

оценок и иллюстрирующая методику оценки примерами наиболее типичных случаев. Шкала оценок содержит следующие графы.

1. Прогноз условий погоды относительно минимума (или штормового предупреждения об опасном явлении).
2. Фактически наблюдавшаяся погода относительно минимума (наличие или отсутствие опасных явлений).
3. Оценка (оправдался, не оправдался).

Могут быть и другие варианты оперативной оценки авиационных прогнозов погоды. В частности, рекомендации ИКАО предусматривают необходимость учитывать требования к точности и обеспеченности авиационных прогнозов погоды.

Прогноз признается оправдавшимся, если фактическое значение прогнозируемых величин не вышло за пределы установленной нормативами точности. Нормативы требуемой точности и обеспеченности прогнозов устанавливаются для каждого метеоэлемента и явления погоды.

Под обеспеченностью  $K$  понимается цифровое выражение в процентах отношения числа  $N_n$  прогнозов отдельных значений метеоэлементов и явлений погоды с отклонениями от фактической погоды, не выходящими за пределы установленной точности, к общему числу составленных прогнозов по этим метеоэлементам или явлениям:

$$K = N_n / N_0 \cdot 100.$$

Для оценки оправдываемости прогнозов и качества работы метеостанций согласно рекомендации ИКАО применяются специально разработанные нормативы.

## 8. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ОПАСНЫЕ ДЛЯ ПОЛЕТОВ<sup>1</sup>

### 8.1. Обледенение

Физико-метеорологические условия обледенения. Обледенением называется отложение льда на различных частях ЛА во время полета. Оно возникает при определенных метеорологических условиях и значительно осложняет полет, а при интенсивном нарастании льда может сделать его невозможным. Как показывает статистика, транспортный ЛА встречает обледенение довольно часто — в среднем в одном полете из десяти.

Обледенение обусловлено наличием в атмосфере воды, находящейся в различном состоянии: жидком в виде переохлажденных капель, газообразном в виде водяного пара и твердом в виде кристаллов льда. Все эти три состояния воды в атмосфере дают соот-

<sup>1</sup> В данном разделе рассматриваются только опасные метеорологические явления, наблюдающиеся на маршрутах полета.

ветственно три типа обледенения: капельное, сублимационное и кристаллическое.

При первом типе лед возникает вследствие оседания и замерзания на ЛА капель воды, сохраняющихся в жидком состоянии при отрицательных температурах. Обледенение данного типа происходит только при полете в среде, содержащей переохлажденные капли (в облаках или в переохлажденном дожде). При втором типе обледенение является следствием сублимации содержащегося в атмосфере водяного пара, т. е. следствием перехода его непосредственно в лед, минуя жидкую фазу. При третьем типе образование льда может происходить вследствие оседания его кристаллов на поверхности ЛА, однако такой тип обледенения встречается редко и лишь при некоторых специфических условиях.

Практика полетов показывает, что случаи значительного обледенения в большинстве своем связаны с попаданием ЛА в среду, содержащую переохлажденные водяные капли.

Рассмотрим процесс обтекания профиля крыла самолета воздушным потоком, содержащим переохлажденные водяные капельки. Поток воздуха, движущийся с дозвуковой скоростью, на некотором расстоянии перед профилем крыла разделяется на два потока, один из которых проходит сверху, другой — снизу крыла. За профилем оба потока соединяются. Такое разделение потока вызывается возмущениями от крыла, которые со скоростью звука распространяются в окружающем воздухе во все стороны и в том числе против направления потока.

При установившемся движении частицы воздуха, обтекающие профиль, движутся по определенным траекториям — линиям тока. Увлекаемые силами вязкости воздуха переохлажденные водяные капельки движутся вначале по линиям тока. До тех пор, пока линия прямолинейна, траектория капли практически совпадает с ней. Но на участке, где линия тока искривляется, огибая профиль, движущаяся по ней капля вследствие инерции стремится сохранить направление своего движения и начинает отклоняться от линии тока, смещаясь по направлению к профилю. Если величина силы инерции окажется достаточной, чтобы преодолеть силы вязкости воздуха, капля настолько отклонится от линии тока, что столкнется с крылом. Если же сила инерции мала, капля незначительно отклонится от линии тока и пройдет мимо крыла, не осев на его поверхности.

Допустим, что в потоке воздуха, обтекающем крыло, содержатся только очень крупные капли. Тогда, вследствие большой силы инерции, траектории капель будут почти прямолинейны и почти все капли, находящиеся перед крылом, осядут на его поверхности. Когда поток воздуха содержит только очень мелкие капли, лишь небольшая их часть попадет на поверхность крыла, так как вследствие малых сил инерции капли будут незначительно отклоняться от линии тока и пройдут мимо профиля.

Кроме размера (массы) капли, большую роль в оседании числа капель на поверхности крыла играет скорость воздушного по-

тока. Чем больше скорость движения капель, тем большее количество их будет оседать на профиле в единицу времени. Но рост скорости ведет и к увеличению сил инерции капель, что может вызвать оседание также и мелких капель, не осаждавшихся ранее.

Возможность обледенения любого тела, находящегося в атмосфере, определяется тремя условиями: температурой наружного воздуха (она должна быть отрицательной), водностью облаков, размерами облачных капель. Если учесть эти три фактора, можно составить таблицу так называемых расчетных условий обледенения, т. е. таких условий, на которые рассчитывается противообледенительная система.

С точки зрения «суровости» или «силы» обледенения наибольшее значение имеют два параметра — температура наружного воздуха и водность. Размер капель играет хотя и существенную, но меньшую роль.

Температура наружного воздуха при обледенении — один из важнейших параметров. Действующие Нормы летной годности ограничивают температуру воздуха:  $-30^{\circ}\text{C}$  для максимальных условий непрерывного обледенения и  $-40^{\circ}\text{C}$  для периодического обледенения.

Насколько это соответствует реальным условиям обледенения транспортных самолетов, видно из приведенного на рис. 8.1 графика повторяемости обледенения  $P$  (в процентах) по температуре наружного воздуха по данным экспериментальных и рейсовых полетов.

Статистика рейсовых полетов показывает наличие значительного количества случаев обледенения при температурах наружного воздуха ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  (2% случаев).

Степень суровости встреченных условий обледенения определяется в первую очередь интенсивностью обледенения — температурой наружного воздуха и скоростью образования льда. Интенсивность обледенения, в свою очередь, определяется водностью облаков (главным образом) и размером облачных капель (в меньшей мере). Интенсивность обледенения зависит также от скорости полета.

На рис. 8.2 приведена повторяемость обледенения в зависимости от относительной интенсивности  $I$  для 1390 случаев.

По сообщениям экипажей рейсовых самолетов зоны обледенения большой интенсивности встречаются весной, осенью, зимой и не превышают 8% всех случаев. Обледенение встречается в большом диапазоне высот — от земли до 10—12 км. Однако примерно в 80% случаев обледенение происходит на высотах менее 4000 м (рис. 8.3). Продолжительность обледенения в полете может быть также неодинакова.

Наиболее часто встречается кратковременное (менее 5 мин) обледенение. Но возможны случаи и длительного обледенения. Обработка донесений рейсовых пилотов показывает, что обледенение продолжительностью свыше 30 мин встречается примерно в 3% случаев.

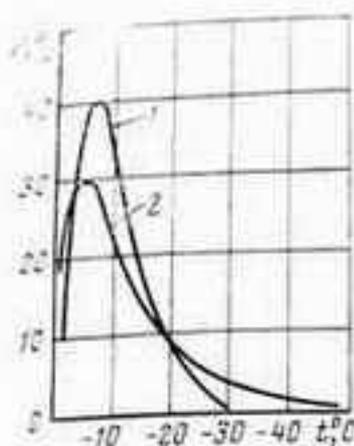


Рис. 8.1. Температура воздуха при обледенении:

1 — при испытательных полетах (3165 случаев); 2 — при рейсовых полетах (450 случаев)

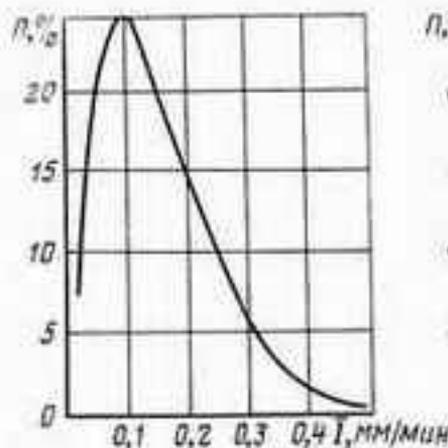


Рис. 8.2. Повторяемость обледенения для 1390 случаев

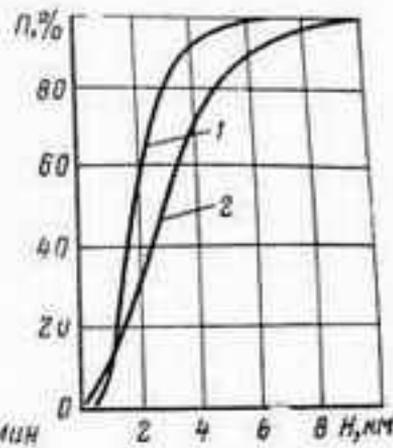


Рис. 8.3. Повторяемость обледенения различной интенсивности:

1 — при экспериментальных полетах (1733 случая); 2 — при рейсовых полетах (450 случаев)

Образующийся в полете на частях самолета лед может быть самым различным по размерам, форме, цвету и структуре. С практической точки зрения различные встречающиеся виды обледенения могут быть сведены к двум основным, возникновение которых связано с капельным обледенением.

Первый вид обледенения образуется при полете в среде, содержащей достаточно крупные переохлажденные капли. Он характеризуется более или менее выраженной рогообразной (или «крытообразной») формой ледяного нароста на носке профиля и значительной шириной захвата льда (распространением его по контуру профиля). Ледяной нарост обычно бугристый, шероховатый, полупрозрачный. Этот вид обледенения чаще всего образуется при температурах наружного воздуха от 0 до  $-5^{\circ}\text{C}$ , но может возникнуть и при более низких температурах.

Второй вид обледенения возникает при полете в облаках, содержащих мелкие капли, которые при столкновении с поверхностью ЛА мгновенно замерзают, образуя непрозрачный, белый (матовый) ледяной нарост клиновидной трапециевидной формы. Характерным признаком второго обледенения, который образуется в широком диапазоне температур, является отложение льда на узком участке носка крыла, вблизи передней кромки.

Из этих двух видов обледенения второй встречается больше. Но наиболее часто бывает обледенение промежуточного вида, приближающееся либо к первому, либо ко второму виду.

**Влияние обледенения на аэродинамические и летные характеристики самолетов.** Ледяные отложения на поверхности самолета приводят к изменению условий обтекания его воздушным потоком. Образование льда на фюзеляже (центроплане, мотогондолах, антеннах и других частях, на которых обычно отсутствует противооб-

леденительная система) может вызвать значительное увеличение лобового сопротивления самолетов, при этом возникающие срывы потока от образовавшихся ледяных наростов могут также изменить воздушный поток в зоне оперения самолетов. Однако главную роль в отрицательном воздействии обледенения на аэродинамические и летные характеристики играет искажение ледяным наростом контуров профиля крыла и оперения и изменение состояния поверхности несущих поверхностей.

На рис. 8.4 показано влияние льда, образовавшегося на носке стреловидного крыла самолета компоновочной схемы с тремя газотурбинными двигателями, расположенными в хвостовой части фюзеляжа. Эксперимент проводился для посадочной конфигурации самолета. Как видим, трапециевидный имитатор ледяного нароста толщиной 40 мм вызвал уменьшение максимального значения коэффициента подъемной силы  $C_{y\max}$  на 12%.

При исследованиях в аэродинамической трубе для самолета Ан-12 было получено значительно более резкое влияние ледяного нароста, который имел рогообразную форму и толщину всего лишь 15 мм. Снижение  $C_{y\max}$  достигло 45%, а критический угол атаки  $\alpha$  уменьшился на 7—8°. Летные эксперименты, проведенные на том же самолете в условиях естественного обледенения, дали несколько иной результат. Ледяной нарост, по форме близкий к клинообразному, при толщине 20 мм вызвал снижение  $C_{y\max}$  с 1,6 до 1,1 (т. е. на 31%), а критический угол атаки уменьшился на 3° (с 20 до 17°). Аэродинамическое качество самолета при этом по сравнению с необледеневшим крылом уменьшилось почти вдвое.

Формы и размеры льдообразований, при которых проводились данные эксперименты, и полученное ухудшение характеристик не могут рассматриваться как максимальные. Толщина льда на крыле 20—40 мм может быть охарактеризована лишь как умеренное обледенение. Иногда встречаются значительно более тяжелые условия обледенения. В принципе можно сделать вывод, что чем совершеннее аэродинамические свойства крыла, тем существенней будет влияние обледенения. Для стреловидного крыла, у которого с ростом угла атаки коэффициент подъемной силы увеличивается медленнее, чем у прямого, ледяной нарост обычно оказывает отрицательное воздействие.

При заходе на посадку самолетов с обледеневшим горизонтальным оперением и при наличии ряда неблагоприятных факторов у самолета может возникнуть сильный пикирующий момент, который вызовет клевок самолета. Для некоторых типов самолетов это проявляется внезапно и резко, для других — достаточно плавно, что позволяет пилоту предпринять правильные действия для вывода самолета из клевка.

Известны случаи, например, таких клевков у самолета «Вай-каунт», который в свое время являлся одним из самых распространенных турбовинтовых транспортных самолетов. Последний случай с катастрофическим исходом произошел в январе 1977 г. в районе аэропорта Бромм в Швеции.

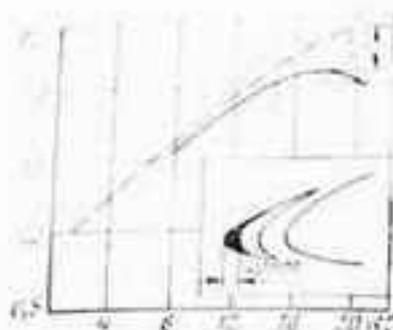


Рис. 8.4. Изменение  $C_y$  в зависимости от угла  $\alpha$  при образовании льда на крыле:  
1 — без льда; 2 — при обледенении

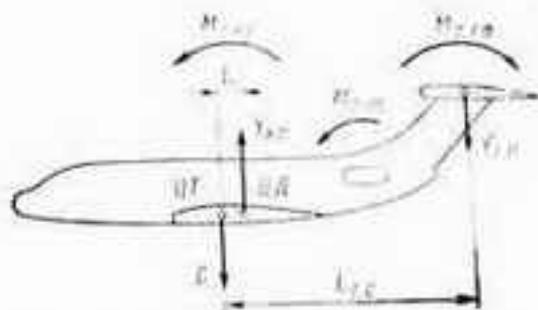


Рис. 8.5. Схема сил и моментов, действующих на самолет при обледенении

Момент тангажа самолета складывается в основном из трех моментов — от крыла, от горизонтального оперения и тяги двигателей<sup>1</sup>:

$$M = M_{z \text{ кр}} + M_{z \text{ г.о}} + M_{z \text{ дв}}$$

На рис. 8.5 приведена элементарная схема сил, действующих на самолет и создающих моменты, сумма которых должна быть равной нулю в установившемся прямолинейном полете. Подъемная сила крыла, приложенная в центре давления ЦД, который расположен за центром тяжести ЦТ самолета, создает момент на пикирование  $M_{z \text{ кр}}$ , равный произведению подъемной силы  $Y_{\text{кр}}$  на плечо  $L$ . Вес самолета показан буквой  $G$ . Горизонтальное оперение создает момент на кабрирование  $M_{z \text{ г.о}}$ , равный произведению подъемной силы горизонтального оперения  $Y_{\text{г.о}}$ , которая всегда направлена вниз, на плечо  $L_{\text{г.о}}$ .

Изменения этих двух моментов при постоянном режиме работы двигателей определяют продольную балансировку самолета. Момент тангажа самолета изменяется в зависимости от угла атаки и отклонения руля высоты. Если руль высоты отклоняется вверх, то подъемная сила горизонтального оперения за счет изменения кривизны его профиля возрастает и, следовательно, увеличивается кабрирующий момент  $M_{z \text{ г.о}}$ . Если руль высоты отклоняется вниз, картина обратная — подъемная сила и момент горизонтального оперения уменьшаются. Отсюда следует, что если по каким-либо причинам наступает резкое уменьшение (или исчезновение) момента горизонтального оперения, самолет под действием момента  $M_{z \text{ кр}}$  перейдет в пикирование и должен будет перевернуться вокруг поперечной оси  $z$ , если не будет восстановлена уравнивающая сила горизонтального оперения. Действие обледенения и приводит к нарушению продольной балансировки самолета.

<sup>1</sup> При более строгом рассмотрении следует учитывать также моменты от других частей самолета.

Исследования в аэродинамических трубах показали, что при возникновении срывных явлений происходит перераспределение давления на нижней поверхности горизонтального оперения, которое на предпосадочных режимах встречает поток набегающего воздуха под значительным отрицательным углом атаки.

Выравнивание давления по хорде оперения и усиление разрежения в хвостовой части профиля приводит к изменению шарнирного момента руля высоты и стремлению отклониться вниз (шарнир ощущает это по возникновению обратных усилий на штурвале). Ледяной нарост на носке стабилизатора может значительно уменьшить критический угол атаки горизонтального оперения и вызвать появление ранних местных срывов потока, что и приведет к указанным ранее отрицательным последствиям.

Возникновение преждевременного срыва обтекания вследствие обледенения стабилизатора может привести к резкому ухудшению характеристик продольной устойчивости по перегрузке с освобожденным и зафиксированным управлением. Уменьшение движущих усилий на штурвале, перемена их знака и резкое возрастание обратных усилий провоцируют клевок самолета на нос и затрудняют, а в некоторых случаях делают невозможным вывод его из пикирования.

Особенно опасным является уменьшение отклонений руля высоты, потребных для выхода на данную перегрузку. Обычно при выпуске закрылков для парирования возникающего кабрирующего момента необходимо сделать соответствующее движение штурвалом вперед. При заходе на посадку со льдом на стабилизаторе при выпуске закрылков пилот привычным отклонением руля высоты, необходимым для перевода самолета на меньший угол, может вывести самолет на слишком малую перегрузку, т. е. на более отрицательный, чем требуется, угол атаки. Вывод самолета на слишком малую перегрузку приводит к срыву потока на горизонтальном оперении.

«Подхват» руля высоты на пикирование и дальнейшее развитие срыва на оперении может привести к тому, что при ручном управлении руль самопроизвольно полностью отклонится вниз, и физических возможностей пилота не хватит, чтобы вернуть его из этого положения; при бустерном управлении может создаться такое положение, когда мощности усилителя не хватит и уменьшить отклонение руля будет невозможно.

В качестве примера на рис. 8.6 приведены кривые, построенные на основании летных экспериментов в условиях естественного обледенения и показывающие изменение продольной устойчивости самолета Ан-12 при образовании на стабилизаторе льда различных размеров и форм (по горизонтальной оси отложены значения аэродинамического коэффициента подъемной силы, по вертикальной — потребное усилие на штурвале самолета). Как видим, рогаобразный ледяной нарост на стабилизаторе самолета Ан-12 вызвал значительное ухудшение характеристик продольной устойчивости по

перегрузке, а лед, по форме повторяющий очертания профиля, практически не оказал влияния.

**Некоторые рекомендации пилоту.** При изучении метеорологической обстановки перед полетом необходимо оценить возможность встречи в полете с зонами умеренного и сильного обледенения, используя для этого приземные синоптические карты, карты барической топографии и данные бортовой погоды.

Обледенение возможно как во фронтальных облаках (слоисто-дождевые, высоко-слоистые), так и во внутримассовых (слоистые, слоисто-кучевые, высококучевые), а также и в переохлажденном дожде.

Умеренное и сильное обледенение обычно наиболее часто возникает при температуре от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$  (на высотах ниже 5000 м).

Используя карту барической топографии, ближайшую к эшелону, по дефициту точки росы определяется наличие облачности на эшелоне полета на отдельных участках трассы, а по температуре воздуха оценивается возможность обледенения в облаках.

Чтобы избежать отрицательного последствия обледенения, необходимо своевременно включать противообледенительную систему. Никогда не следует пренебрегать слабым или даже незначительным обледенением. Особенность обледенения состоит в его «коварстве». Пилот может сотни раз пересекать зоны обледенения и не испытывать при этом каких-либо затруднений. Это успокаивает и притупляет внимание пилота. Но вот происходит образование наиболее неблагоприятной формы льда, к этому добавляются другие отрицательные факторы, и такое сочетание приводит к возникновению опасных ситуаций.

Перед полетом необходимо тщательно изучить метеорологическую обстановку по трассе и особенно в пунктах взлета и посадки, учитывая, что большинство случаев обледенения происходит в наборе высоты и при снижении на высотах менее 5000 м.

Для самолетов, чувствительных к влиянию обледенения, все противообледенительные системы на снижении и при заходе на посадку следует включать перед входом в облачность, туман, снегопад, дождь или морось при температуре наружного воздуха  $+5^{\circ}\text{C}$  и ниже, а после выхода эти системы могут быть отключены лишь при полной уверенности в отсутствии льда на защищаемых поверхностях.

