м, а при таком же попутном ветре – увеличится до 1260 м. Естественно, что увеличение длины разбега примерно на четверть может привести к неприятным последствиям.

Боковой ветер (а ветер любого направления можно разложить на две составляющие таким образом, что одна из них будет строго попутная или встречная, а другая – строго боковая) так же оказывает неприятное, а иногда и опасное воздействие на самолет.

Для обеспечения безопасности полетов для каждого типа самолета устанавливаются предельно допустимые значения скорости бокового ветра (его боковой составляющей), скорости попутного ветра и даже скорости встречного ветра. Наши магистральные самолеты могут взлетать и садиться при боковом ветре до 15м/с на сухую ВПП и до 5-8м/с на мокрую ВПП. Для легких самолетов скорость бокового ветра не должна превышать 10м/с. Для попутного ветра ограничения более жесткие: практически все типы самолетов могут взлетать при попутном ветре, скорость которого не превышает 5м/с. В принципе это ограничение понятно, так как при попутном ветре заметно увеличивается длина разбега самолета и длины ВПП может не хватить для взлета.

Существующее ограничение полетов по скорости встречного ветра почти символическое. Оно для большинства типов самолётов составляет 25-30м/с. Физическая причина ограничения по встречному ветру заключается в том, что ветер такой силы, как правило, бывает порывистым, с резкими изменениями скорости на достаточно заметную величину от 10-12 до 25-30м/с. Такие изменения скорости ветра приводят к резким изменениям подъемной силы, что одинаково опасно как при взлете, так и при посадке.

Вот еще одна причина того, что в авиационных прогнозах погоды синоптик должен указывать направление и скорость ветра как у земли, так и на высотах.

2.4.4. Струйные течения

Влияние ветра на параметры движения ВС наиболее существенно при больших скоростях ветра, особенно в области струйных течений (СТ).

Струйное течение – это перенос воздуха в виде узкого течения с большими скоростями, обычно в верхней тропосфере и нижней стратосфере с осью вблизи тропопаузы. Максимальная скорость ветра (30м/с и более) наблюдается на оси СТ.

Изменение скорости ветра в области струйного течения обычно составляет 5-10м/с на 1 км высоты и 10м/с и более на 100 км в горизонтальном направлении.

Струйные течения образуются в зонах наибольшего сближения теплых и холодных воздушных масс, где создаются значительные горизонтальные градиенты давления и температуры, поэтому они всегда связаны с планетарными высотными фронтальными зонами. Поскольку наибольшие контрасты температуры в зонах атмосферных фронтов наблюдаются в холодную половину года, то в этот период струйные течения наиболее активны.

Стратосферные СТ могут наблюдаться на всех широтах, их ось всегда расположена выше тропопаузы, а скорость ветра на оси струи обычно не превышает 200км/ч.

Навигационное значение струйных течений трудно переоценить. С одной стороны, в зоне струйных течений часто возникают перистые и перисто-кучевые облака, интенсивная турбулентность, а другой – сильный ветер в зоне струйного течения значительно изменяет путевую скорость самолета.

Интенсивная турбулентность отмечается, в основном, на холодной (циклонической) стороне струйного течения, где градиенты температуры и ветра больше. На оси струйного течения сильная турбулентность бывает значительно реже. При полете на высотах, близких к потолку, вертикальные пульсации ветра могут вывести самолет на закритические углы атаки, как следствие, на срыв потока и «проваливание» самолета.

Если полет в зоне СТ происходит против ветра, то путевая скорость резко уменьшается, а если по ветру - возрастает. При полете на большие расстояния можно использовать струйные течения для сокращения времени полета или для увеличения дальности полета.

Контрольные вопросы к Главе 2

1. Почему амплитуда годового хода температуры воздуха над сушей больше, чем над океанами и почему облачность уменьшает амплитуду годового хода температуры воздуха?
2. Дайте определение кривой стратификации, вертикального градиента температуры воздуха и что называют инверсией и изотермией?
3. Каким образом задерживающие слои в атмосфере влияют на полеты ВС?

4. Дайте определение влажности воздуха и назовите ее характеристики.
5. Дайте определение точки росы и дефицита точки росы, относительной влажности воздуха, чему равен дефицит точки росы, если относительная влажность воздуха 100%?
6. Какие методы используются при определении влажности воздуха на аэродроме?
7. Как плотность воздуха зависит от его влажности, и от каких факторов зависит плотность воздуха на эшелоне полета?
8. Дайте определение виртуальной температуры, для каких целей вводится понятие виртуальной температуры, напишите уравнения состояния сухого и влажного воздуха и укажите их различия.
9. Что называется атмосферным давлением?
10. Дайте определение давления QFE, QNH, QFF. Для чего они используются?
11. Что Вы знаете о приборах для измерения атмосферного давления?
12. Дайте определение изобарической поверхности, и какие задачи решаются с помощью барометрических формул?
13. Дайте определение однородной, изотермической и политропной атмосферы.
14. Поясните сущность барометрического метода определения высоты, и в каких атмосферных условиях высотомер завышает показания, а в каких занижает?
15. Что такое ветер и почему он возникает?
16. Под действием каких сил формируется ветер в циклонах и антициклонах в слое трения и как направлен ветер в циклонах и антициклонах северного полушария в слое трения?
17. Дайте определение ведущего потока и метеорологического ветра.
18. Чем истинный ветер отличается от магнитного ветра и охарактеризуйте ветер, указанный в телеграммах METAR.
19. Что понимают под радиусом действия и сроком годности ветра?

Глава3. Атмосферные явления, оказывающие влияние на деятельность авиации

3.1. Облака и атмосферные осадки

3.1.1. Роль информации об облачности при оценке метеорологических условий полета

При оценке метеорологических условий на аэродроме, в районе аэродрома и по маршруту полета особенно важна информация о конвективной облачности, с которой связаны опасные для авиации явления погоды: сильные ливневые осадки, значительный сдвиг ветра, град, грозы, сильное обледенение и сильная атмосферная турбулентность.

Необходимость информации об облачности обусловлена тем, что облака ухудшают наклонную видимость. Облака нижнего яруса связаны с ухудшением горизонтальной видимости у земной поверхности. От облачности зависит приток солнечной энергии к поверхности земли и дневная освещенность. Из облаков выпадают атмосферные осадки, ухудшающие горизонтальную

видимость. Облака являются характеристикой атмосферных процессов: по форме облаков можно определить степень опасности этих процессов для полетов ВС.

3.1.2. Классификация облаков

Облако – видимое скопление взвешенных в атмосфере продуктов конденсации и/или сублимации водяного пара, т.е. капель воды и/или кристаллов льда на некоторой высоте от поверхности земли. Характеристикой облака является его водность. **Водность облака** – это масса жидкой воды, содержащаяся в единичном объеме облака. На метеорологических станциях водность облаков не измеряется.

Фазовое состояние облачных элементов характеризует микроструктуру облака. В зависимости от микроструктуры облака делятся на водяные, состоящие из капель воды, кристаллические, состоящие из кристаллов льда, и смешанные облака, включающие капли воды и кристаллы льда. Под микроструктурой облака понимается не только фазовое состояние облачных элементов, но также размеры и количество облачных частиц в единице объема.

Водяные облака наблюдаются при температуре воздуха выше $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из них выпадает, как правило, морось. Смешанные облака наблюдаются при температуре от -10 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из них выпадают наиболее часто наблюдаемые (основные) виды атмосферных осадков – обложные и ливневые осадки. Кристаллические облака наблюдаются при температуре ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и состоят из кристаллов льда и снежинок. Осадки из этих облаков не выпадают.

Помимо микроструктуры, облака классифицируются в зависимости от высоты их нижней границы и развития по вертикали, причины образования и внешнего вида. Различают три яруса облаков – нижний, средний, верхний – и облака вертикального развития.

Причиной образования облаков являются восходящие движения воздуха. Генетическая классификация облаков основана на выявлении причин возникновения тех или иных облаков. В зависимости от вида вертикальных движений, приводящих к возникновению облаков, выделяют кучевообразные, слоистообразные и волнообразные (волнистые) облака.

Причиной образования кучевообразных облаков является термическая или вынужденная конвекция. Эти облака называют конвективными, а районы, в которых они возникают, называют зонами конвективной деятельности. Причиной образования слоистообразных облаков является восходящее скольжение. Волнообразные облака возникают в результате волновых движений в атмосфере. В основе морфологической классификации облаков, которая является международной, лежит их внешний вид и высота расположения нижней границы. Выделяют десять основных форм облаков (табл. 3.1). В каждой из основных форм, кроме слоисто-дождевых, различают два-три вида облаков.

Таблица 3.1

Международная классификация облаков

Русское название форм облаков	Латинское название форм облаков	Сокращенное обозначение форм облаков	Высота основания облаков, км	Толщина слоя, км
Облака верхнего яруса (высота основания более 6 км)				
1. Перистые	Cirrus (циррус)	Ci	7-10	1-2
2. Перисто-кучевые	Cirrocumulus (циррокумулюс)	Cc	6-8	0,2-0,4
3. Перисто-слоистые	Cirrostratus (цирростратус)	Cs	6-8	0,1-2,0
Облака среднего яруса (высота основания 2–6 км)				
4. Высококучевые	Alto cumulus (альтокумулюс)	Ac	2-6	0,2-0,7
5. Высокослоистые	Altostratus (альтостратус)	As	3-5	1-2
Облака нижнего яруса (высота основания ниже 2 км)				
6. Слоисто-кучевые	Stratocumulus (стратокумулюс)	Sc	0,5-1,5	0,2-0,8
7. Слоистые	Stratus (стратус)	St	0,1-0,7	0,2-0,8
8. Слоисто-дождевые	Nimbostratus (нимбостратус)	Ns	0,1-1,0	2-5
Облака вертикального развития				
9. Кучевые	Cumulus (кумулюс)	Cu	0,8-1,5	1-4
10. Кучево-дождевые	Cumulonimbus (кумулонимбус)	Cb	0,4-1,0	4-10

Наибольшее влияние на безопасность и регулярность полетов ВС могут оказать самые низкие облака нижнего яруса (St, Ns) и облака вертикального развития (Cu, Cb).

Слоистые облака (St) – это внутримассовые облака, из которых иногда выпадают морось или снежные зерна. St делятся на три вида. St und. – волнистые (undulatus) – возникают в результате волновых движений в атмосфере. St neb. – туманообразные (nebulosus) и St fr. – разорванно-слоистые (stratus fractus) – вследствие динамической турбулентности. Разновидностью St fr. являются разорванно-дождевые облака (fractonimbus, frnb.), которые называются облаками плохой погоды, т.к. образуются под слоем облаков, дающих осадки (As, Ns, Cb).