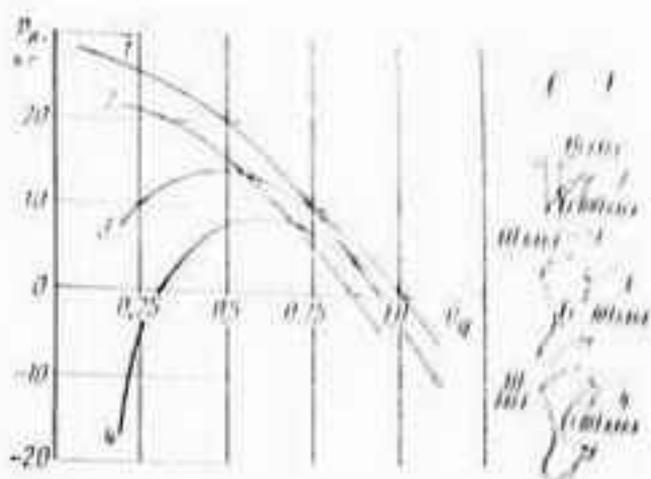


Рис. 8.6. Крылья, характеризующие предельную устойчивость самолета при перегрузке при различных условиях обледенения на носке стабилизатора самолета Ан-12  $\alpha = 16^{\circ}$

1 — без льда; 2 — клееобразный лед; 3 — мелкокристаллический лед; 4 — переохлажденный лед

О начале обледенения экипаж получает информацию от сигнализаторов обледенения. Признаками обледенения большой интенсивности обычно является быстрое нарастание льда на стеклах и уменьшение приборной скорости.

При заходе на посадку в условиях обледенения экипаж должен проверить, нет ли льда на крыле и оперении. При отсутствии льда посадка производится обычным способом. В случае отказа противообледенительной системы и невозможности выхода из зоны обледенения при наличии льда на стабилизаторе (или если невозможно проверить, есть ли на нем лед) экипаж должен быть готов к возможности возникновения срыва потока на горизонтальном оперении. Одной из первых предупредительных мер является уменьшение угла отклонения закрылков.

Признаками начала срыва потока с горизонтального оперения обычно являются уменьшение усилий на штурвале, стремление штурвала уйти вперед, затягивание самолета в пикирование. Надо помнить, что все факторы, которые увеличивают отрицательный угол атаки оперения, способствуют развитию срыва. К таким факторам относятся выпуск закрылков на большой угол, повышенная скорость захода на посадку, малая полетная масса, болтанка и резкое пилотирование с созданием перегрузки, меньшей единицы, повышение режима работы двигателей.

При появлении указанных признаков и возникновении клевка пилот должен удерживать штурвал от ухода вперед, энергично взять его на себя и уменьшить угол отклонения закрылков. Посадку производить с уменьшенным углом закрылков, не допуская резкого пилотирования.

Всегда необходимо придерживаться основного принципа: время нахождения самолета в условиях обледенения должно быть минимальным.

-185" 8.2

## 8.2. Атмосферная турбулентность

В атмосфере одновременно с горизонтальными движениями воздуха могут наблюдаться и вертикальные. Это приводит к тому, что совокупное движение воздуха часто носит неупорядоченный вихревой характер. Такое состояние атмосферы, когда происходит образование вихрей различных размеров, возникают горизонтальные и вертикальные порывы ветра, называют турбулентностью атмосферы.

Турбулентность наблюдается не во всей атмосфере одновременно, не на всех высотах и не все время. Она возникает под воздействием термических и динамических факторов. Поэтому принято различать термическую и динамическую турбулентность.

**Термическая турбулентность** появляется в результате неравномерного нагревания земной поверхности и больших вертикальных градиентов температуры ( $\gamma > \gamma_{ва}$ ). Это вид турбулентности чаще всего наблюдается в нижней половине тропосферы (до 3—4 км).

Интенсивность ее зависит от времени года, суток и устойчивости атмосферы. Наибольшая интенсивность обычно бывает в теплое время года в дневные часы и в холодных неустойчивых воздушных массах, а также в размытом барическом поле — в седловине и заполняющихся циклонах.

При термической турбулентности в атмосфере возникают как беспорядочные, так и упорядоченные восходящие и нисходящие движения воздуха, образуются кучевообразные облака — кучевые и кучевые разорванные, мощные кучевые и кучево-дождевые.

**Динамическая турбулентность** образуется из-за трения движущегося воздуха о шероховатости рельефа на земной поверхности и неоднородного характера воздушных потоков по скорости и направлению.

Влияние трения о земную поверхность в равнинной и холмистой местности в основном обуславливает возникновение динамической турбулентности в нижнем слое тропосферы (до 1000—1500 м). В горной местности она может распространяться значительно выше (до 7—9 км).

В свободной атмосфере динамическая турбулентность возникает в слоях, где наблюдается большая изменчивость характеристик ветра как по высоте, так и по горизонтали. Для количественной оценки турбулентности пользуются понятием сдвига ветра — изменением вектора ветра на 100 м высоты или 100 км расстояния по горизонтали. Различают вертикальный сдвиг ветра и горизонтальный сдвиг ветра, который, в свою очередь, может быть сдвигом ветра по потоку или боковым сдвигом ветра (перпендикулярно к потоку). Интенсивность динамической турбулентности зависит от величины вертикального и горизонтального сдвигов ветра.

Динамическая турбулентность наблюдается чаще там, где имеется сходимости или расходимости воздушных потоков, искривление их направления, в области струйных течений. Она может возникать также в виде чередующихся восходящих и нисходящих потоков в результате волновых движений на границах слоев инверсии и изотермии.

Хотя термическая и динамическая турбулентность создаются по причине разных факторов, на характер воздушных потоков они могут воздействовать как раздельно, так и одновременно, усиливая интенсивность турбулентного состояния атмосферы.

Турбулентность обуславливает в атмосфере перенос тепла, водяного пара и твердых частиц по вертикали, порывистость ветра. Турбулентный обмен существенно влияет на условия образования, эволюцию и микроструктуру облаков, осадков и туманов, которые, в свою очередь, создают сложные метеорологические условия для полетов.

Интенсивная атмосферная турбулентность относится к опасным явлениям погоды для ГА. Она оказывает большое влияние на полет ЛА, вызывая их болтанку.

**Влияние турбулентности на полет ЛА.** Во время полета в турбулентной зоне при пересечении атмосферных вихрей ЛА подвергается

ется воздействием вертикальных и горизонтальных порывов ветра. Под их воздействием изменяются угол атаки и подъемная сила, происходят тряска и вибрации, неуправляемые движения и броски ЛА вверх и вниз, возникают перегрузки.

Тряску и неуправляемые движения ЛА по вертикали, сопровождающиеся перегрузкой при полете в турбулентной атмосфере, называют болтанкой.

Под перегрузкой понимается отношение подъемной силы к весу ЛА. В горизонтальном полете в спокойной атмосфере они равны друг другу. При неустановившемся режиме полета или воздействии вертикальных порывов ветра подъемная сила может быть больше или меньше веса ЛА, и поэтому он будет испытывать броски по вертикали.

Из аэродинамики известно, что перегрузка, а значит, и болтанка зависят не только от интенсивности атмосферной турбулентности, но и от конструкции самолета и режима полета. Это означает, что при одной и той же интенсивности турбулентности различные типы ЛА будут испытывать болтанку различной интенсивности. При прочих равных условиях болтанка тем интенсивнее, чем больше скорость полета. Поэтому в руководствах по летной эксплуатации самолетов через число  $M$  задаются максимально допустимые скорости полета в спокойной и турбулентной атмосфере.

Интенсивность болтанки оценивается величиной приращения перегрузки  $\Delta n$ , выраженной в долях ускорения свободного падения  $g$ . Болтанка считается умеренной, когда при полете на эшелоне  $\pm 0,5 \leq \Delta n \leq \pm 1,0$ , при посадке и взлете  $\pm 0,3 \leq \Delta n \leq \pm 0,4$ . Болтанка считается сильной, когда при полете на эшелоне  $\Delta n > \pm 1,0$ , а при посадке и взлете  $\Delta n > \pm 0,4$ .

Интенсивная болтанка сильно ухудшает устойчивость и управляемость ЛА, искажает показания некоторых пилотажных приборов, например указателя скорости, высотомера, создает дополнительные напряжения в отдельных узлах и деталях ЛА и может привести к их разрушению, вызывает утомляемость, а иногда воздушную болезнь у пассажиров и членов экипажа.

При встрече с сильным восходящим потоком воздуха ЛА испытывает бросок вверх (рис. 8.7, а) и может перейти в пикирование с недопустимым увеличением скорости.

Под действием сильного нисходящего потока происходит бросок вниз (рис. 8.7, б) и ЛА может выйти на большие углы кабрирования с недопустимым снижением скорости. При последующем воздействии вертикального порыва ветра значительной силы может произойти выход за критические углы атаки, в результате чего происходит сваливание на крыло или на нос.

Сильная (штормовая) болтанка часто возникает при таком турбулентном состоянии атмосферы, когда мощные вертикальные потоки носят порывистый характер, при этом порывы следуют один за другим с большей частотой.

Вне грозových облаков вертикальные порывы ветра могут достигать 10—12 м/с и вызвать перегрузку самолета до  $\pm 0,8—1,0 g$ .

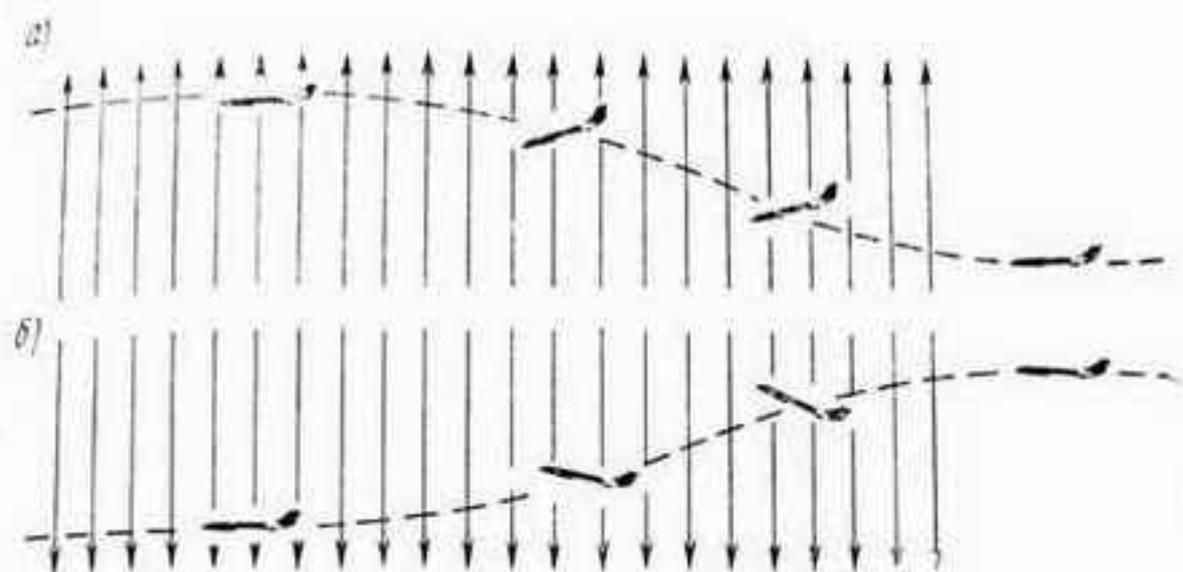


Рис. 8.7. Влияние на полет самолета: восходящих (а) и нисходящих потоков (б)

В грозных кучево-дождевых облаках были зарегистрированы порывы до 15 м/с, вызывающие перегрузку до  $\pm 2 g$ .

Болтанку вызывают и горизонтальные порывы ветра, изменяя величину подъемной силы и силы лобового сопротивления. Однако эти изменения имеют небольшую величину, так как скорость горизонтального порыва ветра сравнительно мала по сравнению со скоростью полета. Поэтому горизонтальные порывы ветра существенного влияния на равновесие ЛА не оказывают (эффект воздействия горизонтальных порывов примерно в 10—12 раз меньше, чем вертикальных порывов той же величины).

**Турбулентные зоны** могут встречаться во всей толще тропосферы и в стратосфере в зависимости от устойчивости воздушной массы, характера метеорологической обстановки и рельефа местности.

Местоположение турбулентных зон связано с теми районами, где наблюдаются повышенные значения вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра, а также вертикального градиента температуры. Обычно они наблюдаются на тех высотах, где указанные характеристики претерпевают существенные изменения по величине.

Турбулентные зоны в большинстве случаев охватывают ограниченные области. Толщина их в тропосфере чаще всего от 300 до 600 м, горизонтальная протяженность до 200 км. Очень редко зона турбулентности охватывает слой толщиной 2—3 км и имеет протяженность до 1000 км. Чем интенсивнее турбулентная зона, тем меньше ее толщина и протяженность.

В атмосфере турбулентные зоны имеют очаговое расположение и участки с повышенной турбулентностью перемежаются со спокойными участками. Кроме того, турбулентные зоны неустойчивы во времени. Турбулентная зона в тропосфере может исчезнуть через 30—50 мин после ее возникновения. Горизонтальная протяжен-

ность зон турбулентности в стратосфере находится в пределах от 15 до 250 км с максимальной повторяемостью от 25 до 100 км. Толщина зоны в 75% случаев не превышает 300 м, но в отдельных случаях может быть больше 1000 м. Особенностью стратосферных очагов турбулентности является то, что они сохраняются длительное время.

Турбулентные зоны по своей структуре состоят из большого количества вихрей различных размеров. Болтанка ЛА вызывается главным образом вихрями, соизмеримыми по своим масштабам с размерами ЛА. Для каждого типа ЛА существует свой диапазон размеров турбулентных вихрей, вызывающих болтанку. Так, мелкие турбулентные вихри, оказывающие существенное влияние на малогабаритные ЛА, почти не влияют на тяжелые типы с большой площадью крыльев.

Максимальная повторяемость турбулентности, вызывающей болтанку, наблюдается на высотах до 3 км, выше повторяемость ее уменьшается и с приближением к тропопause вновь увеличивается, но остается меньше, чем в нижней тропосфере.

Турбулентность в верхней тропосфере и стратосфере (турбулентность ясного неба) обусловлена причинами динамического происхождения и наблюдается в тех зонах, где имеются большие горизонтальные градиенты температуры.

Турбулентность в горной местности. Горные районы наиболее благоприятны для возникновения интенсивных зон турбулентности. Поэтому при полетах в горах болтанка ЛА является частым явлением.

Турбулентность, обусловленную рельефом местности, принято называть орографической турбулентностью, а болтанку ЛА в горной местности — орографической болтанкой.

Воздушный поток при обтекании горных препятствий формируется особенно на подветренной стороне. При определенных условиях возникает зона повышенной турбулентности, состоящая из совокупностей вихрей различных размеров и подветренных (горных) волн. *ветер*.

Характер и интенсивность турбулентности зависят от формы и размеров горного препятствия, от направления ветра по отношению к нему, от скорости ветра и изменения его с высотой.

Для того чтобы на подветренной стороне хребта образовались вихри и подветренные волны, необходимы следующие условия:

устойчивая стратификация атмосферы;

направление ветра на уровне гребня должно составлять с гребнем хребта угол не менее  $60^\circ$ ;

скорость ветра должна возрастать с высотой и на уровне гребня превышать некоторое критическое значение, которое может изменяться от 8 до 15 м/с в зависимости от высоты хребта. Вихри, образующиеся за подветренным склоном, бывают горизонтальными и вытянутыми параллельно горному хребту. Они образуются

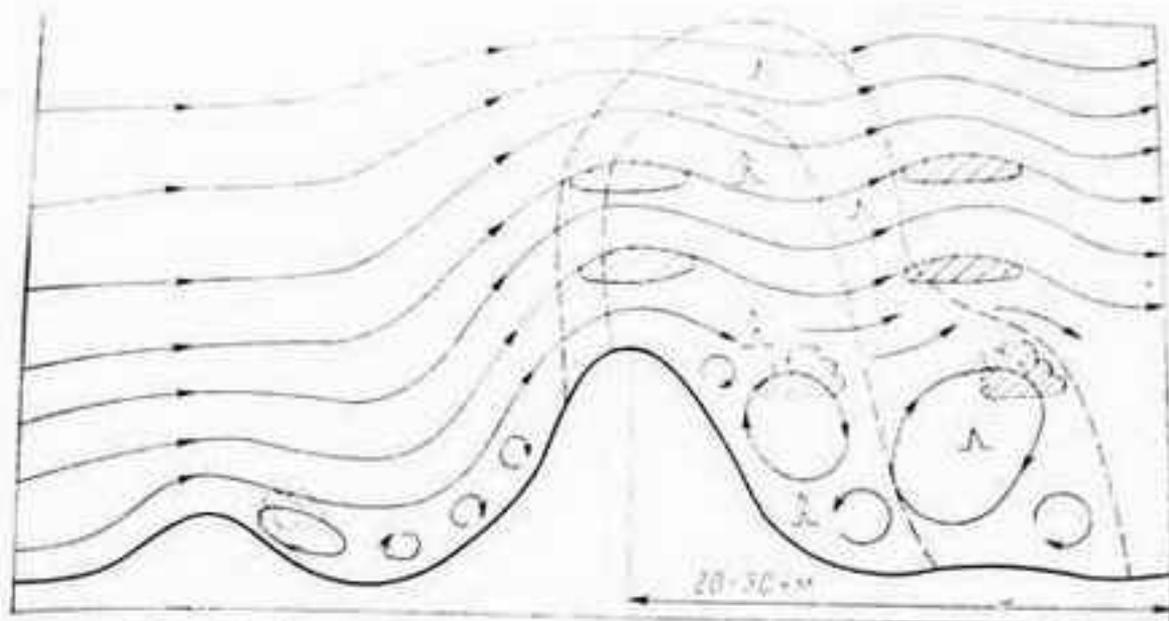


Рис. 8.8. Схема расположения зон орографической турбулентности

чаще всего за горными препятствиями высотой до 1500 м, их диаметр обычно 400—800 м. Скорость вертикальных движений колеблется от 5 до 10 м/с.

Признаком наличия таких вихрей является образование кучевых разорванных облаков. Подветренные волны имеют длину волны 5—50 км и амплитуду 100—150 м. Они могут распространяться в атмосфере на 4—5-кратную высоту горного хребта. При большой влажности воздуха в гребнях волн возникают высококучевые чечевицеобразные облака.

При полете в подветренных волнах возникает циклическая болтанка, вызываемая чередующимся восходящим и нисходящим движением воздуха в гребнях и ложбинах волн. Наиболее опасной бывает болтанка в коротких волнах с большой амплитудой.

Зона повышенной турбулентности распространяется по горизонтали в направлении воздушного потока на 20—30 км от горного препятствия.

Схема расположения зон орографической турбулентности показана на рис. 8.8.

При полетах в турбулентных зонах в горной местности могут возникать большие перегрузки, произвольная потеря высоты ЛА до нескольких сотен метров.

**Прогнозирование зон повышенной турбулентности и меры безопасности при полетах в них.** Прогнозирование турбулентных зон в атмосфере, в которых может возникать болтанка ЛА, является наиболее трудным по сравнению с прогнозом других метеоземелентов и явлений. Это объясняется отсутствием систематических наблюдений за болтанкой, большой неустойчивостью турбулентных зон во времени и в пространстве.

Методы прогноза зон болтанки в атмосфере пока строятся на анализе косвенных данных, которые определяют развитие турбулентности или указывают на ее существование при различной синоптической обстановке. Такими данными являются вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра, вертикальный градиент температуры, форма облачности, наличие высотных фронтальных зон и струйных течений, зон сходимости и расходимости воздушных течений, положение и наклон тропопаузы.

При полетах в тропосфере болтанка более часто наблюдается при пересечении атмосферных фронтов, зон с грозовой деятельностью, в области струйных течений, в зонах расходимости и сходимости воздушных потоков, а также при пересечении высотных ложбин и гребней.

Для определения вероятных зон болтанки над различными районами используют данные радиозондирования атмосферы, карты барической топографии и карты тропопаузы. Зоны болтанки в свободной атмосфере принято оценивать по выявлению районов с повышенными вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра, горизонтальными градиентами температуры.

Интенсивная болтанка возникает при вертикальных сдвигах ветра более 3 м/с на 100 м и горизонтальных сдвигах — более 6 м/с на 100 км, горизонтальных градиентах температуры более 2,5° С на 100 км. Зоны болтанки наиболее вероятны на тех высотах, где происходит изменение величины вертикального сдвига ветра.