Слоисто-дождевые (Ns), высокослоистые (As) и перисто-слоистые облака (Cs) являются слоистообразными фронтальными облаками. Они обычно закрывают все небо без разрывов. Виды и разновидности Ns не выделяются.

Слоисто-кучевые (Sc), высококучевые (Ac) и перисто-кучевые (Cc) облака – внутримассовые облака. Они бывают кучевообразными (cumuliformis) и волнообразными (undulatus). Разновидностью высококучевых кучевообразных облаков являются Ac cast. – башенковидные (castellanus) – предвестники дневной грозы. Разновидностью высококучевых волнистых облаков служат Ac lent. – чечевицеобразные (lenticularis) – предвестники холодного фронта второго рода. Если Ac lent наблюдаются на подветренной стороне гор, то указывают на наличие горных волн в атмосфере и называются орографическими. Конденсационные следы, которые образуются за самолетами на больших высотах, имеют внешний вид Cc.

Перистые облака (Ci) являются кристаллическими и считаются самыми высокими облаками тропосферы. В тропической зоне высота основания их достигает 17-18 км. Разновидностью Ci являются когтевидные (uncinus, unc.) облака - предвестники теплого фронта.

Кучевые облака (Cu) делятся на три вида – плоские (humilis, hum.), средние (mediocris, med.) и мощные (congestus, cong.). Cu hum. называются облаками хорошей погоды. Вертикальная протяженность их меньше горизонтальных размеров. Толщина слоя Cu med. составляет 1-2 км. Вертикальная протяженность Cu cong. более 2 км. Кучевые облака являются водяными. В умеренных широтах осадки из них не выпадают.

Кучево-дождевые облака (Cb) бывают двух видов: лысые (calvus, calv.) и волосатые (capillatus, cap.). Cb являются смешанными. Из них выпадают ливневые осадки

3.1.3. Структура и изменчивость высоты нижней границы облаков (НГО)

Основание облаков нижнего яруса (St, Sc, Ns) представляет собой переходный слой, находящийся в колебательном движении. Изменение высоты нижней границы облаков (НГО) происходит во времени и пространстве. При определении этой высоты в полете нужно учитывать, что нижняя граница переходного слоя соответствует уровню потери видимости естественного горизонта, а верхняя граница этого слоя – уровню потери вертикальной видимости под самолетом. Высота нижней границы переходного слоя считается высотой НГО. Толщина переходного слоя может колебаться от 50 до 200 м. Чем более выражена атмосферная турбулентность, тем больше толщина переходного слоя. При наличии инверсии сжатия толщина меньше, чем в случае адвективной инверсии.

Высота НГО понижается над холмами, лесами, а также в зоне выпадения атмосферных осадков, когда наблюдаются Fmb. Над аэродромом изменения высоты НГО в течение 10 мин могут достигать 50 % ее средней величины.

По внешнему виду верхней границы слоистых и слоисто-кучевых облаков можно судить о высоте их нижней границы. Если верхняя граница облаков ровная, то высота НГО небольшая (менее 200 м) – облака находятся близко к поверхности земли. Если верхняя граница облаков бугристая, то основание их располагается на высоте 300 м или более от поверхности земли.

3.1.4. Наблюдение за облаками на аэродроме

При наблюдении за облаками на аэродроме определяют их количество, форму, высоту нижней границы. Количество облаков показывает степень покрытия неба облаками в октантах (октах). Один октант – это одна восьмая часть небосвода.

Форма облаков определяется по их внешнему виду в соответствии с морфологической классификацией облаков. При наблюдении за облаками используется Атлас облаков, содержащий фотографии различных разновидностей облаков. Высота НГО – расстояние от поверхности земли до основания облака. Измерение высоты основано на определении времени прохождения импульсом света расстояния от излучателя импульса до НГО и обратно до приемника импульса. Этот метод измерения высоты НГО называется светолокационным. При тумане и сильных атмосферных осадках измеряется вертикальная видимость (VV).

На аэродромах, оборудованных системами захода на посадку, высота НГО при ее значениях 200 м или менее, измеряется с помощью датчиков (измерителей высоты облаков), установленных на БПРМ. При высоте НГО более 200 м могут использоваться датчики, расположенные на аэродроме в других местах. Если БПРМ расположена выше или ниже порога ВПП на 10 м или более, то в измеренное значение высоты НГО или вертикальной видимости вводится поправка на разность высот. Поправка вычитается, если БПРМ находится ниже, и прибавляется, если БПРМ находится выше порога ВПП.

3.2. Атмосферные осадки

Атмосферные осадки – это вода в твердом или жидком состоянии, выпадающая из облаков. Количество осадков на синоптических станциях измеряется толщиной слоя выпавшей воды в миллиметрах. В год на земном шаре выпадает в среднем 1000 мм. К осадкам относятся: дождь, снег, морось, мокрый снег, ледяная и снежная крупа, снежные зерна, град, ледяной дождь, ледяные иглы.

Выпадение осадков из облаков происходит в тех случаях, когда скорость падения капель воды или кристаллов льда больше скорости восходящих потоков воздуха. Капли, содержащиеся в облаке, могут расти вследствие конденсации водяного пара, коагуляции (слияния капель). Рост кристаллов в облаке может происходить вследствие сублимации, переконденсации. Рост облачных элементов может происходить также в результате столкновения и смерзания ледяных частичек с переохлажденными каплями. Это явление называется **аккрецией**.

Переконденсация – процесс роста кристаллов льда в смешанном облаке при испарении переохлажденных капель. Этот процесс происходит вследствие различия упругости насыщения над водой и льдом: упругость насыщения над поверхностью льда меньше, чем над поверхностью воды. Капли испаряются, а кристаллы льда растут: в облаке происходит «перекачка» водяного пара с капель на кристаллы.

Переконденсация приводит к быстрому росту снежинок и выпадению их из облака. При положительной температуре под облаком снежинки тают, превращаясь в крупные капли дождя. Переконденсация – основной механизм, приводящий к выпадению обложных и ливневых осадков. Обложные осадки в виде дождя (RA) или снега (SN) выпадают из Ns или As. Ливневые осадки в виде ливневого дождя (SHRA) или ливневого снега (SHSN) выпадают из Cb.

Методы искусственного осаждения облаков путем засева их твердой углекислотой, йодистым серебром и другими реагентами основаны на использовании физического процесса переконденсации.

Осадки на поверхности земли, ВПП могут осаждаться из воздуха – это иней, роса, изморозь.

Морось (DZ) – осадки, выпадающие из St и состоящие из водяных капелек диаметром от 0,2 до 0,5 мм. Морось возникает как результат коагуляции капель воды, содержащихся в облаках.

Обложной дождь (RA) выпадает в виде капель диаметром более 0,5 мм.

Ливневый дождь (SHRA) в умеренных широтах выпадает из Cb. В тропической зоне, где водяные Cu cong. имеют большую вертикальную протяженность, ливневый дождь выпадает из этих облаков и является результатом коагуляционного роста капель.

Снежные зерна (SG) – осадки, выпадающие из St в холодный период, диаметр зерен менее 1 мм.

Ледяная и снежная крупа (GS) – осадки в виде прозрачных и белых шариков диаметром менее 5 мм, выпадающих из Cb.

Град (GR) имеет диаметр от 5 до 50 мм и выпадает из Cb. Частицы града (градины), как правило, имеют неправильную форму.

Ледяные иглы (IC) называются алмазной пылью. Они имеют форму очень мелких иголок, столбиков, пластинок. IC образуются в результате сублимации водяного пара в воздухе при низкой температуре воздуха (ниже -20 °C). Они медленно оседают на поверхность земли при ясном небе. Эти осадки называют «перистым облаком в приземном слое».

Ледяной дождь (PL) – осадки в виде ледяных шариков с жидким ядром внутри, выпадающие из Cb. Ледяной дождь сопровождается образованием ледяной корки (гололеда) на предметах, ВПП, ВС во время их стоянки на земле. Это опасный для авиации вид осадков.

Контрольные вопросы к Главе 3.

1. Назовите облака нижнего, среднего и верхнего яруса.
2. Что вы знаете об облаках вертикального развития?
3. Какие латинские сокращения используются для обозначения десяти форм облаков?
4. Дайте определение облака.
5. Что называют водностью облака?
6. Какие облака различают в зависимости от причины их образования?

7. Какие четыре признака положены в основу классификации облаков?
8. Охарактеризуйте морфологическую классификацию облаков?
9. Охарактеризуйте влияние облаков нижнего яруса на полеты ВС.
10. Что представляет собой нижняя граница облаков нижнего яруса?
11. Охарактеризуйте метод измерения высоты НГО на аэродроме.
12. Что понимают под количеством облаков?
13. Когда дается информация о вертикальной видимости на аэродроме?
14. Что называют атмосферными осадками?
15. Из каких облаков выпадают ливневые и обложные осадки?
16. Почему выпадают атмосферные осадки?
17. Дайте определения сублимации, конденсации, переконденсации водяного пара.
18. Из каких облаков выпадает морось и что она собой представляет?
19. Какие осадки являются опасными для полетов ВС и почему?
20. В чем заключается опасность ледяного дождя для полетов ВС?
21. Какие облака являются самыми опасными для полетов и почему?
22. В чем заключается опасность сильных ливневых осадков для авиации?

Глава 4. Видимость и атмосферные явления её ухудшающие

4.1. Горизонтальная видимость

4.1.1. Факторы, определяющие дальность видимости

Характеристикой горизонтальной видимости является **дальность видимости** – наибольшее расстояние, на котором можно обнаружить (увидеть и опознать) черные объекты днем и световые ориентиры ночью.

Днем, когда освещенность может изменяться от 400 до 100 000 люкс, дальность видимости черного объекта, определяемая визуально, зависит не только от этой освещенности, но и от других факторов. К ним относятся: угловые размеры объекта, величина яркостного контраста, яркость фона, порог контрастной чувствительности глаза, прозрачность атмосферы, направление линии визирования наблюдателя относительно солнца (по солнцу видно гораздо лучше, чем против солнца). Все эти факторы связаны между собой.

Днем человеческий глаз может видеть предметы с угловыми размерами не меньше, чем разрешающая способность глаза, равная 1 мин. **Разрешающая способность глаза** – это наименьшее угловое расстояние между двумя точками, при котором они воспринимаются как отдельные.