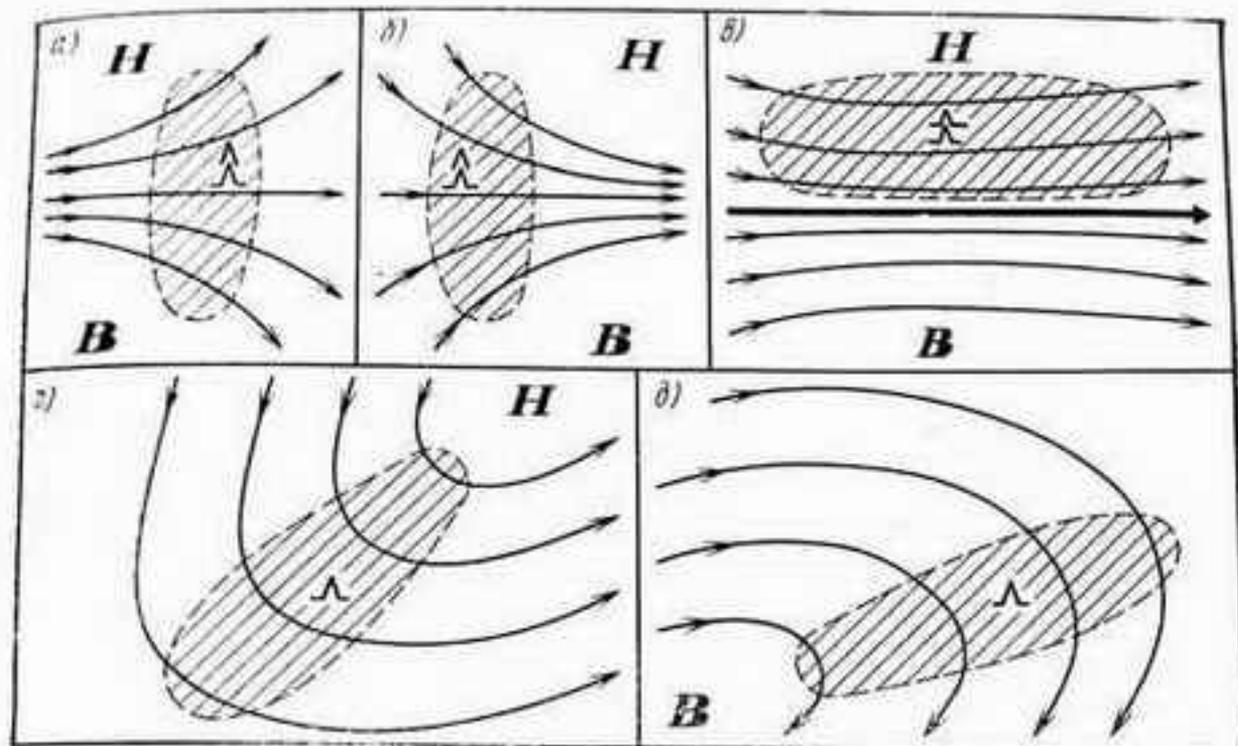
Вертикальные сдвиги ветра определяются по данным радиоплотных наблюдений за ветром, а горизонтальные сдвиги — по картам барической топографии. На картах АТ<sub>400</sub>, АТ<sub>300</sub> и АТ<sub>200</sub> можно выявить турбулентные зоны, вызывающие болтанку. Они будут расположены в областях расходимости и сходимости изогипс (рис. 8.9), вдоль высотных ложбин и гребней, а также в тех районах, где изогипсы имеют большую кривизну.

В зонах струйных течений наибольшую повторяемость болтанка имеет на циклонической (левой) стороне от оси и ниже ее на 1—1,5 км.

Карты тропопаузы также позволяют выявить зоны с повышенной турбулентностью ниже тропопаузы. Они наблюдаются в тех районах, где тангенс угла наклона тропопаузы более  $1/300$ .

Болтанка нередко наблюдается при полетах в облаках, образование которых связано с неупорядоченными вертикальными движениями в атмосфере. К таким облакам относятся кучевые, мощные кучевые и кучево-дождевые облака. При этом болтанка бывает не только в облаках, но и над облаками, под облаками и вблизи облаков.

В подынверсионных высоко-кучевых и слоисто-кучевых облаках обычно наблюдается слабая или умеренная болтанка, особенно вблизи их верхней границы. Болтанка наиболее вероятна, если верхняя граница этих облаков является всхолмленной или волнистой.



**Рис. 8.9.** Зоны повышенной турбулентности на картах абсолютной топографии: *а* — расходимость воздушных потоков; *б* — сходимость воздушных потоков; *в* — левая (циклоническая) сторона струйного течения; *г* — высотная ложбина; *д* — высотный гребень

Полеты в турбулентных зонах относятся к полетам в особых условиях и должны выполняться при строгом соблюдении требований НПП ГА и руководства по летной эксплуатации данного типа ЛА.

В период предполетной подготовки экипажу необходимо определить по аэросиноптическим материалам и фактической бортовой погоде вероятные зоны повышенной турбулентности в атмосфере на маршруте полета, в которых может возникнуть интенсивная болтанка ЛА.

При попадании ЛА в зону с сильной турбулентностью командир экипажа имеет право изменить высоту полета в соответствии с требованиями НПП ГА. Для предотвращения попадания ЛА в турбулентные зоны, связанные с грозовой деятельностью, полет необходимо выполнить на безопасном расстоянии от мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, определяемом визуально или по бортовому радиолокатору.

При полетах на высотах ниже 1000 м, над горами и попадании в зону с сильной турбулентностью необходимо выйти из этой зоны, набрав высоту, или возвратиться на аэродром вылета либо запасной.

При попадании в зону с сильной турбулентностью на больших высотах выход из нее за счет снижения допускается лишь до высоты не менее 500 м над верхней границей кучево-дождевых облаков.

**Условия возникновения гроз.** Комплексе атмосферных явлений, характеризующийся интенсивным облакообразованием и многократными электрическими разрядами в виде молний, называется грозой. Грозовая деятельность в атмосфере связана с развитием мощных кучево-дождевых облаков, которые называют и грозowymi облаками. Они образуются в результате сильных вертикальных движений, возникающих за счет энергии неустойчивости атмосферы при высоком влагосодержании воздуха. В кучево-дождевом облаке происходит превращение потенциальной энергии атмосферы в кинетическую энергию вертикальных движений воздуха.

Грозовые облака могут сопровождаться целым рядом атмосферных явлений, опасных для авиации: электрические разряды в виде молний, шквалы, интенсивная турбулентность, сильное обледенение, град, смерчи. Для возникновения кучево-дождевого облака необходимы восходящие движения теплого влажного воздуха со скоростями 10—15 м/с и более. Причинами таких мощных вертикальных движений могут быть неравномерный нагрев земной поверхности и вынужденное бурное вытеснение воздуха вверх вдоль фронтальной поверхности или горного склона.

В зависимости от условий образования различают внутримассовые и фронтальные грозы, последние подразделяются на конвективные, адвективные и орографические.

Конвективные грозы иногда называют тепловыми или местными. Они возникают в тех случаях, когда земная поверхность сильно прогрета, а воздушная масса в нижнем слое теплая и влажная, а выше относительно холодная. При этом наблюдается вертикальный температурный градиент  $\gamma \geq (0,75^\circ/100 \text{ м})$ , температура воздуха выше  $20^\circ \text{С}$ , удельная влажность более 12 г/кг или упругость водяного пара более 15 мбар, а точка росы выше  $16^\circ \text{С}$ . Такие грозы чаще всего возникают в летнее время в послеполуденные часы в размытом барическом поле, на периферии заполняющихся циклонов и в седловинах (рис. 8.10, а). Они обычно медленно перемещаются в направлении воздушных потоков на высотах 3—5 км и имеют тенденцию обходить большие водоемы.

Адвективные грозы возникают в летнее время в быстро перемещающейся относительно холодной, но влажной воздушной массе над теплой подстилающей поверхностью. Характерной синоптической обстановкой для их развития является передняя часть гребня в холодной воздушной массе за холодным фронтом (рис. 8.10, б). Такие грозы могут также наблюдаться над побережьем в дневное время и в прибрежных водах морей ночью.

Орографические грозы образуются в предгорьях и горных районах в результате вынужденного поднятия неустойчивой воздушной массы вдоль наветренных склонов горных препятствий. Наиболее интенсивными и продолжительными они бывают в тех местах, где склоны гор в середине дня обращены к Солнцу.

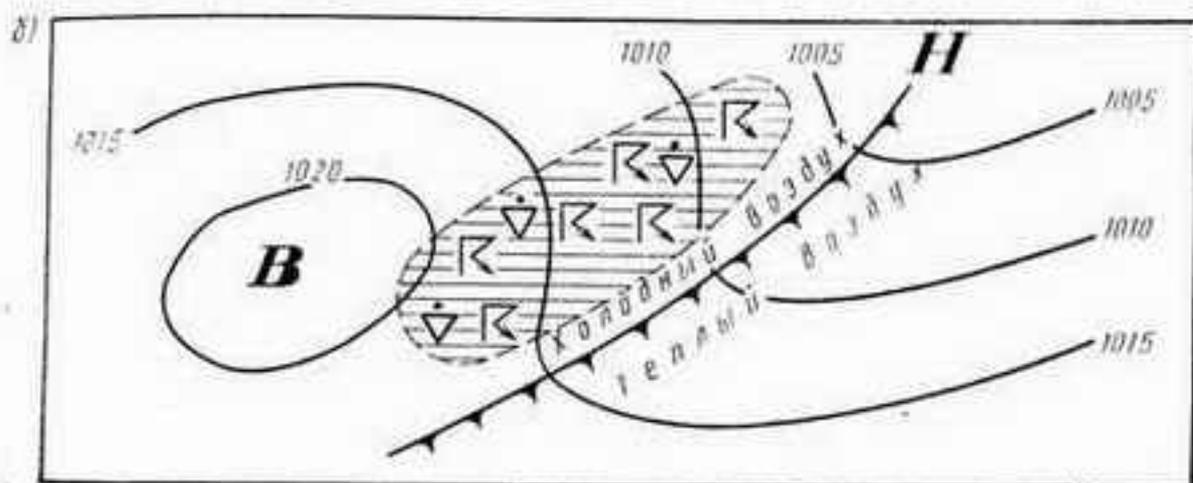
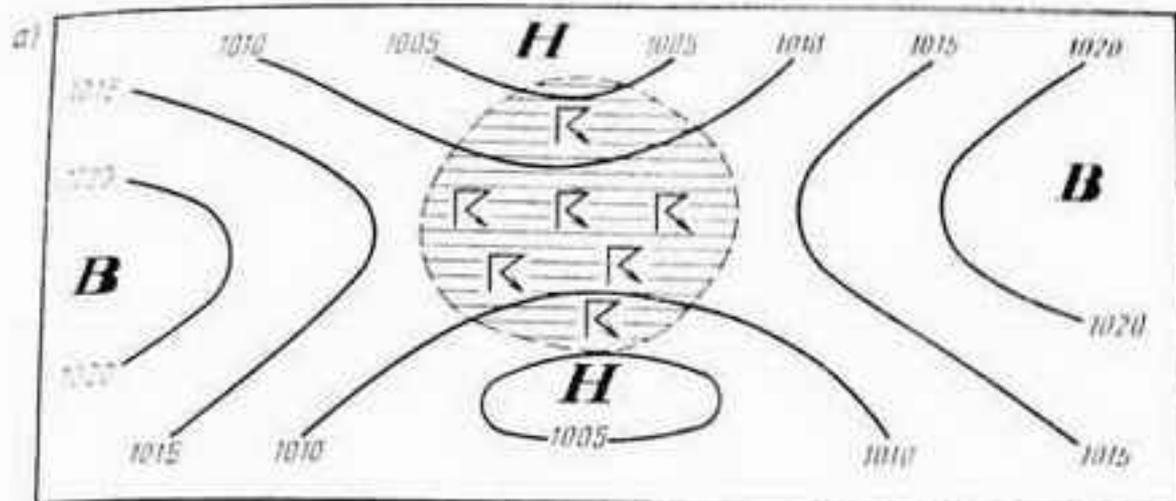


Рис. 8.10. Расположение конвективных гроз:  
 а — в седловине; б — в передней части барического гребня

Фронтальные грозы обычно наблюдаются на холодных фронтах и фронтах окклюзии преимущественно в летнее время, а иногда могут возникать ранней весной, поздней осенью и даже зимой. Они могут развиваться в любое время суток.

На теплых фронтах иногда также могут возникать грозы, но преимущественно в ночное время. Это объясняется тем, что в ночные часы при излучении верхняя часть облачного массива охлаждается, возрастает вертикальный температурный градиент и в результате образования неустойчивой стратификации в слоисто-дождевой облачности возникают вертикальные движения, которые и приводят к развитию кучево-дождевых облаков.

Грозовая деятельность на атмосферном фронте тем интенсивнее, чем больше разность температур между воздушными массами, разграниченными фронтом, и чем больше влагосодержание теплой воздушной массы. Поэтому наиболее интенсивные грозы

наблюдаются не на арктических, а на полярных фронтах, которые разделяют тропический и морской умеренный воздух.

Грозовые облака бывают сосредоточены впереди фронта в узкой вытянутой зоне. Длина этой зоны может достигать 1000 км и более, а ширина — от 30 до 50 км (рис. 8.11). Если в нижних частях отдельные грозовые облака могут сливаться в общий облачный массив, то на высотах более 3 км между ними обычно наблюдаются просветы шириной от 5 до 150 км. Фронтальные грозы перемещаются вместе с атмосферным фронтом в направлении воздушных течений на высотах 3—5 км.

**Строение грозового облака.** Условно развитие грозового кучево-дождевого облака можно разделить на три стадии.

Первая стадия — развитие облака. Она начинается с возникновения кучевого облака хорошей погоды (*Cu hum*) — (рис. 8.12, а), которое постепенно развивается в мощное кучевое облако (*Cu cong*) (рис. 8.12, б) и заканчивается тогда, когда оно переходит в кучево-дождевое «лысое» (*Cb calv*) (рис. 8.12, в), т. е. когда начинают выпадать осадки. *Cu hum* и *Cu cong* состоят из капель воды. Внутри них преобладают восходящие движения со скоростями: в *Cu hum*  $u_{\text{в}} = 1-2$  м/с, в *Cu cong*  $u_{\text{в}} = 6-8$  м/с. Между облаками возникают нисходящие движения. Верхняя граница кучевых облаков хорошей погоды находится на высотах 1500—2500 м, а мощных кучевых облаков — от 4 до 5 км. В кучево-дождевом «лысом» облаке начинается обледенение верхней части, и она уже состоит из водяных капель, снежинок и ледяных кристаллов. Скорости восходящих потоков в таких облаках могут достигать 20—25 м/с, а верхняя граница — 7—8 км.

Вторая стадия — максимальное развитие облака. Облако из кучево-дождевого «лысого» развивается в кучево-дождевое «полосатое» *Cb cap* (рис. 8.12, г). Из облака выпадают осадки в виде града и ливней. Возникают электрические разряды в виде молний. Восходящие потоки достигают максимальных скоростей

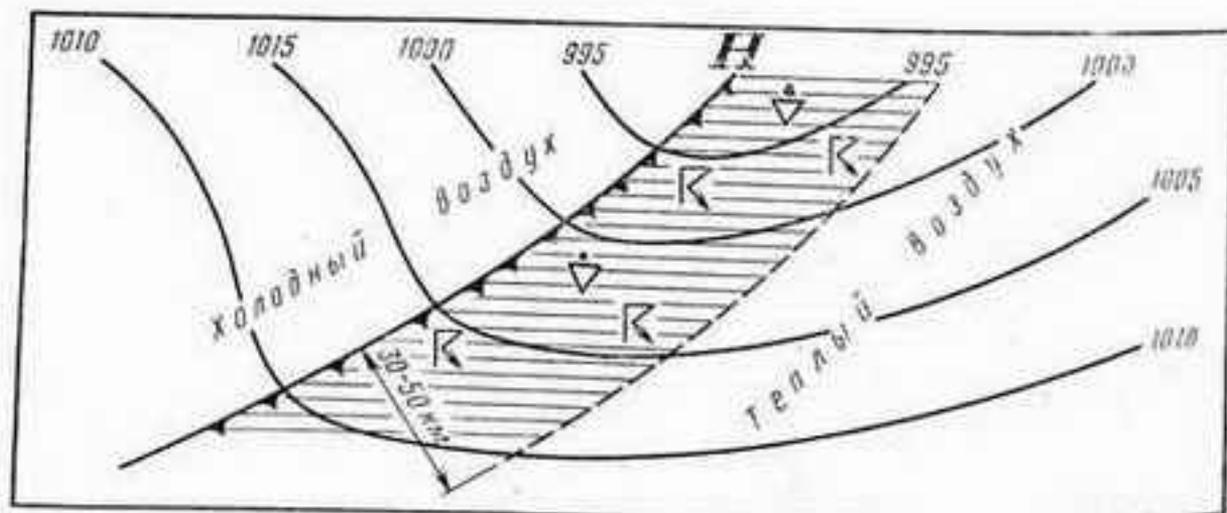


Рис. 8.11. Расположение гроз на холодном фронте

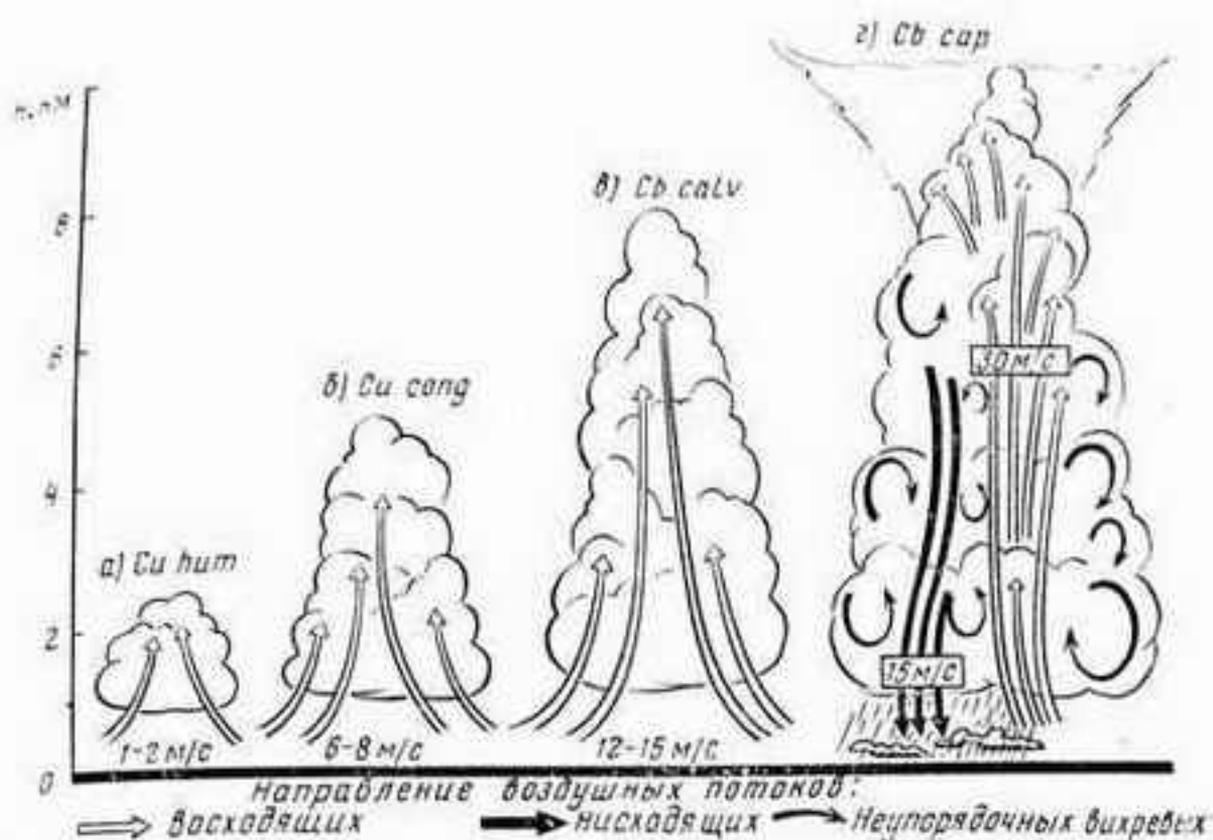


Рис. 8.12. Стадии развития грозового кучево-дождевого облака

30 м/с и более. Все явления, связанные с грозой, имеют максимальную интенсивность.

Третья стадия — разрушение облака. Хотя наблюдаются молнии и ливневые осадки, но облако уже начинает разрушаться. Вершина облака плоская и состоит из перистых облаков волокнистой структуры. Облако оседает и расширяется по площади. В среднем ярусе к нему примыкают высококучевые облака, а в нижнем — слоисто-кучевые облака. В тыловой части облака начинают преобладать нисходящие потоки со скоростью около 10—15 м/с.

Весь период развития кучево-дождевого облака занимает от 3 до 5 ч. Его продолжительность уменьшается с увеличением энергии неустойчивости. При этом переход от кучевого облака к мощному кучевому происходит довольно медленно, а переход от мощного кучевого к кучево-дождевому происходит очень быстро (1 ч и менее). Вертикальная скорость подъема вершины облака в среднем равна 1 м/с, а в отдельных случаях может достигать 10 м/с; при разрушении облака скорость опускания вершины равна 1—1,5 м/с, иногда 3 м/с.