Днем объекты в атмосфере обладают определенной яркостью, т.к. они отражают солнечный свет, падающий на них. Объект, находящийся рядом с наблюдателем, имеет собственную яркость. При увеличении расстояния от объекта яркость его уменьшается из-за рассеяния и поглощения света в атмосфере, и ее называют видимой яркостью. Яркость объекта равна силе света, приходящейся на единицу площади освещаемой поверхности в заданном направлении.

Объект в атмосфере днем можно увидеть, если он отличается по яркости от фона, на котором наблюдается. Яркостный контраст равен разности яркостей фона и объекта, деленной на яркость фона.

Человеческий глаз может отличить объект от фона, если яркостный контраст не меньше порога контрастной чувствительности глаза. Порог **контрастной чувствительности глаза** (ε) – наименьшее значение различного глазом яркостного контраста. В дневное время для объектов с угловыми размерами более 15 мин порог контрастной чувствительности глаза не зависит от освещенности и размеров объекта.

Установлено, что при определении дальности обнаружения объекта (при приближении к объекту) $\varepsilon = 0,05$, а при определении дальности потери видимости объекта (при удалении от объекта) $\varepsilon = 0,02$. При уменьшении освещенности в сумерки ε увеличивается до 0,7.

Дальность видимости зависит от прозрачности атмосферы, т.е. ее способности пропускать световые лучи. **Коэффициент прозрачности атмосферы** (T) – это отношение светового потока, прошедшего через слой атмосферы единичной длины, к световому потоку, вошедшему в этот слой в виде параллельного пучка лучей.

Коэффициент прозрачности атмосферы связан с показателем ослабления (σ):

$$\sigma = -\ln T, \quad (4.1)$$

где \ln – основание натурального логарифма.

Показатель ослабления (σ) – это величина ослабления светового потока в коллимационном пучке при прохождении его через слой атмосферы единичной длины. Это ослабление происходит вследствие поглощения и рассеяния света на частицах, содержащихся в атмосфере.

Ночью видимость определяется по световым ориентирам – огням. Эта видимость зависит от силы огня, освещенности фона, на котором огонь наблюдается, а также от прозрачности атмосферы.

Горизонтальная видимость, используемая при метеорологическом обеспечении полетов, представляет собой наибольшую из следующих величин:

- метеорологическая дальность видимости (МДВ);
- дальность видимости огней с интенсивностью примерно 1000 кандел (электрическая лампочка 60 Вт). На неосвещенном фоне, эта величина зависит от освещения фона.

4.2. Метеорологическая дальность видимости и дальность видимости огня

Зрительное восприятие черных объектов днем и световых ориентиров (огней) ночью характеризуется соответственно физическими законами Кошмидера и Алларда.

Закон Кошмидера выражает взаимосвязь между видимым яркостным контрастом (C) объекта, визуально наблюдаемого на расстоянии (M) на фоне неба у горизонта, и его собственным яркостным контрастом (C_0):

$$C = C_0 \cdot T^M. \quad (4.2)$$

Собственный яркостный контраст – это контраст, который имеет объект на фоне неба у горизонта, если объект наблюдается с очень близкого расстояния. При наблюдении объекта на расстоянии M величина собственного яркостного контраста уменьшается из-за рассеяния и поглощения света до значения C , которое называется видимым яркостным контрастом.

Собственный яркостный контраст черного объекта равен 1. По мере приближения к черному объекту, который мы хотим обнаружить, он становится видимым на фоне неба у горизонта или на фоне тумана тогда, когда видимый яркостный контраст равен порогу контрастной чувствительности глаза (ε). Считается, что значение ε , равное 0,05, является приемлемым для визуальных наблюдений черных объектов с угловыми размерами более 15 мин на фоне неба у горизонта. С учетом того, что $C_0 = 1$, а $\varepsilon = 0,05$, формулу Кошмидера можно записать в виде:

$$M = \frac{\ln 0,05}{\ln T}. \quad (4.3)$$

Расстояние M , определенное по этой формуле, называется метеорологической дальностью видимости (**МДВ**), которую еще называют метеорологической оптической дальностью (**МОД**). МДВ – наибольшее расстояние, на котором можно обнаружить черный объект с угловыми размерами более 15 мин на фоне неба у горизонта или на фоне тумана.

Формула Кошмидера показывает, что МДВ зависит только от прозрачности атмосферы и не зависит от других факторов, например, от яркости фона, на котором наблюдается черный объект, и от направления линии визирования наблюдателя относительно солнца.

Заменяя коэффициент прозрачности (T) в уравнении (4.3) показателем ослабления (σ), формулу Кошмидера можно записать в виде:

$$M = \frac{3}{\sigma}. \quad (4.4)$$

В настоящее время на аэродромах используются два типа приборов, измеряющих МДВ. Это трансмиссометры (импульсные фотометры и регистраторы дальности видимости) и нефелометры (измерители прямого

рассеяния). Трансмиссометры измеряют коэффициент прозрачности атмосферы, а нефелометры – показатель ослабления.

Ночью горизонтальная видимость определяется по точечным источникам света (огням). Точечный источник света имеет угловые размеры менее 1 мин. Если огонь виден как размытое пятно, то он считается невидимым. Видимость точечного источника света можно найти, используя закон Алларда. Этот закон выражается уравнением

$$E = \frac{I}{R^2} \times T^R \quad (4.5)$$

где E – освещенность, создаваемая точечным источником света на плоскости, перпендикулярной световым лучам;

I – сила света этого источника;

R – расстояние между наблюдателем и источником света;

T – коэффициент прозрачности атмосферы.

Для того чтобы увидеть огонь, освещенность его должна быть не меньше визуального порога освещенности (E_m). Расстояние, при котором $E_m = E$, называется дальностью видимости огня (R). Визуальный порог освещенности называется порогом световой чувствительности глаза или пороговой освещенностью. Это минимальная освещенность глаза наблюдателя, при которой он может увидеть точечный источник света.

4.3. Дальность видимости на ВПП

Дальность видимости на ВПП (RVR) – это расстояние, в пределах которого пилот ВС, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку ее покрытия или огни, которые ограничивают ВПП или обозначают ее осевую линию. Считается, что высота уровня глаз пилота, находящегося в ВС, равна примерно 5 м. Наблюдение за дальностью видимости на ВПП должно представлять собой как можно более точную оценку этого расстояния.

Информация о RVR предназначена для пилотов и органов УВД как характеристика условий видимости на ВПП в период ограничения видимости (2 км и менее), связанного с атмосферными явлениями.

В настоящее время в мировой практике используются две методики определения RVR: с помощью приборов и с помощью наблюдателя. При определении RVR инструментально применяются трансмиссометры и измерители прямого рассеяния. По измеренным значениям коэффициента прозрачности атмосферы или показателя ослабления с использованием формулы Алларда рассчитывается RVR.

При визуальном определении RVR наблюдатель считает количество огней или маркеров (специальных щитов), которые видны с места наблюдения вблизи ВПП. Зная расстояние между огнями или маркерами, можно определить RVR. Метод наблюдателя не рекомендуется использовать, если ВПП оборудованы для точного захода на посадку при наличии второй или третьей категорий ИКАО.

Оценка RVR на аэродромах любым из существующих методов не учитывает ряд факторов, влияющих на зрительное восприятие пилота. К ним относятся: прозрачность лобового стекла кабины пилота; наличие следов атмосферных осадков на лобовом стекле; уровень освещенности кабины пилота; яркость освещения, которому подвергался пилот перед взлетом и посадкой; физические и психологические факторы (усталость членов экипажа, наличие стрессовой ситуации); направленность яркости фона, на котором наблюдаются огни; увеличение яркости фона в результате обратного рассеяния света от посадочных огней ВС (особенно сильное при снегопадах). В Российской Федерации при определении RVR применяются чаще всего трансмиссометры (ФИ-1, ФИ-2, РДВ). Метод трансмиссометра называется базисным, т.к. прозрачность атмосферы измеряется на расстоянии, вдвое большем величины базы. Эта величина может составлять 20, 50 или 100 м в зависимости от типа прибора. База соответствует расстоянию между источником света, в качестве которого обычно служит импульсная лампа, и отражателем пучка света.

Базисный метод является надежным способом оценки прозрачности атмосферы независимо от характера атмосферных явлений, ухудшающих видимость. Недостатком этого метода является то, что трансмиссометры не могут использоваться в местах с неустойчивым грунтом, например, в тундре.

Измеритель прямого рассеяния входит в комплект автоматической метеорологической станции AWOS, которая широко используется на аэродромах в мировой практике. Достоинствами этого нефелометра являются его небольшие размеры и вес, а также возможность использования при неустойчивом грунте. Недостаток этого прибора – его показания зависят от характера атмосферного явления, ухудшающего видимость. Если при этом явлении происходит сильное поглощение света, то прибор показывает завышенное значение горизонтальной видимости. Поэтому, используя измеритель прямого рассеяния, необходимо идентифицировать атмосферные явления для внесения поправок в показания приборов.

4.4. Наклонная дальность видимости

Наклонная дальность видимости – это расстояние, в пределах которого экипаж ВС, выполняющего заход на посадку, видит наземные объекты или огни. В данном случае линия визирования значительно отличается от горизонтальной линии.

Наклонная дальность видимости отличается от RVR в следующих случаях: при мощном тумане; при поземном тумане (горизонтальная видимость 1 км или более); при наличии тонкого слоя тумана (горизонтальная видимость менее 1 км). Мощный туман, охватывающий большой слой атмосферы, является, как правило, адвективным или фронтальным. Плотность этого тумана увеличивается с высотой. При мощном тумане наклонная дальность видимости меньше RVR. Если она определяется с высоты 30 м, то часто составляет менее половины значения RVR.

Поземный туман является радиационным. Верхняя граница его проходит ниже высоты, на которой определяется RVR. После приземления ВС и попадания его в область такого тумана способность пилота видеть ВПП резко ухудшается. Методы наблюдения за RVR не позволяют обнаружить поземный туман. В данном случае более эффективной была бы система оценки наклонной дальности видимости.

Тонкий туман, охватывающий небольшой по мощности слой атмосферы, образуется, как правило, при радиационных процессах и характеризуется уменьшением плотности с высотой. Верхняя граница слоя тумана находится выше высоты, на которой определяется RVR. В данных условиях наклонная дальность видимости, оцениваемая пилотом во время захода на посадку или с помощью какой-либо системы измерения наклонной дальности видимости, будет превышать значения RVR. При наличии тонкого тумана использование RVR для оценки условий посадки (в целях обеспечения ее безопасности) более предпочтительно, чем использование значений наклонной дальности видимости.