Отдельное развитое грозовое облако по горизонтали может занимать площадь диаметром от 3 до 50 км (на уровне верхней границы). Нижняя граница находится на высотах 1000—1500 м, верхняя — на 8—14 км в умеренных широтах, на 16—18 км (иног-

да на 20—21 км) и тропических районах. Таким образом, такое облако пронизывает всю тропосферу, а в отдельных случаях может проникать через тропопаузу и стратосферу, особенно в южных районах. Полеты в стратосфере показали, что вершины грозовых облаков могут наблюдаться выше тропопаузы на 0,5—5 км.

В грозовом облаке наблюдаются интенсивные восходящие и нисходящие движения воздуха. Восходящие движения преобладают в передней части облака. Их максимальная скорость может достигать 30 м/с и более. Скорость восходящего потока в облаке почти линейно растет с высотой, начиная с основания, и достигает максимального значения в предвершинной части облака, после чего к вершине облака скорость начинает линейно убывать. Нисходящие движения со скоростью до 15 м/с наиболее развиты в тыловой части облака. Появление нисходящих потоков связано с началом выпадения осадков. Особенностью вертикальных потоков внутри облака является их сильная порывистость. Порывы могут достигать 15 м/с и вызывать при бросках перегрузку самолета до 2 g и более. Внутри облака образуется много вихрей разного размера, которые приводят к интенсивной турбулентности, вызывающей сильную и штормовую болтанку ЛА.

По составу грозовые облака являются смешанными. Они состоят из капель воды, снежинок и ледяных кристаллов. Только смешанные облака в средних широтах могут давать интенсивные осадки. Температура воздуха на нижней границе облака обычно равна от +5 до +10° С, а на верхней границе может быть от —40 до —65° С в зависимости от вертикальной мощности облака. Это приводит к неоднородной структуре облака по его составу. От основания облака до уровня нулевой изотермы облако состоит из капель воды, от уровня нулевой изотермы до уровня изотермы —20° С — из снежинок и переохлажденных капель воды, которые в этом слое преобладают; выше уровня изотермы —20° преобладают уже снежинки и ледяные кристаллы (рис. 8.13). В слое между изотермами 0 и —20° С, где имеются крупные переохлажденные капли и большая влажность облака, может возникать очень сильное обледенение ЛА.

При грозе происходят электрические разряды в атмосфере. Для их возникновения необходимо образование в грозовом облаке объемных электрических зарядов. Такие заряды создаются в результате электризации облачных элементов — капель и ледяных кристаллов. Электризация может происходить при кратковременном контакте крупных и мелких капель, при разбрызгивании капель и дроблении кристаллов в результате сильных восходящих потоков внутри облака (более 8 м/с) и других процессах.

В результате электризации капель и кристаллов и переноса их воздушными потоками в облаке образуются области с мощными объемными зарядами. Среднее распределение таких зарядов в грозовом облаке приведено на рис. 8.14. Отрицательные электрические заряды сосредоточены в основном в тыловой и средней части облака от нижней границы до изотермы —20° С, а положи-

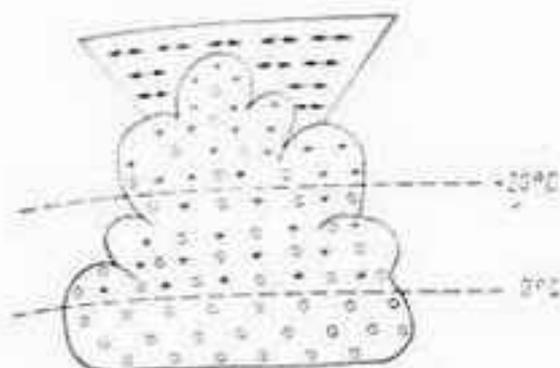


Рис. 8.13. Состав грозового облака

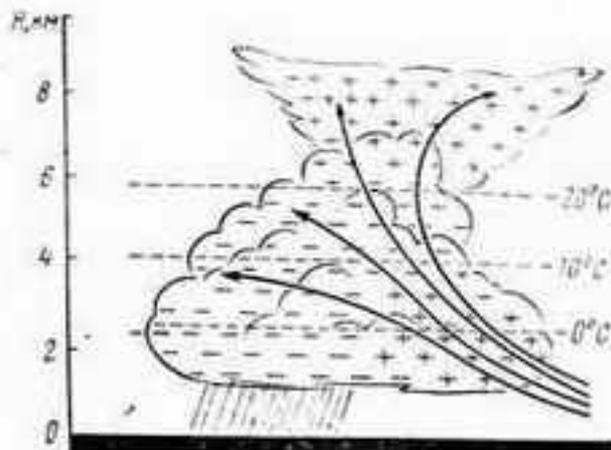


Рис. 8.14. Электрическое строение грозового облака

тельные заряды — в передней части облака, где имеются мощные восходящие потоки воздуха, а также выше изотермы  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### Явления, связанные с грозовым облаком

**Молнии.** Если напряженность электрического поля между двумя объемными зарядами в облаке или между облаками и землей достигнет величины пробивного потенциала воздуха (около  $30\,000\text{ В/см}$ ), происходит электрический разряд. Такие разряды сопровождаются ослепительным светом и раскатами грома и называются молниями. Гром — явление чисто акустическое, основной его причиной является ударная волна, возникающая в результате разрыва разрядного канала.

По внешнему виду и физическим особенностям молнии подразделяются на линейную разветвленную, плоскую и шаровую.

**Линейная разветвленная молния** — электрическая искра длиной в несколько километров, похожая по внешнему виду на сухую ветвь лиственного дерева. Это наиболее часто встречающийся вид молнии.

**Плоская молния** представляет собой бесшумное красноватое свечение некоторой части облака продолжительностью до одной секунды. Это суммарный эффект большого количества коронных разрядов на многих облачных частицах. Плоскую молнию не нужно смешивать с зарницей, когда освещение облака происходит от удаленной и невидимой непосредственно линейной молнии.

**Шаровая молния** это довольно редкое явление. Она представляет собой круглую светящуюся массу размером с кулак, иногда с арбуз и более. Природа шаровой молнии полностью не раскрыта. Считают, что это скопление плазмы, возникающее после обычной линейной молнии.

В процессе грозового электрического разряда возникают электромагнитные импульсы, которые распространяются на большие расстояния и вызывают помехи радиоприему, особенно на длинных волнах, создавая шумы и трески в наушниках. Такие атмосферные радиопомехи называются **атмосфериками**.

При полете вблизи грозового облака не исключено попадание молнии в ЛА. Это может привести к разгерметизации кабины, пожару, ослеплению экипажа, разрушению обшивки, отдельных деталей и радиотехнических средств, намагничиванию стальных сердечников в приборах.

Град — это твердые осадки в виде кристаллов льда сферической или неправильной формы. Размеры градин могут быть самые различные: от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Масса крупных градин достигает иногда десятков и даже сотен граммов.

Не при каждой грозе происходит выпадение града. Это зависит от вертикальной мощности грозового облака и орографии района. Грозовые облака с градом даже в умеренных широтах достигают высоты 10 км и более, а восходящие потоки в них более 20 м/с распространяются на большую высоту. На европейской территории СССР в равнинной местности выпадение града происходит один раз в среднем на 10—15 гроз. В горных районах грозы с градом бывают чаще. Град может выпадать как при фронтальных, так и при внутримассовых грозах. Наиболее часто он выпадает при грозах на холодных фронтах второго рода. В этих случаях он выпадает полосами длиной в несколько километров и шириной около одного километра. При внутримассовых грозах град выпадает «пятнами» на небольшой территории. Выпадение града обычно сопровождается сильным порывистым ветром у земли.

Выпадение крупного града часто является стихийным бедствием. От него сильно страдают посевы, фруктовые сады, виноградники, домашний скот на пастбищах. Град может пробивать обшивку ЛА на стоянках аэродромов.

Встреча с градом в полете является опасной, так как может привести к повреждению ЛА. Град внутри грозовых облаков встречается гораздо чаще, чем его выпадение на землю. В грозовом облаке с градом наблюдаются особенно сильные порывистые восходящие потоки и турбулентность.

**Шквалы.** Прохождение грозового кучево-дождевого облака в приземном слое атмосферы часто сопровождается явлением шквала. Шквал простирается в высоту до 2000—3000 м, его продолжительность несколько минут. Иногда шквал может повторяться.

В ряде случаев в передней части грозового облака на высоте около 500 м движется темный крутящийся вал, который называется шкваловым воротом. Это огромный вихрь с горизонтальной осью, как правило, обуславливающий явление шквала, но шквал может возникать и при отсутствии шквалового ворота у облака.

Шквал опасен для ЛА, находящихся в полете на малых высотах, а также для авиационной техники и различных легких построек, расположенных на аэродроме.

**Смерч** — сильный вихрь с приблизительно вертикальной, но чаще изогнутой осью и диаметром в несколько десятков метров

(в Западной Европе его называют громб, а в США — торнадо). Смерчи тесно связаны с вихревыми образованиями в смерчевых облаках, которые по своему виду и строению представляют типичные грозовые кучево-дождевые облака. Такие облака отличаются неоднородностью, высокой турбулентностью и почти всегда сопровождаются грозами, градом и ливневыми осадками необычной силы, а также электрическими разрядами. Возникновение смерчей связано с особо сильной неустойчивостью атмосферы в теплое время года в тропическом воздухе. Оно может происходить в различных синоптических условиях, но чаще вдоль атмосферных фронтов.

У смерча, кроме вертикального вихря, который называют воронкой, имеется и горизонтальная часть — вихревое образование, вращающееся вокруг оси и вытянутое параллельно земле. Если воронка смерча хорошо наблюдается визуально, то горизонтальная часть обычно скрыта в темной массе грозового облака.

Движение воздуха в смерче направлено по спирали вверх и достигает скорости 100—200 м/с. Пыль, обломки разных предметов и даже животные и люди могут подниматься вверх этими потоками и переноситься на значительные расстояния.

Смерчи обладают большой разрушающей силой. Их прохождение связано с большими катастрофическими разрушениями на земле. На своем пути они оставляют сорванные крыши и поврежденные здания, вырванные с корнем и скрученные деревья, иногда человеческие жертвы. Длина пути смерча обычно составляет 15—30 км, ширина полосы разрушения — несколько сотен метров, время существования — от нескольких минут до получаса, скорость перемещения — 40—60 км/ч.

**Опасность грозовых облаков для полетов.** Несмотря на высокую техническую оснащенность современных ЛА средствами эксплуатации и воздушной навигации, а также систем их посадки, грозы остаются опасными для авиации явлениями погоды.

Внутри грозового облака сильные турбулентные вихри и вертикальные движения могут привести к разрушению ЛА. Очень опасным является интенсивное обледенение. Многократные электрические разряды могут ослепить экипаж, разрушить электротехнические средства, вызвать пожар. Крупный град может повредить обшивку ЛА.

**Полет опасен и под грозовым облаком.** Шквалистый ветер и нисходящие потоки воздуха вызывают вертикальные броски ЛА к земле. Опасны выпадение града и встреча со смерчем. В сильных ливневых осадках может происходить ухудшение видимости ниже минимума погоды полета.

На расстоянии нескольких километров от облака опасными являются интенсивная турбулентность и вертикальные потоки воздуха.

Облет грозового облака верхом не всегда возможен, так как его верхняя граница может быть выше предельно допустимой вы-

соты полета и практического потолка ЛА. Кроме того, вблизи верхней границы в слое в несколько сотен метров еще наблюдается сильная турбулентность и восходящие и нисходящие движения воздуха. Может случиться, что в результате вертикального броска вниз ЛА окажется внутри грозового облака.

Интенсивная грозовая деятельность со шквалами и смерчами может создавать угрозу для всего аэродромного хозяйства.

**Распространение гроз.** Оценка интенсивности грозовой деятельности в том или ином районе земного шара производится по климатическим данным. В них можно найти следующие сведения: число дней с грозой, продолжительность гроз в часах по месяцам года и суточный ход повторяемости гроз. Эти данные для различных пунктов содержатся в климатических справочниках и атласах, а также в авиационно-климатических описаниях аэропортов.

Среднее годовое и среднее месячное число дней с грозой и продолжительность гроз в различных районах неодинаковы. Грозы наиболее часто возникают в летние месяцы, но иногда могут наблюдаться во все периоды года. Усиление грозовой деятельности происходит по мере перемещения с севера на юг. Так, в районе Архангельска наблюдается в среднем за год 5—10 дней с грозой, в Ленинграде и Москве — 20—25, в районе Одессы число дней с грозой возрастает до 30. В ряде районов в зависимости от местных географических условий, особенно от рельефа, число дней с грозой может быть или больше или меньше. В районе Уфы и Челябинска число дней с грозой составляет в среднем 33, в районе Киева и Харькова — 35, а на Кавказе имеются места, где количество дней с грозой более 60.

Над низменными районами Сибири число дней с грозой уменьшается до 10—12 в год, на Севере Сибири — до 5, а в предгорьях Алтая оно возрастает до 30 дней. На Дальнем Востоке в долине р. Амура бывает в среднем до 25 дней с грозой в год, на Сихоте-Алине 30—35 дней. Вдоль побережья интенсивность грозовой деятельности уменьшается до 10 дней и менее. На побережье Охотского моря грозы крайне редки.

На суше в субтропиках грозы являются редким явлением, а в районе экватора количество дней с грозой в год колеблется от 80 до 160. На острове Ява оно достигает 220 дней.

На океанах и морях грозы реже, чем на суше. Если на суше преобладают летние дневные грозы, то на океанах — осенние ночные. На суше повторяемость гроз минимальна на побережье и достигает максимума в горах. Годовой максимум гроз наблюдается в середине лета, суточный — в послеполуденные часы. Над морями и береговой полосой годовой максимум гроз — осенью или зимой, а суточный максимум — ночью.

Грозовая деятельность в том или ином районе зависит от местных физико-географических условий: рельефа местности, характера подстилающей поверхности, близости больших водоемов. По сравнению с равнинами на наветренных склонах даже сравнительно невысоких возвышенностей наблюдается повышенная грозо-

вая деятельность. Уменьшение числа дней с грозой наблюдается в защищенных долинах, над крупными водоемами и их плоскими побережьями.

**Информация о грозах и их прогнозирование.** Поскольку грозы для авиации являются опасным явлением погоды, в целях обеспечения безопасности и регулярности полетов ЛА руководящий, летный и диспетчерский состав авиационных предприятий должен иметь своевременную информацию о наличии и возникновении гроз в районах аэропортов вылета и посадки, на воздушных трассах.

За грозами ведутся визуальные и инструментальные наблюдения.

Визуальные наблюдения имеют целый ряд недостатков. Так, метеонаблюдатель может зафиксировать наличие грозы лишь в радиусе 10—15 км от места наблюдения. В ночное время и при сложных метеорологических условиях (туман, осадки) затруднено правильное определение формы облаков. Поэтому часть гроз в районе аэропорта может не регистрироваться при визуальных наблюдениях.

Для инструментальных наблюдений за грозами используются метеорологические радиолокаторы (МРЛ-1, МЛР-2), пеленгаторы азимута гроз (ПАГ), панорамные регистраторы гроз (ПРГ) и грозоотметчики, которые входят в состав комплексной радиотехнической автоматической метеорологической станции (КРАМС). МРЛ широко используются в аэропортах при метеорологическом обеспечении полетов. Они дают наиболее полную информацию о развитии грозовой деятельности в районе аэропорта в радиусе 100—150 км. Эти радиолокаторы позволяют определить местоположение грозового очага, его горизонтальные размеры и верхнюю границу. По данным наблюдений составляется радиолокационная карта (ее пример показан на рис. 8.15). На ней наглядно видно расположение грозовых и ливневых очагов вокруг Ленинграда. Указана их верхняя граница и интенсивность выпадающих осадков. Справа даны вертикальные разрезы облачности в радиусе до 40 км по нескольким азимутам.

Информация о грозах передается в виде штормовых оповещений и штормовых предупреждений. Порядок их составления и передачи определяется Наставлением по метеорологическому обеспечению ГА.

Для метеорологического обеспечения полетов большое значение имеет прогнозирование гроз. Прогноз фронтальных гроз производится синоптическим методом. Поскольку эти грозы непосредственно связаны с атмосферными фронтами, прогноз сводится к расчету направления и скорости перемещения фронта, а также оценке его обострения или размывания. Для прогноза внутримассовых гроз применяются различные расчетные методы с использованием данных радиозондирования атмосферы. При прогнозе учитывается синоптическая обстановка, энергия неустойчивости атмосферы, высота развития кучево-дождевой облачности и тем-

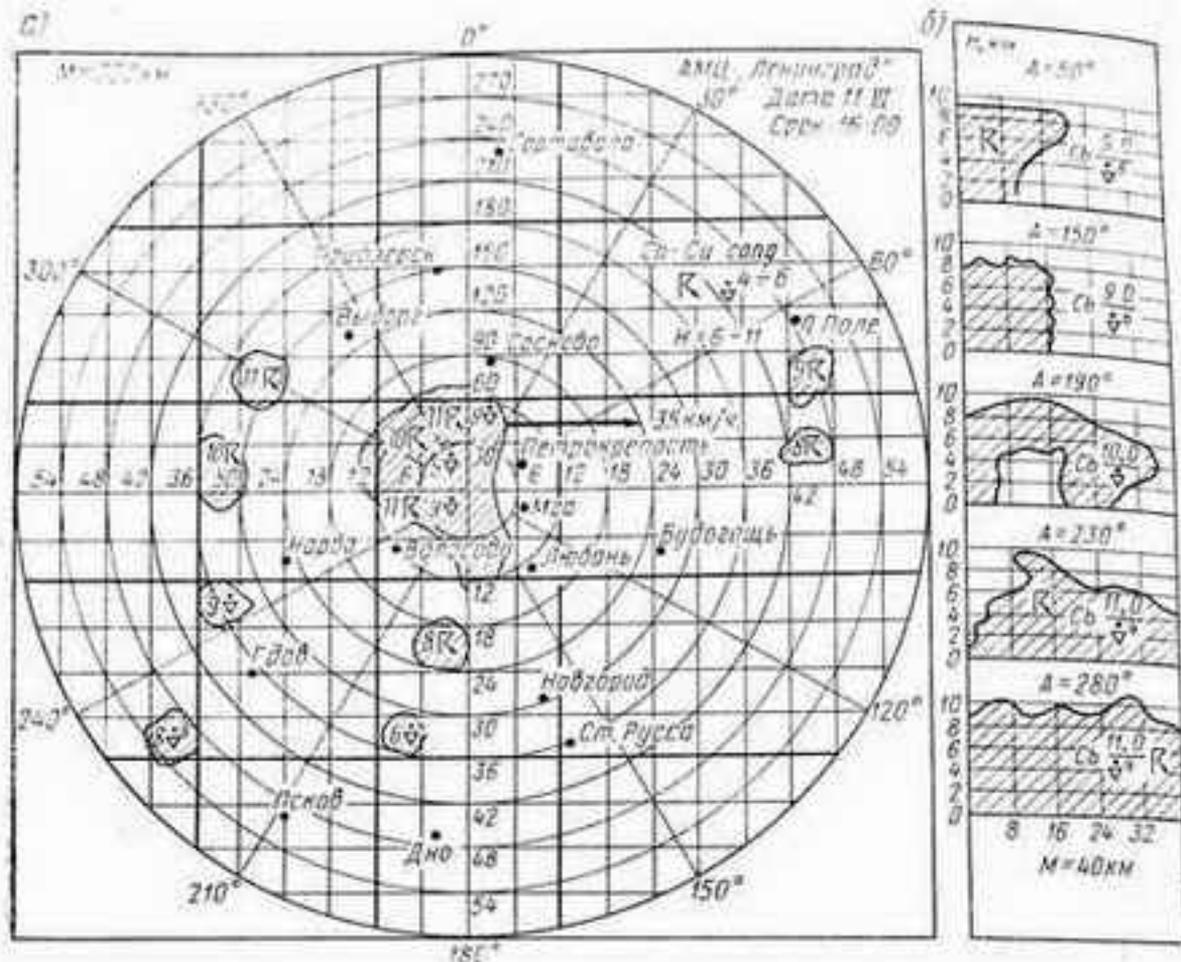


Рис. 8.15. Схема радиолокационной карты:

а — по данным индикатора кругового обзора; б — по данным индикатора дальности-высоты

пература на ее верхней границе, влагосодержание воздуха в нижней половине тропосферы, скорость ветра в верхней тропосфере.

При прогнозировании внутримассовых гроз иногда могут помочь местные признаки погоды. Например, появление в утренние часы высоко-кучевых башенковидных облаков указывает на неустойчивое состояние средних слоев тропосферы и большую вероятность возникновения грозы во второй половине дня.

**Меры безопасности при полетах в зонах с грозовой деятельностью.** Полеты в зонах с грозовой деятельностью относятся к полетам в особых условиях.

Если на воздушной трассе наблюдается или прогнозируется грозовая деятельность, в период предполетной подготовки командир экипажа обязан особо тщательно проанализировать метеорологическую обстановку по аэросиноптическим материалам. Необходимо оценить характер грозы (внутримассовая или фронтальная), расположение и направление перемещений грозовых (ливневых) очагов, их верхнюю границу, характер рельефа, возможные маршруты обхода грозы.

Во время выполнения полета при подходе к зоне грозовой деятельности командир корабля по бортовому радиолокатору дол-

жен заблаговременно оценить возможность пролета через зону и об условиях полета сообщить диспетчеру. В целях безопасности полета должно быть принято решение о порядке обхода грозových очагов или полета на запасной аэродром.

Диспетчер, используя информацию метеорологической службы, а также сообщения о погоде с бортов ЛА, обязан информировать экипажи в полете о характере грозových очагов, их вертикальной мощности, направлении и скорости смещения и давать рекомендации о выходе из района грозовой деятельности.

На безопасных расстояниях грозových облака можно обходить стороной (сбоку, сверху, снизу), используя визуальные или радиолокационные (наземные, бортовые) наблюдения. При этом необходимо учитывать эволюцию облака: продолжает оно развиваться или уже находится в стадии разрушения. Качественно об этом можно судить по внешнему виду вершины облака. У развивающегося, растущего вверх облака наблюдаются куполообразные, резко очерченные выступы. Если же облако перешло в стадию разрушения, вершина у него плоская и состоит из плотных перистых облаков («наковальни»), волокна которых вытянуты по направлению ветра.

Дистанции, на которых разрешается обходить грозových кучево-дождевые облака при внутримассовых и фронтальных грозах, а также мощные кучевые облака, указываются в НПП ГА.

#### 8.4. Разряды статического электричества

Самолеты, имеющие большую полетную массу и высокие скорости полета, подвержены поражению электростатическими разрядами.

Анализ случаев поражения показал, что они чаще всего наблюдаются в облаках и осадках на высотах от 1500 до 4500 м при скорости полета более 500 км/ч главным образом на режимах снижения и набора высоты.

В результате разрядов статического электричества отмечались следующие поражения самолетов: отказы бортовых радиосредств, разрушение антенных обтекателей и выход из строя антенных устройств, повреждения элементов конструкции фюзеляжа, законцовок крыльев и оперения.

Повторяемость случаев поражения ЛА электростатическими разрядами значительно выше повторяемости поражений молниями. Она не уменьшается и в холодное время года.

Электростатические разряды в холодное время года происходят во фронтальных слоисто-дождевых облаках при отсутствии грозových облаков. Для экипажа они являются неожиданными. Засветки на индикаторах самолетных и наземных радиолокаторов от таких облаков обычно отсутствуют или наблюдаются очень слабые диффузные засветки, которые возникают от облаков, дающих морозящие осадки. При этом болтанка в облаках также не

наблюдается. Характерным в этих случаях является возникновение радиопомех, связанных с электризацией ЛА.

Таким образом в холодное время года экипаж не располагает информацией, предупреждающей о возможности поражения ЛА электростатическим разрядом. Проведенные исследования показали, что для возникновения электростатических разрядов необходимо, чтобы в облаке наблюдалось неоднородное электрическое поле, состоящее из основного электрического поля облака и неоднородностей, обусловленных объемными электрическими зарядами. Такие электрические поля в слоисто-дождевых облаках возникают в слоях, заключенных между изотермами 0 и  $-15^{\circ}\text{C}$ . Чем больше облако неоднородно по фазовому состоянию, тем более неоднородно в нем электрическое поле. А интенсивность неоднородностей тем больше, чем больше напряженность основного электрического поля в облаке.

Электростатический разряд может начаться с самолета, находящегося в облаке, когда его объемный заряд статического электричества достигает большой величины.

В кучево-дождевых облаках малой активности молнии, как правило, не возникают. Но появление самолета с большим электрическим зарядом вблизи такого облака может вызвать электрический разряд (молнию) на себя. Возникающая таким образом единственная в облаке молния попадает в самолет. По данным американских исследователей около 50% поражения самолетов молнией происходит в облаках, в которых до этого электрических разрядов не наблюдалось. Перед поражением электростатическим разрядом экипажами отмечались возникновения заметных радиопомех (особенно на средних и длинных радиоволнах) и свечения на концах крыльев в темное время, пролет искр на стеклах кабины. Эти явления указывают на наличие большого электростатического заряда самолета.

Самолет заряжается статическим электричеством от частиц облаков, осадков и несгоревшего топлива, а разряжается в результате проводимости атмосферы и струи выхлопных газов, срыва частиц облаков и осадков с самолета, токов коронного разряда через стекатели и заостренные части. Токи зарядки и разрядки возрастают с ростом скорости полета. Но если токи разрядки пропорциональны скорости полета в первой степени, то токи зарядки при полете в снегопаде пропорциональны скорости в третьей степени. Поэтому современные реактивные скоростные пассажирские самолеты заряжаются статическим электричеством быстрее и интенсивнее малоскоростных самолетов с поршневыми двигателями.

Увеличение электростатического заряда самолета происходит в кристаллических облаках быстрее, чем в водяных. Наиболее вероятно получение большого заряда в кучево-дождевых, мощных кучевых и слоисто-дождевых облаках.

Для обеспечения безопасности полета в слоисто-дождевых облаках на высотах между изотермами 0 и  $-15^{\circ}\text{C}$  при возникнове-

нии сильной электризации самолета следует изменить высоту полета по согласованию с диспетчером так, чтобы выйти из опасного интервала температур.

## 9. ВЫСОТНЫЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ 113 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ

### 9.1. Условия полетов на малых высотах

На малых высотах нередко создаются сложные для полетов метеорологические условия, поскольку здесь часто наблюдаются такие явления, как, например, низкая облачность, интенсивные осадки, ограниченная видимость, турбулентность, грозы, шквалы, смерчи. Низкие облака чаще всего бывают слоистыми. Они имеют как фронтальное, так и внутримассовое происхождение и могут покрывать значительные площади, серьезно осложняя полеты на малых высотах, сокращая возможности выбора запасных аэродромов.

В зонах атмосферных фронтов вероятность низких облаков возрастает по мере приближения к линии фронта, о чем можно судить, например, по графику, приведенному на рис. 9.1. В зоне теплого фронта низкие облака при удалении до 400 км от линии фронта имеют повторяемость на высоте 200 м 6%, на высоте 600 — 32%; на удалении от 400 до 200 км — соответственно 8 и 43%, а на удалении до 200 км — соответственно 17 и 55%. Высота нижней границы слоистых облаков в среднем составляет 200—250 м, нередко понижаясь до 100 м и менее.

Выполняя полеты под низкими облаками, трудно осуществлять ориентировку, отыскивать и обнаруживать наземные ориентиры, так как подоблачная дымка часто опускается к земной поверхности. Наибольшие осложнения создаются при полетах на местных воздушных линиях (МВЛ), полетах по правилам визуального полета (ПВП) и при полетах по применению авиации в народном хозяйстве (ПАНХ). Низкие облака могут закрывать вершины гор, холмов и возвышенностей, поэтому при полете на малых высотах над местностью со сложным рельефом нельзя заходить в облака. Должна строго выдерживаться безопасная высота полета.

Ограниченная видимость на малых высотах обуславливается туманами, дымками, осадками, метелями и пыльными бурями.

Среди указанных метеорологических явлений туманы наиболее часто создают ограниченную видимость (обычно от 200 до 500 м). Особенно опасны адвективные туманы, покрывающие значительные по размерам территории. Выбор запасных аэродромов при адвективных туманах ограничен. В адвективных туманах видимость ухудшается с высотой, а в радиационных она наименьшая у земной поверхности.

Условия видимости в дымке различаются в зависимости от того, является ли дымка приземной или инверсионной. Приземные

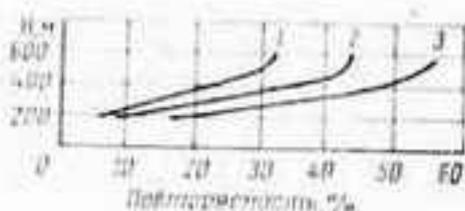


Рис. 9.1. Повторяемость облачности в зонах теплых фронтов над европейской территорией СССР на различном удалении от линии фронта: 1 — на удалении более 400 км; 2 — на удалении от 400—200 км; 3 — на удалении до 200 км

логические условия полетов. Морозящие осадки могут иметь обширные зоны, причем интенсивность их в пределах зоны обычно неодинаковая. Они резко ухудшают видимость, особенно в переходное время года. Полеты по ПВП при морозящих осадках намного осложняются. При отрицательной температуре в мороси возникает обледенение самолетов.

Очень неблагоприятные метеорологические условия для полетов создаются в зонах обложных осадков и метелей. Зоны имеют ширину от нескольких десятков до нескольких сот километров, длину — многие сотни, а в отдельных случаях несколько тысяч километров. Здесь обычно плохая видимость, и при переохлажденном дожде — обледенение самолетов. Обложной снег больше ухудшает видимость, чем обложной дождь. В зонах осадков на самолетах могут возникать значительные заряды статического электричества.

Ливневые осадки обычно наиболее существенно ухудшают видимость по сравнению с другими их видами. Особенно опасен град, создающий значительные механические повреждения самолетов и вертолетов. Если градины попадут в турбину ЛА, они могут привести к поломке двигателя.

Турбулентность на малых высотах чаще всего встречается в летнее время над сушей, особенно над холмистой и горной местностью. Она может создать интенсивную болтанку.

В зонах грозовой деятельности полеты на малых высотах осложняются сильной турбулентностью, плохой видимостью из-за осадков, возможными электрическими разрядами, а также опасностью, связанной со смерчами и шквалами. Очень опасная турбулентность возникает в нижней части грозового облака, где нередко бывает мощный вихрь с горизонтальной осью. Вероятность попадания молнии в самолет возрастает по мере увеличения его массы. Вероятность поражения молниями при полетах на малых высотах связана и с тем, что наибольшее количество грозовых разрядов бывает между облаками и землей — на путях следования самолетов. Особенно значительные трудности возникают в зонах фронтальных гроз, обходить которые сложнее, чем внутримассовые грозы.

дымки при отсутствии облаков сильнее ухудшают горизонтальную видимость у земли, чем наклонную. Подыверсионные дымки могут настолько ухудшить наклонную видимость, что при полете над инверсией иногда невозможно распознать наземные ориентиры, хотя в это время с земли самолет может быть отчетливо виден на фоне неба.

Осадки в зависимости от вида создают не одинаковые метеоро-

Большие высоты занимают большую часть верхней половины тропосферы до тропопаузы. На этих высотах метеорологические условия полетов благоприятнее, чем у земной поверхности. В нижних слоях атмосферы наблюдается ряд опасных для полетов метеорологических явлений, таких, как осадки, туманы, дымки, низкие облака, смерчи, шквалы и др. Здесь же наблюдается и грозовая деятельность. Однако грозы связаны с кучево-дождевыми облаками, которые нередко простираются в большей части тропосферы и таким образом создают трудные для полетов условия как в нижней, так и в верхней половине тропосферы.

В верхней тропосфере метеорологические условия полетов определяются положением тропопаузы и связанных с ней облаков и метеорологических явлений. Кроме того, в верхней тропосфере и под тропопаузой наблюдаются зоны сильных ветров (струйных течений). Эти атмосферные объекты имеют большое значение для оценки метеорологических условий полетов.

### 9.3. Условия полетов в области тропопаузы

Под тропопаузой падение температуры с высотой замедляется, а в самом слое тропопаузы переходит в инверсию или в изотермию и лишь в некоторых случаях температура продолжает медленно падать с высотой. Высота зависит от сезона года и синоптических условий. Над холодными циклонами она значительно понижается, а над теплыми антициклонами — повышается. Над средними широтами зимой изотермическое распределение температуры в тропопаузе наблюдается в 60% случаев, инверсионное — до 30%; летом инверсионное распределение имеет повторяемость до 73%, изотермическое — 8%. Наличие инверсии или даже изотермии неблагоприятно для развития восходящих вертикальных движений. Тропопауза препятствует переносу водяного пара и твердых примесей воздуха (мелкие частички пыли, промышленные продукты). Это создает под тропопаузой пониженную видимость, дымки, способствует образованию облаков верхнего яруса. Тропопауза тормозит рост облаков вертикального развития, поэтому под ней обычно наблюдаются вершины кучево-дождевых облаков.

Связь облаков верхнего яруса с тропопаузой иллюстрируется на рис. 4.6, построенном на основании данных нескольких тысяч инструментальных измерений. Такая закономерность в распределении высот облаков в зависимости от тропопаузы наблюдается повсеместно как над районами нашей страны, так и над Западной Европой, Канадой, США и территориями других государств.

Из различных форм облаков верхнего яруса преобладают перистые, реже всего наблюдаются перисто-кучевые. Особенно часто облака верхнего яруса бывают в зонах атмосферных фронтов, где наблюдаются более существенные контрасты температуры и влаж-

ности воздуха, большие скорости ветра, повышенный турбулентный обмен, адиабатическое охлаждение воздуха при его подъеме. Почти 80% всех облаков верхнего яруса связано с атмосферными фронтами. Среди атмосферных фронтов верхняя облачность чаще всего возникает на теплом фронте, поскольку здесь обычно наблюдается адвекция теплого воздуха. Фронтальные верхние облака имеют толщину 2,3—2,5 км, а внутримассовые — около 1 км. В передней части теплого фронта перистые облака тонкие, далее они переходят в слой перисто-слоистых облаков. Толщина всех форм облаков верхнего яруса в 80% случаев до 3 км, в том числе в 15—17% — до 0,5 км, а в 2—3% случаев толщина составляет более 5 км.

Метеорологические условия полетов в облаках верхнего яруса зависят от их формы: в перисто-слоистых облаках полет происходит более спокойно, чем в перисто-кучевых. Видимость изменяется от нескольких десятков метров до нескольких километров (чаще всего от 500 до 1000 м). В перисто-слоистых она лучше по сравнению с перистыми и перисто-кучевыми. Обледенение ЛА в облаках верхнего яруса бывает редко, так как они состоят из ледяных кристаллов. При дозвуковых скоростях полета кристаллы скользят по поверхности самолета и сносятся воздушным потоком. При сверхзвуковом полете (с  $M=1,2-1,4$ ) в облаках с повышенной влажностью возможно обледенение. Если полет в облаках бывает длительным, может возникнуть статическая электризация самолета, вызываемая трением кристаллов льда о его поверхность, а также разламывание кристаллов. В облаках, особенно связанных со струйными течениями, может наблюдаться болтанка, которая в подавляющем большинстве случаев бывает слабая и лишь изредка сильная.

В местах, где под тропопаузой наблюдаются вершины кучево-дождевых облаков, создаются сложные условия для полетов. Облака имеют большую плотность, неоднородное строение, значительную влажность, в них наряду с ледяными кристаллами содержатся переохлажденные капли. При таких условиях возможны интенсивное обледенение, сильная болтанка и электризация самолета, в отдельных случаях осадки (крупа, мелкий град), не исключены электрические разряды. Опасность полетов в этих облаках повышена еще из-за того, что они часто закрыты облаками верхнего яруса и попасть в них можно неожиданно. Поэтому во время полета необходимо соблюдать меры безопасности.

Под тропопаузой за ЛА нередко образуются конденсационные следы. Они возникают вследствие конденсации водяного пара, выделяющегося при сгорании авиационного топлива и быстрого превращения капель воды в кристаллы льда. По своей структуре конденсационные следы напоминают перистые, перисто-кучевые, а при их растекании — перисто-слоистые облака. Поэтому их называют еще облачными следами. Иногда можно встретить название следов как инверсионных. Такое название неправильно, так как главная причина образования следов состоит не в наличии инверсии, а в конденсации водяного пара. При сгорании 1 кг топлива в реакции участвует примерно 11 кг атмосферного воздуха. В результате об-

разуется около 12 кг выхлопных газов и среди них около 1,4 кг водяного пара. Вследствие дополнительной поступающей влаги относительная влажность воздуха повышается, а за счет высокой температуры отработанных газов она уменьшается. Когда эффект поступления водяного пара с отработавшими газами сказывается на изменении относительной влажности больше, чем повышение температуры, относительная влажность достигает 100%, избыток водяного пара конденсируется, за ЛА образуется конденсационный облачный след. По данным радиозондирования синоптики могут определять высоты, на которых образуется этот след.

#### 9.4. Струйные течения и условия полетов в их зонах

**Основные сведения.** Сравнительно узкие большой протяженности зоны сильных ветров в верхней тропосфере и нижней стратосфере с осью вблизи тропопаузы называются струйными течениями.

Границей струйного течения обычно считается скорость ветра 100 км/ч. Струйное течение имеет ширину в несколько сот километров, толщину — несколько километров, а горизонтальную протяженность — несколько тысяч километров. Максимальная скорость ветра наблюдается в сердцевине такого течения — на его оси и может достигать 100 м/с и более. Сдвиг ветра в области струйного течения обычно составляет 5—10 м/с на 1 км высоты и 10 м/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 высотными фронтальными зонами.

Главные атмосферные фронты как арктические, так и полярные имеют преимущественно широтное направление, причем холодный воздух расположен в более высоких широтах. Ввиду этого и связанные с фронтами струйные течения обычно направлены с запада на восток. Если же главный атмосферный фронт испытывает значительное отклонение от широтного, аналогичное отклонение приобретает и струйное течение.

Поскольку наибольшие контрасты температуры в зонах атмосферных фронтов наблюдаются в холодную половину года, в этот период и струйные течения наиболее активны, в теплую же — температурные контрасты во фронтальных зонах уменьшаются и такие течения ослабевают.

Струйные течения бывают как в тропосфере — тропосферные, так и в стратосфере — стратосферные.

Среди тропосферных струйных течений различают внетропические, субтропические и экваториальные.

Внетропические струйные течения связаны с арктическими и полярными атмосферными фронтами. Положение струйных течений значительно изменяется в зависимости от изменения поло-

жения атмосферных фронтов. Ось струйного течения обычно расположена в теплом воздухе, чаще всего на 1—2 км ниже тропопаузы. На холодной (циклонической) стороне струйного течения тропопауза понижена, а на теплой (антициклонической) стороне — повышена. Ширина этого течения преобладает от 700 до 1300 км, толщина 6—10 км, горизонтальная протяженность — несколько тысяч километров.

Внетропические струйные течения чаще всего наблюдаются на границах материков и океанов, где особенно значительны температурные контрасты. Районами наибольшей их повторяемости являются восточное побережье Азии и Северной Америки, Британские острова и др. Максимальная скорость ветра здесь нередко составляет 200—300 км/ч, а иногда 500 км/ч и более.

На территории нашей страны внетропические струйные течения обычно бывают в холодное время года (с октября по март) над северо-западными и центральными районами европейской территории СССР, Западной Сибирью, Средней Азией, Дальним Востоком. Максимальная скорость ветра над Дальним Востоком до 300 км/ч и более, над остальными — чаще всего до 200 км/ч.

Субтропические струйные течения наблюдаются в зимнее время года на широтах 25—30° с. ш., в летнее — на 35—45° с. ш. Высота тропопаузы на теплой стороне струйного течения может располагаться на 4—5 км выше, чем на холодной стороне, а тропопауза претерпевать разрыв. Ось струйного течения обычно находится под тропопаузой на высоте около 12 км.

Субтропическое струйное течение более интенсивно и устойчиво по сравнению с внетропическим; его ширина в среднем равна около 1500 км, толщина 8—12 км. Особенно значительные скорости ветра в его области наблюдаются над Японией (до 650 км/ч) и Тихим океаном (750 км/ч).

Экваториальные струйные течения в отличие от предыдущих типов имеют восточное направление, наблюдаются в экваториальной области на высотах более 20 км и пока изучены мало.

Стратосферные струйные течения бывают на всех широтах и имеют ось выше тропопаузы. Как правило, они возникают зимой на краю полярной ночи. Скорость ветра в них меньше по сравнению с другими видами струйных течений.

В областях струйных течений обычно на их правой стороне возникают облака верхнего яруса (перистые и перисто-кучевые). Они образуются чаще всего ниже оси струи и имеют вид облачных полос, расположенных параллельно ей. Такие облачные полосы хорошо просматриваются по спутниковым фотографиям.

**Метеорологические условия полетов в зонах струйных течений.** В струйных течениях сконцентрированы наибольшие запасы кинетической энергии атмосферы. Поэтому наиболее характерные черты метеорологических условий полетов в зонах струйных течений — это большие скорости ветра и значительная турбулентность воздуха в области резких перепадов скорости ветра (сдвигов ветра), наблюдающихся обычно на периферии струйного течения.

На циклонической стороне струйного течения горизонтальные сдвиги ветра могут в полтора раза превышать сдвиги, наблюдающиеся на его теплой стороне.

Поскольку скорость ветра вдоль оси струйного течения неодинакова, возникают подвижные области с максимальной скоростью, которые перемещаются вдоль оси струйного течения с меньшей скоростью по сравнению со скоростью ветра на оси струйного течения. Подвижные области максимумов ветра имеют эллиптическую форму, и область струйного течения с наибольшими ветрами приобретает очаговый характер. Это приводит к неравномерному распределению зон вертикальных сдвигов ветра, что, в свою очередь, создает очаговый характер турбулентных зон. Зоны возмущенного воздуха чередуются с невозмущенными зонами.

Болтанка в зоне струйного течения большей частью бывает на его циклонической стороне, где наблюдаются более значительные градиенты температуры и скорости ветра. Области наиболее часто встречающейся болтанки показаны на схематическом вертикальном разрезе, представленном на рис. 9.2.