4.5. Метеорологические явления, ухудшающие видимость

Видимость – зрительное восприятие объектов в атмосфере – всегда ограничивается вследствие молекулярного рассеяния света и из-за рассеяния и поглощения его частицами (аэрозолями), содержащимися в атмосфере.

Мгла (HZ) – понижение видимости, вызванное взвешенными в атмосфере литометеорами – частицами пыли (DU), песка (SA), дыма (FU). В северных районах РФ отмечают в холодный период снежную мглу (SNHZ). Информация о мгле передается пилотам и органам УВД, когда горизонтальная видимость составляет 5 км или менее.

Песчаная буря (SS) – это подъем в воздух песка на высоту до 15 м под действием ветра и турбулентности. Диаметр песчинок составляет от 0,8 до 1 мм. Песчаные бури характерны для пустынь и возникают обычно днем, а ночью прекращаются. Они могут наблюдаться не только при внутримассовых процессах, но и в связи с прохождением атмосферных фронтов через район аэродрома. Фронтальная песчаная буря выглядит как стена песка. При этом могут отмечаться кучево-дождевые облака, скрытые частицами песка.

Пыльная буря (DS) – подъем в воздух пыли на высоту выше 3 км под действием сильного ветра и турбулентности. Диаметр частичек пыли, в отличие от песка, значительно меньше 1 мм. Пыльная буря наблюдается в степях и охватывает обширный район длиной несколько километров. Впереди надвигающейся пыльной бури могут наблюдаться пыльные вихри. Пыльные бури часто сопровождают кучево-дождевые облака, которые скрываются за частицами пыли.

Пыльные и песчаные вихри (PO) – это вращающиеся столбы воздуха высотой, как правило, не более 90 м, однако в пустынях сильные PO могут достигать высоты 600 м. В систему вращения вихря могут втягиваться песок, пыль, другие мелкие предметы.

Дымка и туман являются основными причинами ухудшения горизонтальной видимости до 2 км и менее. Туман (FG) – совокупность капель воды и/или кристаллов льда в приземном слое, ухудшающих видимость до значений менее 1 км.

Относительная влажность воздуха при тумане – около 100 %. Диаметр частиц тумана – несколько десятков микрометров. Такие же частицы ухудшают видимость при дымке (BR), сообщения о которой передаются экипажам и органам УВД при видимости от 1 до 5 км.

При температурах воздуха от положительных до -20 °C наблюдаются, как правило, капельно-жидкие туманы. При температурах от -20 до -40 °C – смешанные туманы, состоящие из капель воды и кристаллов льда. При температуре ниже -40 °C – кристаллические туманы. Переохлажденный туман (FZFG) – это туман при отрицательной температуре воздуха. В умеренных широтах переохлажденные туманы обычно являются капельно-жидкими.

Туманы классифицируются в зависимости от физического процесса, приводящего к насыщению воздуха водяным паром и последующей конденсации и сублимации водяного пара. Различают адвективные, радиационные, морозные, антропогенные, орографические, фронтальные туманы и туманы испарения. По синоптическим условиям возникновения туманы делятся на внутримассовые и фронтальные.

Радиационный туман образуется вследствие радиационного выхолаживания земной поверхности и прилегающего к ней слоя воздуха при антициклонической погоде: слабом ветре (1-3 м/с) и отсутствии облаков. Такие туманы формируются в центре антициклона, на оси барического гребня, в седловине.

Тонкие (низкие) радиационные туманы образуются летом в ночное время. Вертикальная мощность их от нескольких метров до нескольких десятков метров. В полете сквозь такой туман хорошо видны наземные ориентиры, а на высоте выравнивания видимость может резко ухудшаться до значений менее 100 м. С восходом солнца эти туманы быстро рассеиваются.

Мощные (высокие) радиационные туманы образуются в холодное время года. Мощность их составляет несколько сотен метров. Они представляют опасность не только при заходе на посадку, но и при полетах на эшелонах до высоты 2 км.

Адвективные туманы образуются при движении теплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность, являются мощными, и занимают большую площадь. Скорость приземного ветра при таких туманах может достигать 15 м/с. Эти туманы формируются в теплом секторе циклона и на западной периферии антициклона. Они могут возникать в любое время суток и года.

Туманы испарения образуются в холодной и устойчивой воздушной массе за счет испарения с водной поверхности озер, рек, водохранилищ тогда, когда температура этой поверхности на $8-12$ °C выше прилегающего к ней слоя воздуха. **Фронтальные туманы** возникают в зоне теплых фронтов в клине

холодного воздуха вследствие смешения теплого и холодного воздуха, а также испарения выпадающих из фронтальных облаков обложных осадков. Эти туманы часто сливаются со слоистообразными облаками.

Морозные и антропогенные туманы наблюдаются при условиях, благоприятных для формирования радиационных туманов. Морозные туманы возникают при температуре воздуха ниже -20 °С. Антропогенные туманы связаны с выбросами тепла, водяного пара, различных аэрозолей (ядер конденсации) из антропогенных источников загрязнения атмосферы.

Туманы склонов называют **орографическими туманами**. Они образуются при адиабатическом охлаждении перемещающегося вверх по склону горы влажного воздуха. При аналогичных процессах формируются низкие слоистые облака. Если облако снижается до поверхности земли, то наблюдается туман.

При наличии тумана на аэродроме горизонтальная видимость на нем может существенно изменяться. Различают три фазы тумана: фазу образования, основную фазу и фазу ослабления. Начальная фаза (фаза образования тумана) длится от первых признаков возникновения тумана до его максимального распространения над аэродромом. В случае адвективного тумана на аэродроме эта фаза может длиться несколько минут. Радиационный туман также может сформироваться очень быстро, однако, образование такого тумана иногда растягивается на несколько часов.

Радиационный туман может вначале возникнуть как **поземный туман** (MIFG), покрывающий весь аэродром или его часть и не ухудшающий горизонтальную видимость. Радиационный туман иногда формируется в виде изолированных гряд, медленно перемещающихся в направлении слабого ветра.

Ночью гряды не заметны до тех пор, пока одна из них не окажется на месте прибора, измеряющего видимость, и прибор покажет при этом ухудшение видимости.

Фаза образования тумана, особенно радиационного, характеризуется значительными пространственными и временными изменениями горизонтальной видимости. Показания приборов видимости, установленных вдоль ВПП, могут сильно различаться.

Основная фаза тумана длится от момента его наибольшего распространения над аэродромом до начала рассеивания. В этой фазе туман представляет собой непрерывный, относительно однородный слой с незначительными изменениями видимости во времени.

Фаза ослабления тумана характеризуется его рассеиванием. Показания приборов видимости в этой фазе являются обычно репрезентативными для ВПП, т.е. правильно отражают условия видимости на ВПП. Следует отметить, что при рассеивании радиационный туман обычно поднимается над аэродромом и превращается в низкие разорванно-слоистые облака.

В холодный период года горизонтальная видимость на аэродромах часто ухудшается при снежных метелях. **Снежная метель** (BLSN) – перенос снега вдоль поверхности земли на высоту 2 м или более под действием ветра.

Снежный поземок (DRSN), в отличие от метели, не ухудшает видимость, т.к. снег поднимается в воздух на высоту менее 2 м, но поземок может очень быстро перерасти в метель.

Атмосферные осадки (см. разд. 3.2) могут существенно ухудшать горизонтальную видимость, которая определяет их интенсивность. Осадки считаются сильными при видимости менее 1 км, умеренными – при видимости 1-2 км, слабыми, если видимость более 2 км. Сильные ливневые осадки – опасное погодное явление на аэродроме.

Дождь и морось чаще всего бывают слабыми, но они могут сопровождаться туманом. Твердые осадки в виде снега в большей степени рассеивают свет, чем капли воды, и поэтому часто приводят к ухудшению горизонтальной видимости до 2 км или менее. Зимой при выпадении снега нередко наблюдается метель.

Контрольные вопросы к Главе 4.

1. Дайте определение горизонтальной видимости, используемой при метеорологическом обеспечении полетов ВС.
2. Охарактеризуйте факторы, определяющие горизонтальную видимость.
3. Что называют яркостью, собственной яркостью и видимой яркостью объекта?
4. Дайте определение метеорологической дальности видимости.
5. От каких факторов зависит метеорологическая дальность видимости?
6. Какие способы существуют для определения МДВ на аэродромах?
7. Дайте определение дальности видимости огня.
8. Какие способы существуют для определения дальности видимости огня на аэродроме?
9. Дайте определение дальности видимости на ВПП.
10. Какие способы используются при определении RVR?
11. Какие факторы не учитываются при определении МДВ?
12. Какие факторы не учитываются при определении RVR?
13. Охарактеризуйте принцип работы трансмиссометров и нефелометров.
14. От каких факторов зависит наклонная дальность видимости?
15. Перечислите явления погоды, ухудшающие видимость до значений менее 1 км.
16. Охарактеризуйте особенности влияния на полеты ВС песчаной и пыльной бурь.
17. Почему опасны для полетов пыльные и песчаные вихри?
18. Дайте определения тумана и дымки.
19. Как влияют на посадку ВС радиационные туманы?
20. Как влияют на полеты ВС адвективные туманы?
21. Охарактеризуйте физические процессы, приводящие к возникновению тумана испарения?
22. Как влияет на посадку ВС поземный туман?

23. Дайте определение метели и поземка.
 24. Какая взаимосвязь между интенсивностью осадков и горизонтальной видимостью?

Глава 5 Синоптические процессы в атмосфере

5.1. Синоптические объекты

В настоящее время одним из основных методов анализа и прогноза погоды в авиации является синоптический метод. В основе этого метода – изучение синоптических процессов синоптического и меньших масштабов с помощью карт погоды. **Синоптические процессы** – это возникновение, перемещение и эволюция синоптических объектов, к которым относятся воздушные массы, атмосферные фронты, барические системы, струйные течения.

Синоптические процессы являются причиной формирования погоды на больших территориях. Карты погоды могут охватывать различные территории от полушария до небольшого района. При метеорологическом обеспечении авиации используются приземные и высотные, текущие (фактические) и прогностические карты погоды.

Масштабы атмосферных процессов представлены в Таблице 5.1.