В зоне струйного течения сильная болтанка иногда бывает при ясном небе. При отсутствии облаков, когда внешних признаков турбулентного состояния атмосферы нет, болтанка при ясном небе может начаться внезапно и привести к тяжелым последствиям. Схема синоптической обстановки с расположением зон, наиболее благоприятных для возникновения ТЯН, приведена на рис. 9.3. Эти зоны показаны штриховыми линиями и обозначены римскими цифрами. В областях расходимости воздушных течений IV и V болтанка при ясном небе бывает особенно интенсивной. В областях I—III она обычно слабее. Болтанка самолетов усиливается в тех районах, где тропопауза имеет большой наклон.

Направление ветра в струйных течениях под тропопаузой преобладает западное, юго-западное и северо-западное.

Если полет в зоне струйного течения осуществляется против ветра, путевая скорость резко уменьшается, при полете по ветру — возрастает. При полетах на больших высотах и на большие расстояния струйные течения при правильном их учете могут использоваться для сокращения времени полета или увеличения его дальности. Экипажу необходимо быть очень внимательным в таком

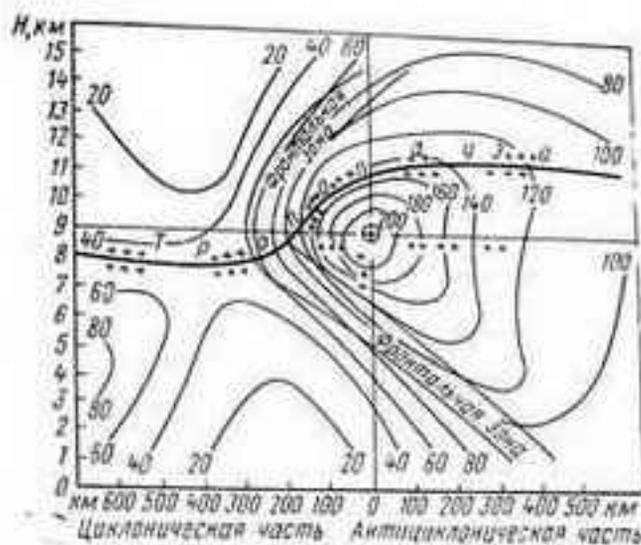


Рис. 9.2. Схема вертикального разреза фронтального струйного течения (ветер направлен от читателя):

⊕ — ось струйного течения; тонкие линии — изотермы (в км/ч); \* — зоны веротканки

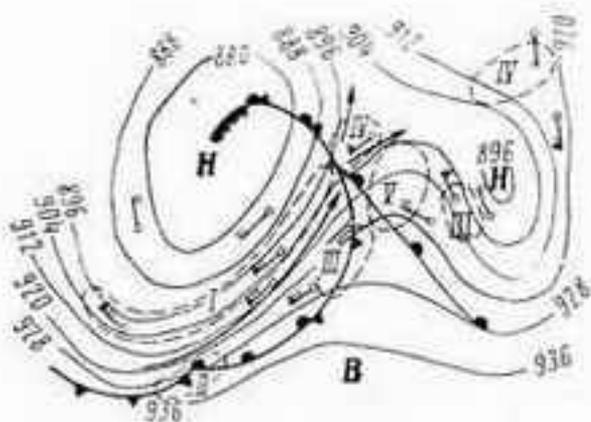


Рис. 9.3. Схема синоптической обстановки, при которой наиболее вероятна ТЯН (зоны ТЯН показаны штриховыми линиями)

полете. При попутном струйном течении маршрут должен выбираться с таким расчетом, чтобы он проходил вдоль или вблизи оси струйного течения, где встреча с зонами турбулентности менее вероятна. На периферии струйного течения, где вертикальные сдвиги ветра значительны, вероятность сильной болтанки резко возрастает.

При полете в струйном течении на высотах, близких

к потолку, уклонение самолета в сторону повышения температуры может быть опасным, так как не исключается возможность его выхода в область значительных положительных отклонений температуры от стандартной. В этих случаях самолет может оказаться на такой высоте, где его устойчивость нарушается, он может произвольно терять высоту («проваливаться»). Если при этом в атмосфере наблюдаются вертикальные пульсации ветра, самолет может произвольно попасть на критические углы атаки и срывные режимы.

При встрече зоны с сильной турбулентностью, вызывающей интенсивную болтанку, командир воздушного корабля должен принять все меры безопасности.

### 9.5. Условия полетов в стратосфере

В нижней части стратосферы обычно наблюдается изотермия или слабая инверсия; на высоте около 25 км инверсия начинает усиливаться и в верхней половине стратосферы, как правило, бывает сильная инверсия температуры. На верхней границе стратосферы средняя температура равна от 0 до +10° С, в отдельных случаях даже +25° С.

Температура на нижней границе стратосферы зависит от ее высоты: чем ниже начало стратосферы, тем выше температура. Колебание высоты начала стратосферы происходит под влиянием атмосферных процессов и особенностей общей циркуляции атмосферы.

Рост температуры в стратосфере связан с поглощением ультрафиолетовой солнечной радиации озоном и инфракрасной солнечной радиации водяным паром, причем вклад озона в 4 раза больше вклада водяного пара. Большие колебания температуры в высоких широтах обусловлены тем, что во время длинной полярной ночи воздух сильно выхолаживается, а летом полярным днем успевает заметно нагреться.

Для стратосферы характерны наблюдающиеся иногда внезапные резкие потепления, получившие название стратосферных потеплений. Эти потепления наиболее отчетливо проявляются в высоких широтах и наблюдаются обычно во второй половине января и в феврале. Повышение температуры сперва проявляется на высоте 40—50 км, затем постепенно распространяется вниз. Наибольшая междусуточная изменчивость температуры бывает на высоте 25—35 км и достигает 15° С и более. Причины стратосферных потеплений в достаточной степени еще не выяснены.

Атмосферное давление и плотность воздуха в стратосфере падают с высотой. В высоких широтах и у экватора эти изменения неодинаковы. Например, различие в плотности воздуха на высоте 16 км у экватора и полюса равно около 20% ее величины, а на высоте 24 км — 5—8%. Сезонные изменения плотности воздуха на средних широтах невелики.

В нижней стратосфере над умеренными широтами во все сезоны года преобладает западный ветер.

В стратосфере среднее распределение температуры воздуха по меридиану летом противоположно тропосферному. В полярных областях летом вследствие непрерывного полярного дня воздух значительно нагревается. Начиная с 12—14 км, самые низкие температуры приходятся на районы экватора, а самые высокие — на районы полюса. Над полярными областями летом возникает околополярный циклон и устанавливается восточный перенос воздуха на уровнях выше 20 км. Это явление называется стратосферным обращением ветра.

Таким образом, летом в стратосфере до высот 20 км от полюса до тропиков преобладают относительно слабые западные ветры, а к югу от тропиков — восточные. Выше 20 км над всем Северным полушарием наблюдаются восточные ветры, достигающие максимальных скоростей (иногда 60—70 м/с) на высотах 50—70 км. Зимой в стратосфере ветер западный, только у экватора восточный. Максимум скорости ветра отмечается на широтах 50—60 с. ш., причем на высотах 55—60 км средняя его скорость равна 100 м/с. В экваториальной зоне почти во всей стратосфере зимой и летом наблюдаются восточные ветры со средними скоростями, превышающими 30 м/с на уровне 30 км.

Влажность воздуха в нижней стратосфере мала — на высотах около 25 км относительная влажность всего 1—2%.

В стратосфере на высотах 21—30 км иногда образуются тонкие облака, получившие из-за их радужной окраски название перламутровых. Они наблюдались над Скандинавией, Финляндией, Англией, Аляской, Антарктидой. Перламутровые облака бывают только зимой в южных и юго-западных частях глубоких циклонов. Скорость ветра в этих случаях достигает 100 км/ч, а температура воздуха по косвенным оценкам понижается до —83° С.

Одним из метеорологических факторов, влияющих на условия полетов в стратосфере, является озон. Его количество изменяется в значительных пределах, особенно в околополярной зоне. Более

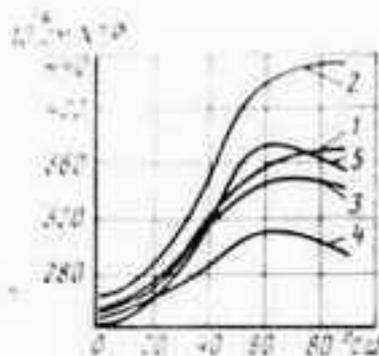


Рис. 9.4. Среднее изменение содержания озона (в  $10^{-3}$  см NTP) по широте в разные сезоны года в Северном полушарии:

1 — год; 2 — весна; 3 — лето; 4 — осень; 5 — зима

постоянное распределение озона наблюдается в приэкваториальных районах.

На рис. 9.4 показано распределение в широтном направлении озона в  $10^{-3}$  см NTP (толщина приведенного слоя озона при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении 760 мм рт. ст.). Около 70% всего озона атмосферы содержится между тропикополосой и изополосой. Изополоса — граница между нижней стратосферой с незначительным градиентом температуры и вышележащим инверсионным слоем атмосферы. Слой атмосферы с максимальным содержанием озона расположен на высоте изополосы.

Озон в некоторой степени воздействует на самолеты. Высокая концентрация озона может оказывать коррозирующее

влияние при длительных полетах в слоях его наибольшего содержания. Однако при больших скоростях полета вследствие значительного кинетического нагрева подавляющая часть озона разрушается и коррозирующий эффект незначителен.

Не слишком велико влияние озона на экипаж и пассажиров, поскольку воздух, поступающий в пилотскую кабину и пассажирские салоны, предварительно подвергается компрессии, нагревается, и содержание озона уменьшается. Кроме того, для доведения концентрации озона до безопасной величины могут использоваться специальные фильтры.

В стратосфере самолеты и экипаж могут подвергаться космической радиации, особенно в полярных областях. Основным источником потенциально опасной радиации являются солнечные вспышки. Интенсивные солнечные вспышки создают в атмосфере вторичный источник частиц высоких энергий. Обшивка самолета экранирует заряженные частицы, создает защитный эффект, однако на высотах 20 км и более она сама может быть источником вторичной радиации.

Для обеспечения безопасности полета необходимо принятие соответствующих защитных мер.

В стратосфере почти отсутствуют продукты конденсации и дальность видимости определяется в основном концентрацией частиц пыли. Они поступают в стратосферу сверху — из межпланетного пространства и снизу — из нижних слоев атмосферы. Космическое пространство заполнено разреженной материей в газообразном и пылевом состояниях. Пылевое вещество является продуктом постепенного распада астероидов под действием столкновения с метеоритами. Космическая пыль имеет небольшую концентрацию и видимость практически не ухудшает.

Снизу пыль в стратосферу заносится вулканическими извержениями и восходящими воздушными потоками от земной поверхности

сти. При сильных вулканических извержениях в стратосферу может поступать настолько большое количество пыли, что прозрачность атмосферы может уменьшаться на 10%.

Во время стратосферных полетов пилоты иногда встречаются с труднорастворимыми с земли пылевыми облаками. Толщина таких облаков обычно небольшая и составляет несколько десятков или сот метров. Мелкая пыль не ухудшает существенно видимость и в целом в стратосфере дальность видимости лучше, чем в тропосфере.

Однако условия видимости в рассматриваемых слоях атмосферы значительно изменяются с высотой в связи с общими физическими изменениями пространства. В самых нижних слоях стратосферы голубизна неба более яркая, чем в верхней тропосфере. Усиление голубизны обусловлено тем, что в рассеянном свете преобладают цвета коротковолновых участков видимой части спектра. Это, в свою очередь, связано с молекулярным характером рассеяния, дающим цвета голубых оттенков. По мере увеличения высоты плотность воздуха падает, светло-голубой цвет неба переходит в густо-голубой, затем в фиолетовый и в космическом пространстве в совершенно черный.

Полетная видимость на фоне густо-синего и фиолетового неба ухудшается. Ослабление рассеянного света усиливает световые контрасты.

## 9.6. Условия полетов в горных районах

**Специфика условий полетов в горных районах.** Горные районы характеризуются более сложными метеорологическими условиями полетов, чем над равнинами. Здесь часто наблюдается сильная динамическая и термическая турбулентность, особенно в нижних слоях атмосферы, нередко развивается грозная деятельность. При прохождении атмосферных фронтов над горами облачные системы трансформируются. На наветренной стороне горных хребтов фронты обостряются, зоны осадков увеличиваются, а длительность осадков, их интенсивность и вероятность обледенения возрастают. В районах подветренных склонов гор вследствие фёновых процессов осадки ослабевают или прекращаются совсем, а облачность разрушается. У следующих горных хребтов она может восстанавливаться вновь, и, поскольку рельеф местности имеет сложный характер, это приводит к большому разнообразию форм облачности, часто закрывающей вершины гор.

Особенно неустойчивы метеорологические условия в осенне-зимние месяцы вследствие большой повторяемости дней с низкой облачностью, туманами, ливнями и грозами. Так, над Армянским нагорьем наибольшее число дней с облачностью 10 баллов бывает в декабре — январе. В Грузии низкая облачность обычно наблюдается также в холодное полугодие. В Прикарпатье зимой число дней с высотой облаков до 300 м составляет от 19 до 22 в месяц. Лучшим временем для полетов на малых высотах над территорией Кавказа и Прикарпатье являются месяцы теплого периода года.

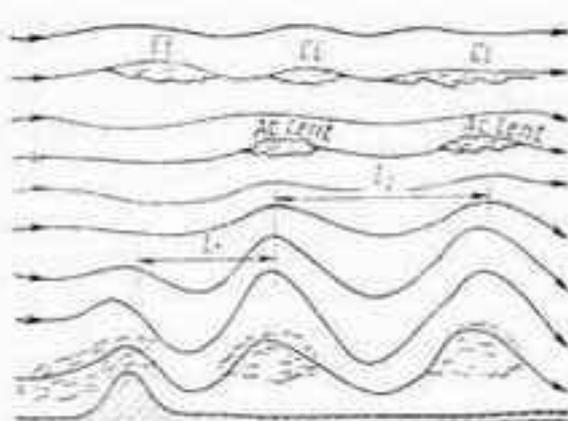


Рис. 9.5. Схема возмущения воздушного потока над горным хребтом и связанных с этим возмущением облачных систем

При обтекании воздушным потоком горного препятствия над горой и вниз по течению образуются волны, называемые горными волнами, или волнами препятствий. Кроме этих волн, в области орографических возмущений воздушного потока нередко возникают зоны сильной турбулентности. Они усиливаются термической конвекцией, которая особенно интенсивна над освещаемыми солнцем склонами гор. В зонах интенсивной турбулентности полеты сильно осложняются,

а иногда становятся невозможными. Турбулентность наиболее интенсивна в областях роторных облаков, по форме напоминающих кучевые облака, но имеющих характерный крутящийся вид. Они возникают при образовании вихря с горизонтальной осью на подветренной стороне гор, на уровне их вершин, и имеют сравнительно небольшие вертикальные размеры. Лишь иногда эти облака развиваются до такой степени, что их вершины граничат с основанием чечевицеобразных облаков.

Обычно роторное облако то возникает на вершине подветренного вихря, то, отрываясь от него, уносится воздушным потоком вниз по его течению. В последнем случае облако быстро рассеивается из-за сильно развитой турбулентности.

Типичная схема обтекания горного препятствия воздушным потоком представлена на рис. 9.5. Здесь показаны возможные образования волновых движений разной длины волн ( $l_1$ ,  $l_2$ ) и формирования облаков в верхнем, среднем и нижнем ярусах. Конечно, не все облака, изображенные на рисунке, могут наблюдаться над препятствием одновременно. Это зависит от таких причин, как характер воздушного потока, влагосодержание воздуха, стратификация атмосферы, особенности горного препятствия.

Наличие только чечевицеобразных облаков, тем более тогда, когда они расположены с характерным чередованием, уже свидетельствует о наличии волновых движений над горным препятствием. Если на подветренной стороне гор наблюдаются роторные облака, это показывает, что имеются волны препятствий, хотя чечевицеобразных облаков может и не быть.

Фёновые процессы, развивающиеся в горах, приводят к значительному повышению температуры воздуха на подветренной стороне гор, особенно летом. В этих случаях создаются значительные отклонения температуры от ее стандартного распределения.

Термическая конвекция, развивающаяся в горах в сочетании с динамической турбулентностью при достаточном влагосодержании воздуха, приводит к более высокой повторяемости гроз над горами по сравнению с равнинными территориями. Это можно отчетли-

во проследить, например, по данным о грозах на Украине. Число дней с грозами над равнинными районами северного Крыма доходит за год до 20, в горах Крыма возрастает до 30, а над Карпатами в отдельных пунктах даже до 40.

В целом физическое состояние атмосферы в горах может сильно отличаться от стандартного. Это, в свою очередь, влияет на силу тяги двигателей, длину разбега и пробега самолета, показания аэронавигационных условий и на другие характеристики. Положительные отклонения температуры воздуха, от стандартной на 1% приводят, например, для самолета Ан-24 к увеличению длины пробега на 3% по сравнению со стандартной, а уменьшение атмосферного давления на 1% — к увеличению длины пробега на 2%.

Сильные вертикальные потоки в горных волнах затрудняют выдерживание высоты полета и создают опасность столкновения с горой в области нисходящих воздушных потоков. Наибольшую опасность для полетов самолетов в турбулентной атмосфере над горами представляет сочетание мощных вертикальных потоков с частыми и сильными вертикальными порывами. При мощном нисходящем потоке самолет может выйти на большие углы атаки с недопустимым снижением скорости. При встрече в этом положении с сильным порывом самолет может быть выведен на такие закритические углы атаки, при которых может произойти его сваливание на крыло и на нос.

В вихрях с горизонтальной осью, развивающихся в горах, наблюдается падение атмосферного давления, которое приводит к завышению показаний барометрического высотомера. Ошибка барометрического высотомера при постоянной плотности воздуха при ветре 20 м/с равна 40 м, а при 40 м/с возрастает до 160 м. В районах особенно сильных ветров (например, в районе Урсатьевской, Средняя Азия) ошибка может быть 200 м и более.

**Рекомендации по обеспечению безопасности полетов в горных районах.** Для обеспечения безопасности полетов в горных районах необходимо строго соблюдать требования документов, регламентирующих полеты. Перед полетом должна быть тщательно изучена метеорологическая обстановка с использованием всех имеющихся материалов, в том числе данных МРЛ, бортовой погоды, а также спутниковой информации (при ее наличии). Особое внимание должно быть обращено на возможность образования опасных для полетов метеорологических явлений. Следует тщательно определить безопасную высоту полета и нижний безопасный эшелон. Нужно хорошо знать наиболее вероятные метеорологические условия полетов, наблюдающиеся в горах, твердо помнить местные признаки изменения погоды: характерные формы облачности, признаки неустойчивого состояния атмосферы, специфику формирования облаков вертикального развития, особенно кучево-дождевых (грозовых), образования воли препятствий и облачности, связанной с ними. Необходимо также хорошо представлять особенности влияния метеоусловий горной местности на взлет и посадку самолетов

и влияние воздушных потоков на показания инерционных и пилотажных приборов.

Выполняя полет, экипаж должен внимательно следить за метеорологической обстановкой, избегать попадания в роторные облака, пыльные вихри, в чечевицеобразную облачность с разорванными краями. Нужно строго выдерживать безопасную высоту полета. Следует твердо помнить, что из-за сильных нисходящих потоков воздуха, особенно на подветренной стороне гор, могут возникнуть значительные искажения в показаниях пилотажно-навигационных приборов. Горы, кроме того, оказывают отрицательное влияние на точность работы радионавигационных средств. Должны строго соблюдаться нормативные требования обхода мощных кучевых, кучево-дождевых (грозовых) облаков. Для оценки метеобстановки и условий обхода опасных облаков должны использоваться бортовые радиолокационные средства.

### 9.7. Особенности условий полетов над различными географическими районами и большими водными пространствами

**Районы пустынь, жаркого и сухого климата.** Метеорологические условия полетов в пустынной местности зависят от времени года и суток. В летнее время над пустынями Средней Азии преобладает ясная сухая погода. Днем подстилающая поверхность сильно прогревается, возникает термическая и динамическая турбулентность, которая приводит к болтанке ЛА. В холодное полугодие нередко бывают периоды с антициклональной погодой, наблюдается небольшая облачность или бывает совсем безоблачно. Переходные периоды года — обычно наиболее сложные для полетов: выпадают осадки, возникают туманы, наблюдается, хотя и непродолжительное время, низкая облачность.

Над пустынями иногда возникают такие оптические явления, как миражи. Это бывает в тех случаях, когда в утренние часы, особенно в антициклонах, прилегающий к земле воздух начинает сильно прогреваться и плотность воздуха с высотой падает замедленно. При нижних миражах из-за преломления световых лучей окружающие предметы кажутся приподнятыми и отражающимися в водной поверхности. Восходящие потоки прогретого воздуха вызывают быстрое изменение его преломляющих свойств. Может создаваться ложное впечатление о якобы наблюдающейся водной поверхности. Миражи искажают наблюдения реальных предметов, осложняют ориентировку, затрудняют оценку условий посадки.

Над пустынями с жарким климатом нередко возникают пыльные бури. Они представляют собой перенос сильным ветром большого количества пыли и песка, в результате чего дальность видимости значительно ухудшается. Пыльные бури иногда являются причиной летних происшествий, в том числе и самых тяжелых. Толщина пылевого облака обычно составляет несколько сот метров, но может достигать нескольких километров. Были случаи, когда

пылевое облако поднималось над Ташкентом до высоты около 4 км, а над Ашхабадом даже до 9 км. Слой пыли иногда отмечался на маршрутах при полетах на воздушных трассах Ташкент — Дели, Ташкент — Кабул.

На территории нашей страны пыльные бури наиболее часты над Средней Азией, особенно в Центральных Каракумах и в районе Аральского моря. В Каракумах они, как правило, бывают весной вследствие быстрого просыхания почвы и усиления ветра, в пустыне Кызылкум — летом. По времени суток в повторяемости пыльных бурь отмечаются два максимума: в 7—10 или 10—13 ч и в 19—22 ч местного времени.

Размер территории, которую одновременно занимает пыльная буря, определяется тем, насколько велика зона штормового ветра над подстилающей поверхностью с незакрепленной почвой. Чаще всего пыльные бури имеют локальный характер, но иногда развиваются над обширными районами. Наиболее длительные периоды нештормовой погоды из-за пыльных бурь бывают в Туркмении.

Ухудшение видимости при пыльной буре может быть значительное. Так, в районе Аральского моря бывают случаи, когда видимость при пыльной буре падает до 500 м и менее, в Джусалы — до 200 м, Кызыл-Орде, Арыси, Нукусе — до нескольких метров. В Ташкенте, хотя бури там редки и малоинтенсивны, 10 сентября 1971 г. во время пыльной бури видимость ухудшилась до 50 м, а в пригороде даже до 10 м. Дальность видимости при пыльной буре обычно не бывает постоянной; некоторые ее улучшения чередуются ухудшениями, и это чередование зависит от силы ветра и его характера. Пыльная буря опасна не только ухудшением видимости, но и сильной турбулентностью.

Пыльные бури бывают над южными районами Азии, над Аравией, севером Африки и другими районами и наиболее интенсивны в Сахаре. Они имеют местные названия. Во время с а м у м а порывистым ветром в воздух поднимается огромное количество песка, небо заволанивается густой пылью, солнца из-за пыли не видно. В Египте после весеннего равноденствия длительное время дует горячий пыльный ветер х а м с и н. Он часто создает пыльные бури с очень плохой видимостью. В Судане печальную славу имеет пыльный горячий ветер — х а б у б. Обычно его начало бывает неожиданным: надвигается темная туча пыльной бури со скоростью ветра до 40—60 м/с, а иногда и более, возникают смерчи, поднимающие песок и пыль на высоту до нескольких километров.

В районе жаркого климата создаются значительные положительные отклонения температуры от ее стандартного значения. Это отрицательно сказывается на тяге двигателя, увеличивает длину пробега самолета при взлете и посадке, уменьшает скороподъемность ЛА.

**Районы влажного тропического климата.** Влажный тропический климат присущ экваториальным и приэкваториальным областям. В формировании условий погоды решающая роль принадлежит широте места и циркуляции экваториальных муссонов. Определен-

ное значение имеет орография, вносящая значительную неоднородность в характер метеорологических условий.

Областями с рассматриваемым климатом являются Амазонская низменность в Южной Америке, Центральная Америка с прилежащими к ней островами, бассейн р. Конго и гвинейское побережье Африки, Южные районы Индии и Индокитая, острова Малайского архипелага, Филиппины и Океании и др.

Для этих областей в течение года типична высокая температура, мало изменяющаяся по сезонам, как правило, не превышающая  $40^{\circ}\text{C}$ . Наблюдаются обильные, преимущественно ливневые, иногда довольно продолжительные дожди, которые в условиях высокой температуры приводят к большой абсолютной и относительной влажности. Увлажнение воздуха идет почти с одинаковой интенсивностью как над океанами, так и над обширными массивами влажных экваториальных лесов.

В этих районах создаются благоприятные условия для интенсивного формирования облаков вертикального развития. Высокое положение тропопаузы приводит к тому, что здесь наблюдаются наиболее мощные кучево-дождевые облака, часто сопровождающиеся грозами.

Число дней с осадками велико. Оно достигает 200—215, а в некоторых местах 230—240 и даже до 300 дней в году. Количество выпадающих осадков большое. Например, в некоторых районах Индии за год выпадает столько осадков, что они равны около 40 годовым нормам средней полосы европейской территории СССР. В отдельные годы здесь за один месяц может выпасть такое количество осадков, которое в 10 раз больше годовых норм, наблюдающихся в районах Москвы и Ленинграда.

Высокая влажность воздуха уже при небольшом понижении температуры приводит к образованию туманов, которые нередко длительны и интенсивны. Этому способствует наличие в воздухе гигроскопических ядер конденсации, при которых туман может начаться в условиях относительной влажности менее 100%. Число дней с туманами в Африке, в бассейне р. Конго, бывает в среднем за год до 126, на побережье Анголы — до 120.

В областях тропического климата наблюдается наибольшее количество дней с грозами. Они не имеют такой закономерности, которая обычно отмечается в средних широтах. В тропической зоне грозы не обладают столь четко выраженным годовым ходом. Более заметен их суточный ход. Грозы преобладают в середине дня и в послеполуденные часы.

Таким образом, для метеорологических условий полетов в районах влажного тропического климата характерны высокая температура и влажность, сильное развитие кучево-дождевых и грозовых облаков с ливневыми осадками, интенсивная турбулентность в дневные часы, высокая повторяемость гроз, а в ночные и утренние часы большая повторяемость туманов.

**Районы высоких широт.** В высоких широтах в течение года на всех высотах наблюдаются преимущественно более низкие темпе-

ратуры по сравнению с другими широтами. Это приводит к тому, что запасы влаги менее значительны, воздух суше, что в сочетании с отсутствием источников поступления пыли обуславливает более высокую прозрачность атмосферы и хорошую видимость.

В арктическом бассейне в холодную половину года преобладают повышенное давление и антициклоническая циркуляция. Поэтому здесь высокая повторяемость инверсий, нередко довольно интенсивных.

Хотя абсолютная влажность арктического воздуха небольшая, его относительная влажность из-за низких температур высокая. В летнее время она особенно значительна. Уровень конденсации в течение года расположен на небольшой высоте. Формирующиеся в Арктике воздушные массы стратифицированы устойчиво, особенно зимой, когда часто бывают инверсии. В летнее время при длительном полярном дне солнечная радиация значительна, температура воздуха в свободной атмосфере повышается, причем повышение температуры усиливается за счет адвекции теплого воздуха из средних широт. У земной поверхности температура воздуха вследствие таяния льдов остается близкой к нулю. Это приводит к систематическим изотермиям и инверсиям. Все вместе взятое вызывает формирование летом обширных зон слоистообразных облаков, а у земной поверхности дымок и туманов. Так как уровень образования кристаллов расположен низко, облака, в том числе и нижнего яруса, преимущественно кристаллические.

Ввиду холодной подстилающей поверхности, наличия пленки относительно холодного воздуха над тающими льдами и оседания воздуха при антициклонической циркуляции термическая конвекция в Центральной Арктике развита слабо. Образующиеся внутримассовые облака имеют слоистую форму, а летом, кроме того, слоисто-кучевую. Лишь над территориями больших архипелагов (Шпицберген, Землей Франца-Иосифа), а также над побережьями в летнее время создаются условия для развития конвекции, хотя и не очень интенсивной. Формируются кучевые и даже кучево-дождевые облака с небольшой вертикальной мощностью.

Атмосферным фронтам Арктики присущи некоторые особенности, сказывающиеся на метеорологических условиях полетов. В частности, облачные системы теплых фронтов имеют высоту нижней границы, как правило, меньшую, чем в средних широтах. В зоне фронтов в теплое время года чаще наблюдается низкая подфронтальная облачность с высотами, как правило, 100—200 м. Нередко низкие облака сливаются с фронтальным и адвективным туманом. Вдоль фронта высота НГО, интенсивность осадков и ширина их зоны могут быть более изменчивыми. Почти в течение года низкие облака состоят из переохлажденных капель или из смеси капель и ледяных кристаллов, вероятность обледенения при полетах в них весьма высокая. По своей вертикальной мощности облачная система менее значительна по сравнению с облачными системами на других широтах. Однако и здесь в циклонах иногда могут встречаться мощные фронтальные облака. Фронтальные облачные

системы значительно больше расслоены, чем над континентом, что связано с преобладанием заполняющихся циклонов и менее благоприятными условиями для конвекции. Средняя горизонтальная протяженность облачной зоны теплого фронта в Арктике меньше, чем в умеренных широтах. Однако при активном циклогенезе даже в восточном секторе Арктики иногда наблюдаются облачные системы, занимающие по вертикали значительную часть тропосферы.

Холодные фронты Арктики имеют менее развитые облачные системы, чем над континентальными районами средних широт. Особенно это относится к кучево-дождевым облакам, наблюдающимся в передней части фронта. Здесь они могут быть без четко выраженной «наковальни». Обострение фронта и более активное развитие кучево-дождевых облаков начинается обычно после прохождения фронтальным разделом границы лед — вода и перемещения холодного воздуха на открытую водную поверхность. Контраст температуры в зоне фронта увеличивается вследствие разницы температуры воздуха над открытой водной поверхностью и льдом. Облачность холодных фронтов Арктики более расслоена, чем на средних широтах.

Поскольку в Арктике преобладают заполняющиеся циклоны, фронты окклюзии здесь имеют обычно деградирующие облачные системы. Низкая облачность на них бывает, как правило, не вдоль всего фронта, а зоны осадков более узкие, чем в средних широтах.

Облака вторичных холодных фронтов в Арктическом бассейне в летнее время имеют небольшую вертикальную мощность и чаще всего резко выраженную неустойчивость. Высота их нижней границы обычно составляет 100—300 м, вертикальная мощность не более 1000 м. Выпадает ливневый снег с резкими ухудшениями видимости. В холодное время года облачные системы вторичных холодных фронтов выражены слабо.

При низкой температуре зимой в приземном слое нередко возникает туманообразная пелена, похожая на облачность, состоящая из очень мелких ледяных частиц. Условия ориентировки при полете над такой пеленой осложняются.

Сильное переохлаждение приземного слоя воздуха в антициклонах Арктики при безоблачной погоде приводит к резкому уменьшению плотности воздуха с высотой. Это ведет к образованию верхних миражей. Наблюдаемые предметы в таких условиях кажутся оторванными от земной поверхности и видоизмененными.

Поскольку термическая конвекция ослаблена, часто устойчивое состояние атмосферы, циклоническая деятельность малоактивна, условия для развития турбулентности в общем малоблагоприятны. Поэтому при полетах на различных высотах болтанка менее вероятна, чем над средними широтами.

В целом в Арктике наиболее благоприятные условия для полетов наблюдаются весной — с начала марта до середины мая.

**Большие водные пространства.** Метеорологические условия полетов над большими водными пространствами зависят от широты места, времени года и суток. В низких и средних широтах они наи-

более благоприятны в летнее время, в высоких широтах на границе лед — вода условия осложняются туманами и низкой облачностью. Зимой над относительно теплой водной поверхностью при вторжении холодного воздуха развивается конвективная облачность, которая хотя и не очень развита по вертикали, но вследствие низкого положения уровня ледяных кристаллов быстро становится коллоидально неустойчивой. Из облаков выпадают ливневые осадки, иногда возникают грозы. В отличие от континентальных районов грозы здесь чаще бывают в холодную половину года, чем в теплое полугодие.

Сложные условия для полетов наблюдаются в приморских районах. Например, над территориями Приморья и Сахалина синоптические процессы обладают четко выраженным сезонным характером. Зимой метеорологические условия полетов большей частью обуславливаются влиянием восточной периферии сибирского антициклона. Преобладает малооблачная погода или наблюдается облачность верхнего и среднего ярусов при ветрах северо-западной четверти. Лишь при прохождении циклонов с Охотского моря наблюдаются низкая облачность и снегопады. Обложные осадки бывают также в отдельных случаях выхода с юга ослабевающих тропических циклонов, превращающихся во внетропические.

В теплое время над рассматриваемыми районами преобладает вынос воздушных масс с моря на сушу при южных и юго-восточных ветрах. В этих условиях в прибрежные районы с Охотского и Японского морей часто выносятся низкая облачность, а иногда туманы, создавая большие трудности для полетов, особенно на малых высотах. На Сахалине, например, число дней с облаками высотой менее 300 м в июле может быть до 25, а над территорией Приморья — от 18 до 20. Более благоприятные метеорологические условия для полетов на малых высотах здесь бывают в зимнее время.

При полетах над акваториями морей и океанов в приэкваториальных и тропических широтах не исключена встреча с тропическими циклонами. Для их обнаружения и прослеживания перемещения, а также для оценки возможных метеорологических условий полетов большую помощь оказывают спутниковые фотографии. На них четко видны облачные образования тропических циклонов, в том числе характерный «глаз бури».

При организации и выполнении полетов на малых высотах над большими водными пространствами для обеспечения безопасности нужно тщательно учитывать степень волнения моря. Волнообразование в зависимости от силы ветра может иметь различный характер. Основными видами волнообразования являются: ветровая волна, зыбь или накат, а также их сочетания. Высота волн может достигать во внутренних морях 5—5,5 м (в Балтийском море — 5 м, в Средиземном море — 5,5 м), а в океанах до 20 м и более (в северной части Индийского океана — 11,5 м, на севере Атлантики — 15,6 м, в северных районах Тихого океана — до 21 м).

Пилотировать ЛА при полетах над морем, особенно на малых высотах, очень сложно. Наиболее затруднено оно при низкой об-

лачности, поскольку видимость естественного горизонта в этих случаях практически отсутствует. Полеты в подобных условиях осуществляются только по приборам. Безопасная высота полета должна рассчитываться с неизменным учетом максимально возможной высоты волн.

На больших высотах вблизи прибрежных областей континентов, где бывают повышенные температурные контрасты, наблюдаются зоны сильных ветров (струйных течений) с характерной повышенной турбулентностью, на что указывалось при изложении метеорологических условий полетов в области струйных течений.

## 10. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ

### 10.1. Аэросиноптические материалы и их комплексный анализ

Для обеспечения безопасности полетов руководящие документы МГА запрещают выполнение всех видов полетов без изучения и оценки экипажами ЛА метеорологических условий полета.

Правильная оценка метеорологической обстановки на воздушной трассе позволяет устранить неожиданность встречи в полете со сложными условиями и опасными явлениями погоды, своевременно и правильно принять решение на безопасное продолжение выполняемого полета.

В период предполетной подготовки экипаж ЛА в составе командира, второго пилота и штурмана обязан изучить метеорологическую обстановку по маршруту полета, в аэропортах вылета и посадки, на запасных аэродромах. Для изучения и оценки метеорологической обстановки на АМСГ экипаж может использовать следующие материалы: приземные синоптические карты погоды, карты абсолютной и относительной топографии, карты максимальных ветров и тропопаузы, аэрологические диаграммы, вертикальные разрезы погоды по маршруту, радиолокационные карты, фотосхемы, фотомонтажи или карты кефанализа со спутниковой информацией, прогностические карты параметров конвекции и опасных конвективных явлений, прогностические карты особых явлений и прогностические карты барической топографии, а также сведения, получаемые от экипажей, находящихся в полете (бортовая погода).

Комплексный анализ всех аэросиноптических материалов позволяет правильно оценить развитие атмосферных процессов и характер условий погоды на воздушной трассе или в районе полетов.

Наиболее целесообразно вначале самостоятельно изучить метеорологическую обстановку по аэросиноптическим материалам, а затем уже получить консультацию у дежурного инженера-синоптика АМСГ. При изучении обстановки необходимо придерживаться определенной последовательности в анализе аэросиноптических материалов. Следует начинать с приземной синоптической карты погоды.

Синоптические карты погоды содержат сведения о фактической погоде и метеорологической обстановке на большой территории. Такие карты позволяют сразу оценить, какие барические системы будут обуславливать погоду на трассе или в районе полетов, будет ли полет происходить в одной воздушной массе или с пересечением атмосферных фронтов, какая фактическая погода наблюдается на метеостанциях, расположенных вдоль трассы.

Для более детального ознакомления с фактической погодой нужно проанализировать кольцевые карты погоды. Они имеют более крупный масштаб. Изучение кольцевых карт за несколько последовательных сроков позволяет оценить тенденцию в изменении характера погоды в районе аэропорта вылета и на участке трассы, охватываемом картой.

Вертикальную структуру, стадию развития, направление и скорость перемещения барических образований можно уточнить по картам барической топографии  $AT_{850}$ ,  $AT_{700}$ ,  $AT_{500}$ . Карта  $AT_{850}$  позволяет также уточнить положение атмосферных фронтов.

Рекомендуется познакомиться с прогностической приземной картой (на 24 или 36 ч), на которой даются будущее состояние барического поля и положение атмосферных фронтов.

В летнее время нужно внимательно проанализировать прогностическую карту параметров конвекции и опасных конвективных явлений. На этой карте дан прогноз расположения районов с грозовой деятельностью, ливневыми осадками и шквалами, указана ожидаемая максимальная скорость ветра при шквалах, высота нижней и верхней границы кучево-дождевых облаков.

Для оценки возможного образования внутримассовых гроз в районе аэропорта следует ознакомиться с аэрологической диаграммой. Она также позволяет определить высоты расположения изотерм  $0^{\circ}C$ ,  $-10^{\circ}C$ ,  $-20^{\circ}C$ , облачных слоев, что необходимо для оценки возможного обледенения при пробивании облаков, высоту тропопаузы.

Радиолокационная карта используется для ознакомления с фактическим расположением грозовых и ливневых очагов в районе аэродрома в радиусе 100—150 км.

Для оценки метеорологических условий полета на эшелоне вдоль маршрута полета анализируются высотные карты погоды.

Карты абсолютной топографии используются для анализа ветрового режима на маршруте полета, положения высотных фронтальных зон и связанных с ними струйных течений, расположения зон облачности, обледенения и повышенной турбулентности, вызывающей болтанку воздушных судов. Нужно учитывать, что информацию на карте главной изобарической поверхности можно использовать для оценки метеорологических условий в слое толщиной около 2 км. Так, карта  $AT_{850}$  характеризует условия в слое 1—2 км,  $AT_{700}$  — в слое 2—4 км,  $AT_{500}$  — в слое 4—6 км,  $AT_{400}$  — в слое 6—8 км,  $AT_{300}$  — в слое 8—10 км.

Прогностические карты абсолютной топографии (на 24 или 36 ч) позволяют уточнить будущее состояние высотного барическо-

го поля. Скорость и направление ветра, рассчитанные по этим картам, используются в штурманских расчетах.

Для определения положения струйных течений, максимальных скоростей ветра в атмосфере и их высот нужно использовать карту максимальных ветров.

Карты относительной топографии  $OT_{1000}^{500}$  показывают расположение в атмосфере очагов тепла и холода. Это позволяет определить на трассе участки с положительными и отрицательными отклонениями температуры от значений в стандартной атмосфере.

Карта тропопаузы содержит сведения о пространственном положении тропопаузы, ее высоте и температуре на ее уровне.

При составлении на АМСГ вертикального разреза атмосферы по интересующей экипаж воздушной трассе, нужно внимательно проанализировать этот разрез. Такие пространственные вертикальные разрезы составляются по данным радиозондирования атмосферы. Они наглядно показывают расположение в пространстве вдоль трассы метеорологических элементов и явлений. На вертикальном разрезе можно быстро проанализировать структуру облачности, наличие грозных и ливневых очагов, расположение по высотам зон обледенения и болтанки, положение тропопаузы, направление и скорость ветра на различных высотах.

При большой протяженности воздушной трассы анализируется фотосхема или фотомонтаж спутниковой метеорологической информации. Она дает наглядное представление о положении крупномасштабных полей облачности, связанных с циклонами, атмосферными фронтами и однородными воздушными массами.

Завершить оценку метеорологической обстановки нужно анализом авиационных прогностических карт — карт особых явлений погоды и карт барической топографии, ближайших к эшелону полета.

После того как самостоятельно проведено изучение аэросиноптического материала, необходимо получить консультацию у дежурного инженера-синоптика. При необходимости нужно задать ему вопросы по уточнению метеорологической обстановки на тех участках воздушной трассы, где возможна встреча с опасным явлением погоды.

Требуется внимательно ознакомиться с фактической погодой с бортов самолетов по трассе, с фактической погодой и прогнозами погоды по пункту посадки и запасным аэродромам.

В результате изучения и оценки метеорологической обстановки у членов экипажа должно сложиться четкое представление о развитии атмосферных процессов, о метеорологических условиях полетов на воздушной трассе, о характере погоды в аэропортах вылета и посадки, на запасных аэродромах.

При принятии решения на полет при наличии опасных явлений погоды на трассе нужно заранее предусмотреть необходимые меры для обеспечения безопасности полета: пути обхода грозных очагов, возможные изменения высоты полета при встрече зон с интенсивным обледенением или турбулентностью и др.

Правильная оценка метеорологической обстановки и своевременное принятие необходимых мер безопасности позволяют выполнять полетные задания без летных происшествий и предпосылок к ним по причине метеоусловий.