Таблица 5.1

Масштабы атмосферных процессов

Масштаб атмосферного процесса	Размер, км	Время жизни
Макромасштаб (планетарный)	< 1000	10-1 суток
Синоптический масштаб	1000-100	30-3 ч
Мезомасштаб	100-10	180-20 мин
Микромасштаб	< 10	< 20 мин

5.2. Воздушные массы

5.2.1. Характеристики воздушной массы

Воздушная масса (ВМ) представляет собой большой объем воздуха, соизмеримый с крупными частями материков и океанов. Она обладает относительно однородными свойствами и перемещается в одном из течений общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Горизонтальные размеры воздушных масс – тысячи километров, вертикальные размеры – несколько километров. Часто воздушные массы прослеживаются вплоть до тропопаузы.

Воздушные массы обладают относительно однородными характеристиками погодных условий: температурой, влажностью, прозрачностью воздуха, облачностью, атмосферными явлениями. Абсолютно однородных воздушных масс не существует, поскольку неоднородна подстилающая поверхность, а также различен приток солнечной радиации в северных и южных частях

воздушной массы. Горизонтальный градиент температуры воздуха в приземном слое в пределах воздушной массы составляет в среднем 6°C на 1000 км.

Очаг формирования воздушной массы – это географический район, в котором воздушная масса формируется. Трансформация воздушной массы – изменение ее свойств, когда она движется на другую подстилающую поверхность, в другие условия притока солнечной радиации.

5.2.2. Географическая и термодинамическая классификация воздушных масс

В зависимости от географического положения очага формирования различают арктическую, умеренную и тропическую воздушные массы в северном полушарии. Каждая из этих воздушных масс может быть континентальной и морской.

Морская арктическая ВМ формируется над акваторией Северного Ледовитого океана, свободной ото льдов. На европейскую часть России она поступает через Норвежское и Баренцево моря. **Континентальная арктическая** ВМ формируется над покрытой льдом акваторией Северного Ледовитого океана. На европейскую часть России она поступает со стороны Карского моря и моря Лаптевых.

Континентальная умеренная ВМ формируется над сушей умеренных широт. **Морская умеренная** ВМ формируется над акваториями океанов в умеренных широтах. В Европу она приходит из Северной Атлантики.

Континентальная тропическая ВМ формируется над континентальными районами тропиков и субтропиков. В Европу она поступает из Средней Азии. **Морская тропическая** ВМ формируется в области азорского субтропического антициклона. На европейскую часть России она приходит со стороны Средиземного моря. Свойства воздушных масс зависят от очага их формирования.

Термодинамическая классификация ВМ основана на учете изменения температуры воздуха по горизонтали и вертикали. В зависимости от изменения температуры по горизонтали выделяют нейтральную, теплую и холодную воздушные массы. ВМ в очаге своего формирования является нейтральной. **Нейтральная (местная)** ВМ долгое время в данном районе сохраняет свои свойства.

Теплая ВМ перемещается на холодную подстилающую поверхность и поэтому в нижних слоях охлаждается. **Холодная** ВМ перемещается на теплую подстилающую поверхность и поэтому в нижних слоях происходит ее нагревание.

В зависимости от изменения температуры воздуха по вертикали различают устойчивую и неустойчивую воздушные массы. В *устойчивой* воздушной массе вертикальный градиент температуры воздуха меньше адиабатического градиента. В ней наблюдаются задерживающие слои, инверсия, изотермия; отсутствуют условия для развития конвекции; могут возникать туманы, дымки, слоистая облачность. **Теплая устойчивая** ВМ часто наблюдается над сушей зимой в теплом секторе циклона или в тыловой части антициклона.

В *неустойчивой* воздушной массе вертикальный градиент температуры воздуха больше адиабатического градиента. В этой ВМ развивается конвективная облачность (Cu, Cb), наблюдаются ливни, грозы, шквалы, сильный порывистый ветер. *Холодная неустойчивая* воздушная масса наблюдается чаще всего над сушей летом в послеполуденные часы в тыловой части циклона или в передней части антициклона. Холодная ВМ является, как правило, неустойчивой, а теплая – устойчивой воздушной массой.

5.3. Атмосферные фронты

5.3.1. Понятие атмосферного фронта

Атмосферный фронт (АФ) – это переходная зона между соседними воздушными массами в атмосфере. Фронт называют фронтальной зоной, фронтальным слоем, фронтальным разделом, фронтальной поверхностью. Ширина атмосферного фронта вблизи поверхности земли изменяется от 5 до 100 км, составляя в среднем 50 км. В свободной атмосфере ширина фронтальной зоны, которая называется высотной фронтальной зоной, достигает нескольких сотен километров.

На синоптических картах атмосферные фронты изображают линиями. Фронт на карте погоды – это линия пересечения фронтальной поверхности с поверхностью земли. Длина линии фронта составляет тысячи километров. Толщина зоны фронта по вертикали в нижней тропосфере составляет 200-300 метров, а в верхней тропосфере – примерно 1 км. Фронтальный раздел представляет собой задерживающий слой.

Фронты располагаются под небольшим углом к горизонтальной плоскости вследствие динамических причин, связанных с движением разделяемых фронтом воздушных масс, а также из-за действия силы Кориолиса. Тангенс угла наклона фронтов наиболее часто равен 0,003-0,02. Угол наклона холодных фронтов больше, чем теплых. Фронт всегда наклонен в сторону холодной воздушной массы, т.к. давление воздуха в теплом воздухе с высотой падает медленнее, чем в холодном.

Если контраст температуры между воздушными массами и движение воздуха отсутствуют, то существование фронта невозможно (фронта нет). С увеличением широты места увеличивается угол наклона фронта при прочих равных условиях. На экваторе, где параметр Кориолиса равен 0, наклонное положение фронта невозможно. Чем больше контраст температуры воздуха в зоне фронта, тем больше различаются скорости ветра вблизи фронта в теплой и холодной воздушных массах и тем больше угол наклона фронта. Чем быстрее смещается фронтальная поверхность, тем круче она расположена.

Если фронт стационарен, то барические тенденции мало отличаются по обе стороны от фронта. Это наблюдается часто на периферии циклонов и антициклонов. Перед теплым фронтом давление воздуха, как правило, значительно падает со временем, а за холодным фронтом – растет. Падение и рост атмосферного давления можно обнаружить по величинам барической тенденции на приземной карте погоды.

Фронтальная поверхность всегда располагается в барической ложбине. Изобарические поверхности в зоне фронта имеют изгиб в сторону высокого давления. Поэтому перед надвигающимся фронтом давление воздуха всегда понижается. Чем глубже барическая ложбина, в которой находится фронт, тем меньше скорость движения фронта. Если на приземной карте погоды изобары пересекают фронт почти перпендикулярно, то фронт движется быстро.

5.3.2. Классификация атмосферных фронтов

Атмосферные фронты классифицируются в зависимости от их вертикальной протяженности, строения, направления и скорости перемещения, географического происхождения воздушных масс, разделенных фронтом.

Теплый фронт – передний край перемещающейся теплой воздушной массы. На картах погоды он изображается красной линией или черной линией с полукругами. Средняя скорость движения теплых фронтов – 20-30 км/ч (рис. 5.1).

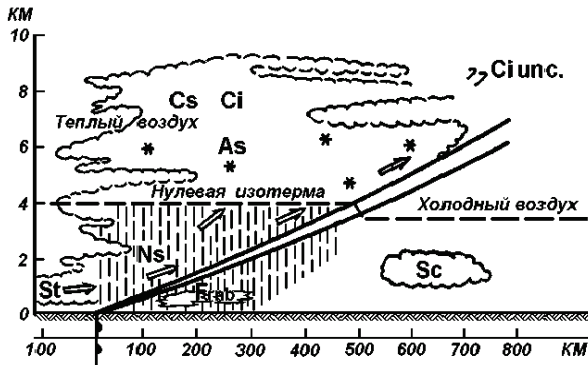


Рис 5.1. Вертикальный разрез теплового фронта

Холодный фронт – передний край перемещающейся холодной воздушной массы. На картах погоды он изображается синей линией или черной линией с треугольниками. В зависимости от скорости движения и характерной облачности различают холодный фронт первого рода (рис. 5.2) и холодный фронт второго рода (рис. 5.3). Средняя скорость движения холодного фронта первого рода – 30-40 км/ч, а второго рода – 50-60 км/ч. Для холодного фронта второго рода характерна узкая полоса кучево-дождевой облачности, при размывании которой могут наблюдаться все формы облаков, кроме St и Cu.

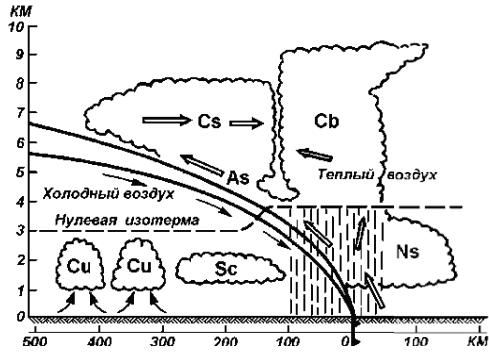


Рис. 5.2. Вертикальный разрез холодного фронта первого рода

Профиль теплового фронта отличается от профиля холодного фронта, т.к. перемещающийся теплый воздух натекает на холодный воздух в зоне теплового фронта, а в зоне холодного фронта холодный воздух подтекает под теплый воздух.

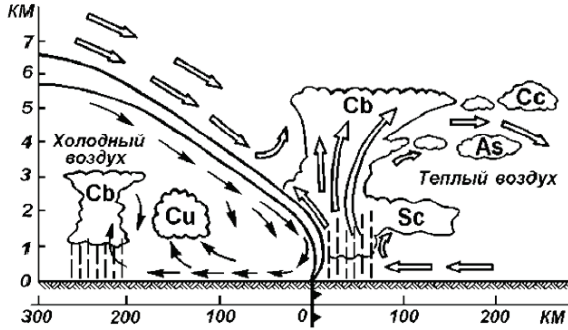


Рис. 5.3. Вертикальный разрез холодного фронта второго рода

Стационарный (малоподвижный) фронт разделяет воздушные массы, которые движутся почти параллельно линии фронта. Средняя скорость стационарного фронта 10 км/ч. На картах погоды этот фронт обозначается двойной красно-синей линией или черной линией, по одну сторону от которой находятся треугольники, а по другую сторону – полукруги.

Фронт окклюзии – это сложный фронт, который образуется путем смыкания холодного и теплового фронтов. Холодный фронт догоняет теплый фронт и смыкается с ним. На картах погоды фронт окклюзии обозначается коричневой линией или черной линией с треугольниками и полукругами, находящимися по одну сторону от неё.

В зависимости от географического происхождения воздушных масс, разделяемых фронтом, различают арктический и умеренный фронты. *Арктический фронт* разделяет арктическую и умеренную воздушные массы. *Умеренный фронт* разделяет умеренную и тропическую воздушные массы. Название фронтам дается по названию холодной воздушной массы, которую они отделяют от теплой воздушной массы. По названию фронта можно судить о свойствах воздушных масс, разделяемых фронтом.

На атмосферном фронте скачкообразно изменяются: температура, плотность, влажность, запыленность, прозрачность воздуха, ветер (направление и скорость), барический градиент (горизонтальный и вертикальный), барическая тенденция. В теоретическом плане фронтальную зону рассматривают как поверхность разрыва этих величин. Давление воздуха на фронте не изменяется скачкообразно.

5.3.3. Перемещение и эволюция атмосферных фронтов

Условия погоды в зоне фронта, влияющие на полеты ВС, зависят от характера фронта, его эволюции и перемещения. При анализе перемещения атмосферных фронтов используется правило ведущего потока. Считается, что каждая точка приземного фронта перемещается вдоль проходящей над ней изогипсы АТ-700 гПа со скоростью, пропорциональной фактической скорости ветра на этой изобарической поверхности. Коэффициент пропорциональности равен 0,7 для теплых фронтов и 0,8 для холодных фронтов.

При прогнозировании направления и скорости перемещения атмосферных фронтов используется метод экстраполяции. Этот метод заключается в определении положения, направления и скорости перемещения атмосферного фронта по двум последовательным приземным картам погоды и в экстраполяции полученных результатов на ближайшие 6 ч.

Процессы обострения и размывания фронта характеризуют его эволюцию. *Обострение атмосферного фронта (фронтотенез)* – это сужение переходной зоны между воздушными массами и увеличение горизонтальных градиентов температуры воздуха в этой зоне. *Размывание атмосферного фронта (фронтотиз)* – расширение переходной зоны между воздушными массами и уменьшение горизонтальных градиентов температуры воздуха в ней.

Обострение фронта приводит к увеличению следующих его характеристик: контраста температуры воздуха в зоне фронта, угла наклона фронта, скорости вертикальных движений воздуха, мощности облачной системы и интенсивности осадков. При размывании фронта все эти характеристики уменьшаются. Фронтотенез приводит к ухудшению погодных условий, а фронтотиз – к их улучшению.

Характер суточной эволюции атмосферных фронтов над сушей и над морем прямо противоположный. Над сушей ночью теплые фронты обостряются, холодные – размываются, а днем наоборот. Над морем ночью теплые фронты размываются, холодные фронты обостряются, а днем наоборот. Это объясняется тем, что днем поверхность суши теплее поверхности моря, а ночью наоборот. Над

сушей теплые фронты более выражены в холодный период года (октябрь- март), чем в теплый (апрель-сентябрь). Холодные фронты над сушей более выражены в теплый период, чем в холодный. В течение суток наибольшую активность эти фронты проявляют в послеполуденные часы, когда наблюдается наибольший прогрев подстилающей поверхности.

Основная система фронтальных облаков формируется в теплой воздушной массе над фронтальной поверхностью. Мощность и форма облаков в зоне фронта зависят от температуры, влажности и термодинамического состояния теплой воздушной массы, взаимодействующей на фронте с холодной воздушной массой.

5.3.4. Условия погоды вблизи теплых, холодных фронтов и фронтов окклюзии

Метеорологические условия в зоне теплого фронта определяются системой облаков и выпадающих из них осадков. Для теплого фронта (см. рис. 5.1) типична слоистообразная облачность (Cs – As – Ns), но иногда может наблюдаться и замаскированная кучево-дождевая облачность (Cb).

Система слоистообразных облаков располагается над поверхностью фронта в теплом воздухе впереди приземной линии теплого фронта. В ширину (перпендикулярно фронту) эта система облаков простирается на несколько сотен километров. Зона осадков, выпадающих из этих облаков, имеет меньшую ширину. Зимой ширина облачности и осадков больше, чем летом. Под фронтальной поверхностью в холодном воздухе, где наблюдается выпадение обложных осадков, отмечаются низкие разорванно-дождевые облака (Fmb – fractonimbus), высота нижней границы которых, как правило, ниже 200 м.

При приближении теплого фронта к аэродрому появляются С1 unc.– предвестники теплого фронта. Затем наблюдаются Cs, охватывающие в виде легкой белой вуали весь небосвод. Особенностью этих облаков является оптическое явление гало – белые или разноцветные круги вокруг солнца, которые обусловлены преломлением и отражением света в ледяных кристаллах облаков. Далее на небе появляются As. Солнце и Луна просвечивают сквозь них, как сквозь матовое стекло. Постепенно нижняя граница облачности опускается, мощность облаков увеличивается, отмечаются Ns. Из них выпадают обложные осадки. Солнце и Луна не видны. Из As осадки выпадают только в холодный период, а в теплый период осадки испаряются, не достигая поверхности земли.

Зона обложных осадков располагается впереди приземной линии фронта в клине холодного воздуха. Если в этом клине влажность воздуха достигает больших величин, то наблюдаются не только низкие разорванно-дождевые облака, но и фронтальный туман. При выпадении переохлажденного дождя (FZRA) или переохлажденной мороси (FZDZ) на аэродроме отмечается очень опасный вид наземного обледенения – гололед. При температурах воздуха от 0 до -20 °С в слоистообразной облачности почти всегда наблюдается обледенение. ВС различной интенсивности. В теплый период года на теплых

фронтах могут возникать Сб с ливнями, градом, грозами, с которыми связаны сильные сдвиги ветра, сильная турбулентность и обледенение ВС. Облака вертикального развития вблизи теплых фронтов наблюдаются чаще всего ночью и утром, когда происходит обострение теплых фронтов. Образование конвективной облачности обусловлено высоким влагосодержанием теплой воздушной массы и радиационным выхолаживанием верхнего слоя массива слоистообразных облаков в ночное время. Кучево-дождевая облачность на теплом фронте является *замаскированной* (EMBD Сб) и потому особенно опасна для авиации.

Система облаков **холодного фронта первого рода** существенно отличается от облачности холодного фронта второго рода. За линией холодного фронта первого рода наблюдается слоистообразная облачность и зона осадков (см. рис. 5.2). Облака этого фронта подобны облакам теплого фронта, но расположены в обратном порядке: Ns – As – Cs. Ширина облачной системы в направлении, перпендикулярном к холодному фронту, меньше, чем в случае теплого фронта. В зоне осадков на холодном фронте первого рода наблюдаются низкие Fmnb, осложняющие полеты ВС на малых высотах. В теплый период на холодном фронте первого рода часто формируются фронтальные Сб с ливнями, грозами, шквалами. Ливневые осадки выпадают обычно перед линией фронта, а после его прохождения наблюдаются обложные осадки.

Холодный фронт **второго рода** является самым опасным для авиации из всех видов атмосферных фронтов (см. рис. 5.3). Типичной для этого фронта является кучево-дождевая облачность. Сб формируются перед приземной линией фронта, ширина облачности в среднем – 50-100 км. Такую же ширину имеет зона ливневых осадков. Образование кучево-дождевых облаков в зоне холодного фронта второго рода происходит вследствие вынужденной конвекции – сильных восходящих потоков теплого воздуха перед линией фронта. Верхняя часть кучево-дождевых облаков в виде наковальни, состоящей из Cs, вытягивается по направлению движения фронта.

С прохождением любого холодного фронта через район аэродрома всегда связано усиление приземного ветра и понижение температуры воздуха. Линии шквалов могут располагаться впереди холодного фронта, совпадать с линией фронта или находиться позади линии фронта. Особенно опасными для полетов ВС холодные фронты бывают летом в послеполуденные часы, когда наблюдается максимальный прогрев подстилающей поверхности.

5.4. Циклоны и антициклоны

5.4.1. Возникновение циклонов и антициклонов

Большинство циклонов и антициклонов возникает на малоподвижных фронтах, на которых могут образовываться волны. Один участок стационарного фронта начинает двигаться в сторону холодного воздуха и возникает теплый фронт, другой участок этого фронта начинает двигаться в сторону теплого воздуха и возникает холодный фронт. Развивающиеся, незатухающие волны на фронте называются неустойчивыми. Если длина волны на фронте больше 1000 км, то волна становится неустойчивой. В передней части волны при адвекции

тепла наблюдается падение давления воздуха, и формируется циклон. В тыловой части волны при адвекции холода давление воздуха растёт, и здесь возникает антициклон.

5.4.2. Перемещение циклонов и антициклонов

Молодой циклон с круговыми изобарами перемещается в направлении изобар его теплого сектора. Изобары теплого сектора на приземной карте погоды направлены так, что теплый воздух находится справа, а холодный – слева. Это направление соответствует направлению ведущего потока на высотах, т.к. над теплым сектором направление ветра с увеличением высоты не изменяется

Согласно правилу **изаллобарической** пары, циклон движется в сторону очага падения атмосферного давления в направлении линии, соединяющей очаги падения и роста давления соответственно в передней и тыловой частях циклона. Антициклон перемещается в направлении очага роста давления воздуха параллельно линии, соединяющей очаги роста и падения давления воздуха в его передней и тыловой частях.

Наличие хорошо выраженных очагов роста и падения атмосферного давления в противоположных частях циклонов и антициклонов говорит о подвижности этих барических систем.

Высокие циклоны и антициклоны, развитые до высоты изобарической поверхности 300 гПа и выше, малоподвижны. Чем меньше развиты циклоны и антициклоны по высоте, тем они подвижнее.

Контрольные вопросы к Главе 5.

1. Дайте определение воздушной массы, каковы ее горизонтальные и вертикальные размеры и что понимают под очагом формирования воздушной массы и ее трансформацией?
2. Какие воздушные массы выделяют согласно их географической и термодинамической классификации воздушных масс?
3. В чем различие между устойчивой и неустойчивой воздушными массами?
4. Охарактеризуйте погоду в теплой устойчивой воздушной массе зимой и в холодной неустойчивой воздушной массе летом.
5. Что представляет собой атмосферный фронт? Каковы пространственные размеры фронта? Чему равен угол наклона фронтов и от чего он зависит?
6. Назовите признаки, лежащие в основе классификации фронтов.
7. Дайте определение теплого и холодного фронта. Какова средняя скорость их перемещения?
8. Какие метеорологические величины скачкообразно изменяются на атмосферных фронтах?
9. Назовите облака – предвестники теплого фронта.
10. Какие фронты являются самыми опасными для авиации и почему?

Глава 6. Федеральные авиационные правила "Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов (ФАП-60)

(Приказ Министерства транспорта Российской Федерации (Минтранс России) от 3 марта 2014 г. N 60 г. Москва "

Метеорологическая информация предоставляется физическим лицам, юридическим лицам, осуществляющим организацию, обеспечение и выполнение полетов гражданских воздушных судов в воздушном пространстве Российской Федерации (далее - пользователи метеорологической информации), в виде сводок, прогнозов и других сообщений, касающихся наблюдаемых или ожидаемых метеорологических условий.

Метеорологический орган, осуществляющий наблюдения за метеорологическими параметрами на аэродроме, вертодроме или посадочной площадке (далее - аэродромный метеорологический орган), обеспечивает проведение регулярных, специальных и других наблюдений за состоянием погоды на аэродроме.

При обеспечении точных заходов на посадку для наблюдения за фактической погодой используются автоматизированные метеорологические измерительные системы (АМИС), обеспечивающие автоматическое измерение, сбор, обработку, распространение и отображение в режиме реального времени метеорологических параметров, влияющих на посадку и взлет (приземного ветра, видимости, дальности видимости на взлетно-посадочной полосе (ВПП), текущей погоды, высоты нижней границы облаков, температуры воздуха, температуры точки росы и атмосферного давления).

Метеорологические параметры должны отображаться на средствах отображения, установленных на авиационном метеорологическом центре (АМЦ) или авиационной метеорологической станции гражданской авиации (АМСГ) и диспетчерских пунктах органов обслуживания воздушного движения (орган ОВД).

Регулярные наблюдения на аэродроме, вертодроме или посадочной площадке в период проведения полетов, включая время, когда аэродром используется в качестве запасного, ведутся круглосуточно с интервалом 30 минут в сроки 00 и 30 минут каждого часа, а при отсутствии полетов - с интервалом час в 00 минут каждого часа по согласованию с органом ОВД.

Перечень критериев для проведения специальных наблюдений, проводимых в интервале между регулярными наблюдениями, составляется

метеорологическим органом на основе консультаций с органом ОВД и отражается в инструкции по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме.

Сообщения о результатах регулярных и специальных наблюдений выпускаются в виде:

-- местных регулярных и специальных сводок, распространяемых только на аэродроме составления сводки, предназначенных для прибывающих и вылетающих воздушных судов, а также для службы автоматической передачи информации в районе аэродрома (ATIS);

. - регулярных метеосводок по аэродрому (METAR) и сводок SPECI, распространяемых за пределами аэродрома составления сводки, предназначенных, в основном, для планирования полетов, радиовещательных передач, касающихся метеорологической информации для воздушных судов, находящихся в полете (VOLMET). Метеорологическая информация, используемая в ATIS, поступает из местных метеорологических сводок.

Сводки METAR и SPECI содержат следующие элементы в указанном порядке:

- 1) группы идентификации:- название кода; индекс местоположения аэродрома; срок наблюдения; указатель автоматической (AUTO) или отсутствующей сводки (сводки NIL) в случае необходимости;
- 2) приземный ветер;
- 3) видимость;
- 4) дальность видимости на взлетно-посадочной полосе в случае необходимости;
- 5) текущая погода;
- 6) облачность (или вертикальная видимость);
- 7) температура воздуха и температура точки росы;
- 8) давление QNH;
- 9) дополнительная информация,;
- 10) прогноз для посадки (TREND);
- 11) примечание к метеосводке, которое включает в себя особенности базирования аэродрома, особенности воздушного движения (RMK);
- 12) инструментальные данные высоты облаков (вертикальной видимости) при ее значении ниже минимума аэродрома (QBB);
- 13) информация о закрытии гор, препятствий облачностью;

. По результатам наблюдений на аэродроме в сводки включается дополнительная информация об особых метеорологических условиях в зонах захода на посадку и набора высоты. В сводки METAR и SPECI в качестве дополнительной информации включаются сведения о текущей погоде, наблюдаемой в период с момента выпуска последней регулярной сводки или последнего часа, но не в момент наблюдения. В данном случае в сводки включается информация о следующих явлениях погоды:: замерзающие осадки; умеренные или сильные осадки, включая ливни; низовая метель; пыльная буря или песчаная буря; гроза; шквал; воронкообразное облако (торнадо или водяной смерч); вулканический пепел. В качестве дополнительной информации в сводки METAR и SPECI также включаются: информация о сдвиге ветра; для обеспечения полетов вертолетов на сооружения, установленные в открытом море, сведения о температуре поверхности моря и состоянии моря; явления предшествующей погоды; сдвиг ветра; информация о состоянии взлетно-посадочной полосы в виде закодированной десятизначной группы, включаемой в сводку METAR/SPECI в том виде, в каком эти данные получены от аэродромной службы через органы ОВД; сведения о состоянии ВПП, предоставляемые уполномоченной аэродромной службой, в кодовом формате ИКАО.

Местные регулярные и специальные сводки содержат следующие элементы в указанном порядке:

- 1) группы идентификации: название сводки; индекс местоположения аэродрома; срок наблюдения; указатель AUTO, по запросу экипажа воздушных судов или эксплуатанта;
- 2) приземный ветер;
- 3) видимость;
- 4) дальность видимости на взлетно-посадочной полосе, по запросу экипажа воздушных судов или эксплуатанта;
- 5) текущая погода;
- 6) облачность (или вертикальная видимость);
- 7) температура воздуха и температура точки росы;
- 8) давление QNH и по запросу командира воздушного судна QFE;
- 9) дополнительная информация: особые явления или условия погоды; местоположение особых явлений или условий погоды;
- 10) прогноз для посадки TREND;
- 11) дополнительная информация, согласованная органом ОВД с аэродромным метеорологическим органом.

Параметры приземного ветра измеряются на высоте 10 м над поверхностью земли в зонах приземления и сообщаются в градусах и метрах в

секунду. В сводках METAR и SPECI направление ветра указывается от истинного меридиана. На аэродромах, где магнитное склонение составляет пять градусов и более, в отчет направления ветра для включения в местные сводки вводится поправка.

Информация о текущей погоде для местных регулярных и специальных сводок должна быть репрезентативной для условий на аэродроме (в радиусе 8 км от контрольной точки аэродрома (КТА)). Явления погоды представляются в местных регулярных и специальных сводках с указанием их типа, характеристики и интенсивности, в сводках METAR и SPECI с указанием их типа, характеристики, интенсивности или близости к аэродрому. Данные наблюдений за облачностью включают информацию о количестве, виде и высоте нижней границы облаков.

Вертикальная видимость сообщается до высоты 600 м: в сводках METAR и SPECI - в величинах, кратных 30 м; в местных регулярных и специальных сводках - в величинах, кратных 10 м до высоты 90 м, и кратных 30 - от 90 м и выше.

Наблюдения за температурой воздуха и температурой точки росы должны быть репрезентативными для всего комплекса ВПП. В местных регулярных и специальных сводках и сводках METAR и SPECI сообщаются данные о температуре воздуха и температуре точки росы с округлением до целого числа градусов Цельсия. Атмосферное давление измеряется, а значение давления, приведенного к среднему уровню моря по стандартной атмосфере (QNH), и значение давления, приведенного к уровню рабочего порога ВПП (QFE), вычисляются и передаются в гектопаскалях и (или) миллиметрах ртутного столба.

Обработанная радиолокационная информация в электронном виде передается на рабочие места органа ОВД. Если информация МРЛ передается органам ОВД в устной форме, то местоположение зон облачности и грозových очагов указывается относительно КТА.

. С борта воздушного судна проводятся и передаются через органы ОВД органам метеорологического слежения, АМЦ, АМСГ следующие виды наблюдений: регулярные наблюдения на этапах набора высоты и полета по маршруту; специальные и другие нерегулярные наблюдения на любом этапе полета. Регулярные наблюдения, передаваемые с борта воздушного судна

посредством речевой связи, проводятся на этапе полета по маршруту в установленных пунктах через каждый час полета или по запросу органом ОВД.

Специальные наблюдения проводятся с борта всех воздушных судов в тех случаях, когда наблюдаются: умеренная или сильная турбулентность; умеренное или сильное обледенение; сильная горная волна; грозы без града, скрытые, маскированные, частые или по линии шквала; грозы с градом, скрытые, маскированные, частые или по линии шквалов; сильная пыльная буря или сильная песчаная буря; облако вулканического пепла или вулканическая деятельность; слабое обледенение и слабая турбулентность; слабый, умеренный, сильный, очень сильный сдвиг ветра, данные о ветре на высоте 100 м и на высоте полета на промежуточном этапе захода на посадку (высоте входа в глиссаду).

Прогнозы по аэродрому составляется аэродромным метеорологическим органом, выпускается в виде прогноза TAF и состоят из краткого сообщения об ожидаемых метеорологических условиях в районе аэродрома в течение определенного периода времени.

TAF, TAF COR и TAF AMD включают следующую информацию в указанном порядке:

- 1) название кода;
- 2) указатель (индекс) местоположения аэродрома;
- 3) дата и время выпуска прогноза;
- 4) период действия прогноза;
- 5) идентификатор аннулированного прогноза, в случае если текущий прогноз аннулирует ранее выпущенный;
- 6) приземный ветер;
- 7) видимость;
- 8) особые явления погоды;
- 9) облачность;
- 10) минимальная и максимальная температура воздуха;
- 11) ожидаемые изменения одного или нескольких из указанных выше метеорологических элементов в течение периода действия.

Указываемая в TAF видимость соответствует прогнозируемой преобладающей видимости.

Период действия регулярных прогнозов по аэродрому TAF составляет шесть часов, девять часов, 24 часа и 30 часов. TAF выпускается каждые три часа и предоставляется пользователям метеорологической информации не менее чем за один час до начала периода действия прогноза.

Прогноз для посадки составляется аэродромным метеорологическим органом в виде прогноза TREND и состоит из краткого изложения ожидаемых изменений одного или нескольких элементов: скорости и (или) направления ветра, видимости, явлений погоды, облачности, прилагаемого к местной регулярной или специальной сводке, к сводке METAR или SPECI. Период действия прогноза для посадки типа TREND составляет два часа, начиная со времени, на которое составлена сводка.

Прогноз для взлета составляется аэродромным метеорологическим органом по запросу эксплуатанта.

Зональные прогнозы GAMET содержат следующую информацию в указанном ниже порядке:

- 1) район полётной информации (РПИ);
- 2) сокращение GAMET;
- 3) период действия прогноза;
- 4) указатель метеорологического органа, подготовившего сообщение;
- 5) название РПИ или его части;
- 6) указатель первого раздела информации;
- 7) приземный ветер со скоростью 15 м/с и более;
- 8) видимость у поверхности земли менее 5000 м с указанием явлений, ее ухудшающих;
- 9) особые явления погоды, предусмотренные в Приложении 3 к Конвенции о международной гражданской авиации;
- 10) закрытие гор;
- 11) облачность с высотой нижней границы ниже 300 м, кучево-дождевая или мощнокучевая облачность;
- 12) обледенение;
- 13) турбулентность;
- 14) горные волны;
- 15) перечень сообщений SIGMET, действующих в РПИ или его части на период действия GAMET.

Если в течение периода действия GAMET опасные явления для полетов воздушных судов до эшелона 100 (150 или выше) не прогнозируются и отсутствуют сообщения SIGMET, то все элементы первого раздела заменяются термином HAZARDOUS WX NIL;

- 16) указатель начала второго раздела информации;

- 17) центры барических образований и фронты, их предполагаемое смещение и развитие;
- 18) ветер и температура воздуха для абсолютных высот: 600 м, 1500 м, 3000 м и 4500 м и по запросу командира воздушного судна;
- 19) информация об облачности, не включенная в первый раздел информации, с указанием типа, высоты нижней и верхней границы над уровнем земли или над средним уровнем моря;
- 20) высота нулевой изотермы;
- 21) минимальное значение QNH;
- 22) температура поверхности моря и состояние моря по запросу;
- 23) вулканические извержения.

Зональные прогнозы GAMET выпускаются каждые шесть часов, при этом период их действия составляет шесть часов, и предоставляются потребителям метеорологической информации не позднее чем за час до начала действия GAMET. Зональные прогнозы в формате GAMET выпускаются метеорологическими органами, ответственными за метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов ниже эшелона полета 100 (150 или выше в горных районах). Если прогнозы предоставляются в формате карты, они представляют собой комбинацию: прогнозов особых явлений погоды; прогнозов ветра, температуры на высотах для следующих абсолютных высот: 600 м (эшелон 020), 1500 м (эшелон 050) и 3000 м (эшелон 100) и 4500 м (эшелон 150) или выше в горных районах. По запросу пользователей метеорологической информации в прогноз GAMET дополнительно включается прогноз ветра и температуры для других эшелонов

Информация SIGMET выпускается органом метеорологического слежения и представляет собой краткое описание открытым текстом с сокращениями фактических или ожидаемых явлений погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на безопасность полета воздушных судов, а также предполагаемую эволюцию данных явлений во времени и в пространстве.. В сообщении SIGMET включается одно из перечисленных явлений с использованием сокращений, указанных в приложении N 4 к Правилам (независимо от высоты). Информация SIGMET аннулируется тогда, когда явления более не наблюдаются или когда не ожидается, что они возникнут в данном районе. Период действия сообщения SIGMET не превышает четырех часов. Период действия сообщения SIGMET об облаке вулканического пепла не

превышает шести часов. Сообщения SIGMET выпускаются не ранее, чем за четыре часа до начала периода действия. Сообщения SIGMET, касающиеся облака вулканического пепла, выпускаются, как только это становится практически возможным, но не более чем за 12 часов до начала периода действия. Сообщения SIGMET об облаке вулканического пепла уточняются не реже чем через шесть часов.

Информация AIRMET выпускается органом метеорологического слежения и представляет собой краткое описание открытым текстом с сокращениями фактических или ожидаемых определенных явлений погоды по маршрутам и районам полетов, которые не были включены в зональные прогнозы GAMET и могут повлиять на безопасность полетов ниже эшелонов 100 в равнинной местности и ниже 150 или более в горной. Метеорологические явления, в отношении которых составляются сообщения AIRMET ниже эшелона 100 (или ниже эшелона 150 в горных районах или по запросу выше), указаны в приложении N 5 к Правилам. . Информация AIRMET аннулируется тогда, когда явления более не наблюдаются или не ожидается их возникновение в данном районе. Период действия сообщения AIRMET не превышает четырех часов.

Предупреждения по аэродрому выпускаются аэродромным метеорологическим органом и содержат информацию о метеорологических условиях, которые могут представлять опасность для воздушных судов на земле, в том числе на местах стоянки, а также на аэродромное оборудование, средства и службы. Предупреждения по аэродрому выпускаются в связи с фактическим или ожидаемым возникновением одного или нескольких нижеследующих явлений: тропического циклона; цунами; грозы; града; шквала; смерча; снегопада продолжительностью более двух часов; замерзающих осадков; перехода температуры через 0 к отрицательным значениям; песчаной или пыльной бури; сильного приземного ветра 15м/с (с учетом порывов); вулканического пепла; отложения вулканического пепла; выброса токсических химических веществ; других явлений, согласованных с органами ОВД. Критерии для составления предупреждений указываются в инструкции по метеорологическому обеспечению полетов.

Предупреждения о сдвиге ветра выпускаются аэродромным метеорологическим органом и содержат краткую информацию о наблюдаемом или ожидаемом сдвиге ветра, который может представлять опасность на конечном этапе захода на посадку или при взлете в слое до 500 м включительно над уровнем порога ВПП, или на этапах разбега (при взлете), или пробега (при

посадке). Указанные оповещения о сдвиге ветра содержат информацию о наблюдаемом сдвиге ветра, характеризуемом изменением встречного (попутного) ветра на 7,5 м/с (15 узлов) или более, который может представлять опасность воздействия на воздушное судно на конечном этапе траектории захода на посадку или начальном этапе траектории взлета, или на воздушное судно на ВПП во время его пробега после посадки, или разбега при взлете.

Предоставление метеорологической информации экипажам воздушных судов.

Метеорологическая информация для представления эксплуатантам и экипажам воздушных судов включает следующую информацию:

- 1) прогнозы: ветра и температуры на высотах; особых явлений погоды (SWH, SWM);
- 2) METAR, SPECI (включая прогнозы TREND) для аэродромов вылета и намеченной посадки, для запасных аэродромов вылета, на маршруте и назначения;
- 3) TAF и коррективы TAF для аэродромов вылета и намеченной посадки, для запасных аэродромов вылета, на маршруте и назначения;
- 4) информацию SIGMET и (или) специальные донесения с борта, касающиеся всего маршрута (к специальным донесениям с борта воздушного судна относятся донесения, которые не использовались при подготовке сообщений SIGMET);
- 5) консультативную информацию о вулканическом пепле и тропических циклонах, относящуюся ко всему маршруту полета;
- 6) зональные прогнозы в формате GAMET и (или) прогнозы в формате карт и информация AIRMET для полетов ниже эшелона 100 (150 или выше в горных районах), которые относятся ко всему маршруту;
- 7) предупреждения по аэродрому для аэродрома вылета;
- 8) данные искусственных спутников Земли (далее - ИСЗ);
- 9) данные наземных метеорологических радиолокаторов (МРЛ, ДМРЛ).

Метеорологическая информация подготавливается для экипажа воздушного судна не позднее чем за час до запланированного времени вылета воздушного судна.

В полетную документацию включаются прогнозы особых явлений погоды SIGWX, прогноз ветра и температуры на высотах в виде карт, масштаб и

период действия которых охватывают район и время полета, включая возможный уход на запасной аэродром.

По требованию экипажа воздушного судна (эксплуатанта) в полетную документацию включаются дополнительные прогнозы по высотам (прогнозы особых явлений погоды и (или) ветра (температуры)).

Заступающей на дежурство смене органа ОВД предоставляется аэродромным метеорологическим органом или органом метеорологического слежения метеорологическая консультация, которая содержит: общую характеристику метеорологической обстановки в контролируемых и смежных районах; фактические и ожидаемые метеорологические условия на маршрутах, в районах полетов, на аэродромах вылета, посадки и запасных аэродромах; время запуска и предполагаемые траектории смещения радиозондов, которые могут находиться в контролируемых районах; последние данные о состоянии погоды на местном аэродроме, значение атмосферного давления и тенденция его изменения; готовность метеорологического оборудования, средств связи и дежурной смены метеорологического органа к работе.

Авиационная климатологическая информация.

. Авиационная климатологическая информация, необходимая для планирования полетов, подготавливается в виде аэродромных климатологических таблиц и аэродромных климатологических сводок. Пользователи метеорологической информации снабжаются указанной информацией по соглашению между ними и полномочным метеорологическим органом.

Аэродромные климатологические таблицы включают следующую информацию: средние величины и отклонения, в том числе максимальные и минимальные значения метеорологических элементов; частоту возникновения на аэродроме явлений погоды, влияющих на выполнение полетов; частоту возникновения элемента или сочетания двух и более элементов с определенными значениями.

Аэродромные климатические сводки включают: повторяемость значений RVR и (или) видимости и нижней границы облаков (BKN или OVC) ниже установленных пределов и их сочетаний; повторяемость направления и скорости; повторяемость значений температуры воздуха в диапазонах 5 °С в определенные моменты времени; повторяемость явлений, влияющих на выполнение полетов (грозы, туманы), их продолжительность и среднее число

дней с особыми явлениями погоды; средние максимальные температуры воздуха у земли для каждого месяца; максимальные температуры воздуха у земли для каждого месяца; минимальные температуры воздуха у земли для каждого месяца; средние минимальные значения QNH для каждого месяца; минимальные значения QNH для каждого месяца; максимальные значения QNH для каждого месяца; минимальное QNH на аэродроме за период наблюдений; средние значения направления и скорости ветра у земли для каждого месяца; минимальная температура воздуха на аэродроме, отмеченная за период многолетних наблюдений; минимальная температура воздуха у земли в наивысшей точке рельефа местности в пределах района ЕС ОрВД (установленного участка района ЕС ОрВД), отмеченная за период многолетних наблюдений. При выпуске прогнозов и производстве наблюдений за метеорологическими параметрами применяются критерии, указанные в приложениях N 1 и 2 к Правилам (ФАП-60).

Литература.

1. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для летного и диспетчерского состава ГА. Уральский УТЦ ГА. г. Екатеринбург 2010 г.
2. А.В.Мешков. Основы авиационной метеорологии. М.АБМ Аэро, 2012, 26с.
3. Богаткин О.А. Авиационная метеорология. – СПб.: РГГМУ, 2009.
4. Богаткин О.А., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1992.
5. Иоффе М.М., Приходько М.Г. Справочник авиационного метеоролога /под ред. А.В. Костюченко. – М.: Воениздат, 1977.
6. Сафонова Т.В. Авиационная метеорология. Учебное пособие. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2005.
7. Бабиков М.А. Авиационная метеорология. Изд. Досарм. М, 1951, 216с