## 10.2. Оценка метеорологических условий полетов на малых высотах

Метеорологические условия на малых высотах (ниже 600 м над поверхностью Земли) оказывают существенное влияние на взлет и посадку ЛА, на полеты ниже нижнего эшелона. Они отличаются большой изменчивостью как во времени, так и по горизонтали, имеют значительный сезонный и суточный ход, в сильной степени зависят от рельефа местности, от наличия водоемов, болот, от близости промышленных объектов.

На безопасность полетов на малых высотах оказывают влияние следующие метеорологические факторы:

горизонтальная видимость и явления, ее ухудшающие (туман, дымка, метель, пыльная буря, осадки);

характер облачности и высота ее нижней границы;

гроза и опасные явления, связанные с ней (град, сильные ливни, молнии, шквалы, смерчи);

мокрый снег, переохлажденный дождь, обледенение в облаках; турбулентность, обуславливающая порывистость ветра, болтанку и броски ЛА.

Возникновение и интенсивность этих явлений существенно зависят от местных географических условий. Экипажу ЛА перед полетом на малых высотах нужно тщательно изучить метеорологическую обстановку на маршруте, в районе посадки и на запасных аэродромах.

Для оценки метеорологической обстановки следует внимательно проанализировать текущие и прогностические приземные синоптические карты, карты барической топографии АТ<sub>850</sub> и АТ<sub>700</sub>, а в летнее время — прогностическую карту параметров конвекции и опасных конвективных явлений. При анализе необходимо учитывать особенности погодных условий в однородных воздушных массах и на атмосферных фронтах в пограничном слое атмосферы.

**Метеорологические условия в однородной воздушной массе.** При оценке метеорологических условий учитываются географический тип воздушной массы, ее термодинамическая устойчивость или неустойчивость, сезон года и время суток, характер подстилающей поверхности, рельеф местности, анализируются формы облачности, ее нижняя граница, горизонтальная видимость и наличие опасных явлений погоды.

Для устойчивой воздушной массы, наиболее часто наблюдающейся в холодное время года, характерно наличие слоисто-кучевых и слоистых облаков с низкой нижней границей, ограниченной горизонтальной видимостью, морозящих осадков, густых дымок и адвективных туманов. Над европейской территорией СССР такие

условия создаются при вторжении с запада с Атлантического океана умеренного или тропического морского воздуха.

Сильные низкие слоистые облака и адвективные туманы на длительное время могут закрывать для визуальных полетов большие территории. Нижняя граница слоистых облаков часто опускается до 100—50 м, обычно размыта, так как имеется подоблачный слой, плотность которого постепенно возрастает с высотой. Над возвышенностями она ниже, чем над равниной (примерно из-за вину высоты возвышенности).

При пробивании таких облаков при снижении наклонная видимость под ними может быть много меньше горизонтальной видимости (см. параграф 4.5).

При высоте облаков 100 м и менее наклонная видимость составляет лишь 30% от горизонтальной видимости, которая определяется при наблюдениях. Это нужно учитывать пилоту при посадке ЛА.

Низкая облачность и ограниченная видимость в устойчивых воздушных массах наблюдается в течение всех суток. В дневные часы может происходить некоторое повышение облачности и улучшение горизонтальной видимости.

В теплое время года встречаются холодные неустойчивые воздушные массы, которые вторгаются на теплую земную поверхность обычно в тылу циклона или в передней части антициклона. Из-за неустойчивой стратификации в таких воздушных массах легко возникают конвективные движения.

Для неустойчивой воздушной массы характерны облака вертикального развития (кучевые, мощные кучевые и кучево-дождевые), грозы, ливневые осадки (в виде града, крупы, дождя, снега, мокрого снега), повышенная турбулентность, приводящая к болтанке и броскам ЛА, порывистые ветры. Горизонтальная видимость хорошая, понижающаяся лишь в зонах осадков.

Все явления, связанные с конвекцией, имеют большой суточный ход. На ночных и утренних синоптических картах может наблюдаться малооблачная или ясная погода с хорошей горизонтальной видимостью и слабыми ветрами. Но с 9—11 ч местного времени, когда подстилающая поверхность уже хорошо нагревается, начинается развитие кучевообразной облачности с опасными конвективными явлениями, которые достигают максимальной интенсивности в послеполуденные часы. В вечерние часы облака начинают растекаться, грозы и ливни обычно прекращаются.

**Особенности метеорологических условий на атмосферных фронтах на малых высотах.** Особенно тщательно анализируется метеорологическая обстановка, если погода в районе полетов или на воздушной трассе обуславливается влиянием атмосферного фронта. Данные наблюдений показывают, что ухудшения погоды на малых высотах в 80% случаев летом и в 60% случаев зимой связаны с прохождением атмосферных фронтов.

Наиболее сложные метеоусловия наблюдаются в зонах выпадения фронтальных осадков. Облачность понижается ниже 200 м, а горизонтальная видимость ухудшается до значений менее 2000 м.

Фронтальные слоисто-дождевые и слоисто-разорванные облака могут занимать значительные площади и серьезно осложнять полеты на малых высотах. Чем ближе к линии фронта, тем больше вероятность низкой облачности. Вблизи линии фронта слоисто-разорванные облака могут создавать сплошной облачный слой с нижней границей 50—100 м. В зонах теплых фронтов ночью и утром, особенно в холодную половину года, НГО ниже 100 м встречается примерно в 50% случаев.

При прохождении теплых фронтов и теплых фронтов окклюзии, кроме понижения облачности и обложных осадков, ухудшающих горизонтальную видимость, могут возникать и опасные явления погоды: фронтальные туманы, летом — грозы, зимой — метели, переохлажденный дождь, гололед. Попадание ЛА в зону переохлажденного дождя очень опасно, так как вызывает сильное обледенение с нарастанием льда интенсивностью 3—5 мм/мин.

Оценивая метеорологические условия на холодных фронтах, холодных фронтах окклюзии и вторичных холодных фронтах, главное внимание нужно обращать на возможность встречи с опасными явлениями погоды: сильными шквалами, интенсивной болтанкой, грозой, градом, ливнями, пыльными бурями, а зимой — метелями. На атмосферных фронтах грозы могут возникать не только летом, но и зимой.

Нужно учитывать, что вероятность возникновения опасных явлений погоды и их интенсивность возрастают в дневные часы и при больших контрастах температуры между воздушными массами, разделяемыми фронтом.

### 10.3. Оценка метеорологических условий полетов на больших высотах

Полеты на больших высотах (выше 6000 м) производятся в верхней тропосфере и нижней стратосфере с пересечением переходного слоя — тропопаузы.

При оценке метеорологической обстановки перед полетами нужно использовать синоптические карты, карты барической топографии АТ<sub>400</sub>, АТ<sub>300</sub>, АТ<sub>200</sub>, максимальных ветров и тропопаузы, фото-схемы со спутниковой информацией, а также прогностические карты особых явлений и барической топографии.

Метеорологические условия на больших высотах имеют свои особенности и их нужно учитывать в полете.

Прежде всего нужно проанализировать синоптическую обстановку на воздушной трассе, которая обуславливает метеорологические условия, обратив особое внимание на участки трассы, где придется пересекать атмосферные фронты с грозовой деятельностью. Для этого используют синоптические карты, прогностические карты особых явлений и барической топографии.

При оценке метеорологических условий на эшелоне полета требуется определить наличие облачности, ее верхнюю границу, осо-

бенности ветрового режима, расположение струйных течений, зоны повышенной турбулентности и особенности температурного режима — отклонения фактической температуры от значений в СА.

В верхней тропосфере, как правило, наблюдаются облака кристаллического строения — перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые.

Для определения зон облачности используются данные о дефиците точки росы на картах абсолютной топографии. Верхняя граница облаков обычно наблюдается ниже тропопаузы на 1—1,5 км. Однако в летнее время, особенно в южных районах при развитии интенсивной грозовой деятельности вершины грозовых кучево-дождевых облаков могут пробивать тропопаузу и проникать в стратосферу на 0,5—5 км.

Верхняя граница внутри массовых кучево-дождевых облаков бывает близка к уровню конвекции, определяемому по аэрологической диаграмме.

При полетах по трассам большой протяженности нужно ознакомиться с фотосхемами спутниковой информации. Они наглядно дают представление о полях фронтальной и внутримассовой облачности вдоль трассы.

Направление и скорость ветра на эшелоне на различных участках трассы оцениваются по картам абсолютной топографии. По карте максимальных ветров определяется положение струйных течений.

Для верхней тропосферы и стратосферы характерна ТЯН, которая вызывает болтанку самолетов. Вероятные зоны ТЯН определяются на картах абсолютной топографии по конфигурации изогипс. Они чаще всего располагаются там, где имеется сходимоссть и расходимость изогипс, где изогипсы претерпевают большие искривления (в высотных ложбинах и гребнях), а также на левой (циклонической) стороне струйных течений ниже уровня его оси на 1—1,5 км.

Анализируя температурный режим на высотах, нужно определить отклонения фактической температуры от значений в СА. Это позволит оценить предельно допустимые высоты полета, знание которых необходимо для принятия решения по обходу грозовых кучево-дождевых облаков верхом и по изменению эшелона для выхода из зон повышенной турбулентности, а также для оценки максимальных воздушных скоростей на эшелоне.

Карты тропопаузы позволяют заранее определить участки трассы, на которых полет будет производиться в верхней тропосфере или в стратосфере. Нужно учитывать, что выше тропопаузы тяга двигателей будет более быстро уменьшаться с высотой и набор высоты в стратосфере будет происходить медленнее, чем в тропосфере.

В результате детально проведенной оценки метеорологических условий экипаж ЛА заранее подготовится к встрече с очагами гроз, с зонами повышенной турбулентности и сможет своевременно принять правильное решение по безопасному их обходу.

### II.1. Задачи обеспечения

Задачами метеорологического обеспечения полетов являются обеспечение безопасности, регулярности и экономичности полетов ЛА путем всесторонней информации командного, летного состава и службы движения о фактических и прогнозируемых метеорологических условиях.

Под метеорологической информацией понимаются все виды сведений о текущем и ожидаемом состоянии метеорологических элементов и явлений погоды, а также об их климатических характеристиках.

Метеорологическое обеспечение является одним из видов обеспечения полетов. Метеорологические условия необходимо учитывать на всех этапах планирования, подготовки и осуществления полетов, так как они существенно влияют на безопасность полетов и их регулярность. Анализ летной работы говорит о том, что там, где тщательно учитываются метеорологические условия, менее вероятны летные происшествия и предпосылки к ним из-за погоды. Поэтому документы, регламентирующие полеты, требуют точного выполнения порядка, установленного для метеорологического обеспечения полетов.

Метеорологическое обеспечение ГА осуществляет Государственный комитет гидрометеорологии и контроля природной среды СССР (Госкомгидромет). Он организует метеорологическое обеспечение на основании нормативных документов и несет ответственность за качество этого обеспечения. В Госкомгидромете организует и руководит метеорологическим обеспечением управления метеорологического обеспечения, а на местах — управления Госкомгидромета. Непосредственно метеорологическое обеспечение полетов выполняют оперативные органы, находящиеся в аэропортах.

По организационным и производственным вопросам, связанным с метеорологическим обеспечением ГА, Госкомгидромет взаимодействует с МГА, а управления Госкомгидромета на местах — соответственно с управлениями (летными учебными заведениями) гражданской авиации (УГА). В МГА взаимодействие с Госкомгидрометом возложено на управление движением самолетов, а в УГА — на отдел движения (ОД УГА).

Вопросы, требующие согласования, рассматриваются на заседаниях совместной коллегии МГА и Госкомгидромета. Летные происшествия и предпосылки к ним по метеорологическим условиям расследуются с участием представителей Госкомгидромета, включаемых в состав комиссии приказом МГА (УГА):

Госкомгидромет выполняет следующие основные обязанности в отношении метеорологического обеспечения ГА: разрабатывает и совершенствует формы и порядок метеорологического обеспечения; инструктирует и контролирует работу управлений Госкомгидромета по этим вопросам, а также работу метеоподразделений по непо-

средственному обеспечению полетов; организует выполнение исследований, связанных с разработкой новых и совершенствовани-ем существующих методов авиационных прогнозов погоды, а также с конструированием метеоприборов и установок.

Совместно со своими органами на местах Госкомгидромет открывает новые и реорганизует существующие оперативные подразделения с учетом заявок МГА, комплекзует штаты метеоподразделений, оснащает их приборами, оборудованием, средствами связи и организует обмен информацией между метеоподразделениями, метеобеспечение полетов по международным воздушным трассам, внедряет в практику метеоподразделений новые методы прогнозирования погоды, а также обеспечивает необходимыми аэроклиматическими описаниями, материалами и пособиями, проверяет работу метеоподразделений и т. п.

МГА и его органы на местах предоставляют метеоподразделениям необходимые помещения, выделяют для них соединительные линии с учреждениями Министерства связи СССР и линии внутри аэропортов для передачи метеорологической информации; обеспечивают прием и передачу средствами связи аэропортов метеорологических данных от аэропортов посадки и запасных аэродромов, с которыми метеоподразделения не имеют прямой авиационной связи; обеспечивают установку, охрану дистанционных метеорологических и аэрологических приборов и оборудования; выделяют аппаратуру для записи на магнитофонную ленту метеорологических данных и передачи их по УКВ радиоканалу и обеспечивают ее работу; производят разведку погоды и т. д.

Должностные лица АМСГ или авиационного метеорологического центра (АМЦ) обязаны обеспечивать полное и своевременное выполнение работ по организации и осуществлению метеорологического обеспечения полетов ЛА, обеспечивать командный, летный и диспетчерский состав службы движения аэропорта консультациями, прогнозами погоды, предупреждениями об опасных для авиации метеорологических явлениях, данными о фактической погоде в районе аэропорта, по воздушным трассам, аэропортам посадки и запасным аэродромам, учитывать прерванные рейсы и задержки ЛА по неоправдавшимся прогнозам, разбирать неоправдавшиеся прогнозы погоды и предупреждения, отрицательно сказавшиеся на летной работе, взаимодействовать с руководством аэропорта и авиаотряда по вопросам оперативного метеорологического обеспечения полетов и т. п.

Командиры авиаотрядов, начальники аэропортов и их заместители по движению, работники службы движения обязаны знать порядок метеорологического обеспечения ГА, обеспечивать АМСГ (АМЦ) необходимыми условиями для работы, хорошо знать фактическую и ожидаемую погоду на своем и запасных аэродромах, в районе полетов и по воздушным трассам; обеспечивать своевременную передачу в приписные аэропорты прогнозов погоды, штормовых оповещений и предупреждений и данных о фактическом состоянии погоды; оповещать экипажи, находящиеся в полете, о метеорологи-

ческих условиях, особенно опасных для полетов метеорологических явлениях на воздушных трассах, в зоне набора высоты и снижения, в аэропортах посадки и запасных аэродромах и т. п. Пилоты обязаны перед вылетом тщательно ознакомиться с метеорологическими условиями предстоящего полета, получить необходимую консультацию, знать фактическую и ожидаемую погоду на аэродромах вылета, посадки и запасных аэродромах, в полете непрерывно следить за состоянием погоды и ее изменениями, при необходимости запрашивать у диспетчера метеорологические данные, в том числе об ожидаемых метеоусловиях на воздушной трассе, аэродроме посадки и запасных аэродромах, делать все от них зависящее, чтобы полет был выполнен успешно, без авиационных происшествий.

Полный перечень обязанностей работников оперативных подразделений Госкомгидромета и работников ГА в отношении метеорологического обеспечения полетов излагается в НМО ГА.

Взаимные обязательства Госкомгидромета и МГА определяются генеральным соглашением, которое заключается между ними. Между управлениями Госкомгидромета, с одной стороны, и УГА (летными учебными подразделениями), с другой — заключаются локальные соглашения.

Основными требованиями, предъявляемыми к метеорологическому обеспечению ГА, являются своевременность, полнота и высокое качество.

Своевременность метеорологического обеспечения означает обеспечение командного, летного и диспетчерского состава метеоинформацией точно в установленные сроки, согласно заявкам или в периоды времени, вытекающие из документов, регламентирующих метеорологическое обеспечение. Своевременность обеспечения предусматривает также обеспечение информацией об опасных для авиации метеорологических явлениях для принятия необходимых мер по безопасности полетов и сохранности материальной части на земле. Полнота метеорологического обеспечения состоит в предоставлении должностным лицам метеорологической информации, по объему и содержанию удовлетворяющей требованиям, вытекающим из необходимости оценки и учета метеорологической обстановки на всех этапах планирования и выполнения полета. Высокое качество метеорологического обеспечения заключается в высоких его показателях, характеризующих степень оказания помощи должностным лицам в наиболее полном учете метеорологических условий при планировании, организации и осуществлении различных мероприятий (полетов), в оказании помощи по выполнению регулярных полетов с высокими экономическими показателями без авиационных происшествий и предпосылок к ним по метеорологическим условиям.

Перечисленные требования реализуются в комплексе при осуществлении метеорологического обеспечения оперативными подразделениями Госкомгидромета.

Метеорологическое обеспечение строится исходя из таких сложившихся принципов, как непрерывность, оперативность, эффективность и надежность.

Непрерывность метеорологического обеспечения состоит в непрерывной работе метеорологических подразделений, обеспечивающих авиапредприятия, в их готовности в любое время обеспечить метеорологической информацией командование, летный и диспетчерский состав согласно заявкам и установленному порядку. Оперативность, или своевременность, проявляется в быстром осуществлении всех работ и мероприятий, связанных с метеорологическим обеспечением. Эффективность метеорологического обеспечения состоит в его результативности, в конкретной помощи командованию, летному и диспетчерскому составу в выполнении планов полетов (расписания движения ЛА) в метеорологическом отношении. Надежность метеорологического обеспечения — степень безотказности в работе. Она достигается всей совокупностью информационной, прогностической и организационной работы метеорологических подразделений.

### 11.2. Оперативные органы Госкомгидромета, осуществляющие метеорологическое обеспечение ГА

Оперативными органами Госкомгидромета, осуществляющими непосредственно метеорологическое обеспечение ГА в аэропортах, являются: Московский главный авиаметеорологический центр (МГАМЦ), зональные авиаметеорологические центры (ЗАМЦ), авиаметеорологические центры (АМЦ), авиаметеорологические станции (АМСГ) I—IV разрядов, оперативные группы (ОГ) и авиационные метеорологические посты (АМП) — рис. 11.1. Эти органы в оперативном отношении подчиняются соответственно начальникам УГА, командирам авиапредприятий, авиаподразделений, начальникам аэропортов (заместителям начальников аэропортов по движению).

МГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ, АМСГ I—III разрядов и ОГ обеспечивают метеорологической информацией командный, летный и диспетчерский состав службы движения ГА, а АМСГ IV разряда — только данными о фактической погоде, прогнозами погоды и штормовыми предупреждениями, получаемыми от прогностических органов, к которым они прикреплены. АМП наблюдают за фактической погодой, обеспечивают этими данными начальников аэропортов и передают метеорологические данные по проводным средствам связи ГА в базовый аэропорт.

Оперативные органы Госкомгидромета осуществляют непосредственное обеспечение производственных авиаобъединений, объединенных авиационных отрядов (ОАО) и эскадрилий (ОАЭ) и несут ответственность за своевременное и высококачественное метеорологическое обеспечение полетов ЛА, правильность оформления метеорологической документации для экипажей, качество метеорологических наблюдений и своевременность передачи этих сведений на диспетчерские пункты службы движения аэропортов и узел связи, исправность и четкость функционирования метеоприборов, устано-



вещений о возникновении опасных для авиации явлений погоды и предупреждений о возможности их появления на аэродроме (например, на взлетной полосе, в районе полета); сведений о бортовой погоде и результатов разведки погоды; прогнозов погоды и консультаций и др.

Технические средства метеослужбы (ТСМ) включают в себя измерительно-информационную аппаратуру метеорологического назначения, средства факсимильной радиотелеграфной и телеграфной связи, а также технические установки и системы, находящиеся в оперативных органах Госкомгидромета. Для сбора и распространения метеорологической информации используются средства прямой аэродромной связи (СПАС), каналы связи МГА или арендованные радио- и проводные средства связи Министерства связи.

Для бесперебойной и четкой работы необходимо, чтобы ТСМ постоянно находились и поддерживались в эксплуатационной готовности, а эксплуатация их была технически правильной.

### 11.3. Метеорологическая информация для обеспечения полетов

**Источники метеоинформации.** Основу метеоинформации составляют наблюдения и инструментальные измерения. Командный, летный и диспетчерский составы обеспечиваются сведениями о текущей метеорологической обстановке и прогнозами — в основном обработанными или переработанными результатами наблюдений и измерений метеорологических элементов и явлений.

Главными источниками текущей метеоинформации, необходимой для обеспечения полетов, являются наземная союзная и ведомственная метеорологическая сеть, сеть международного обмена, сеть автоматических станций, средства разведки погоды, метеорологическая космическая система (МКС), средства метеорологических и аэрологических наблюдений в аэропортах.

Текущая метеоинформация в картографированном виде, в виде сводок и т. п. используется для разработки прогнозов погоды.

Авиационно-климатические данные получают на основе климатических справочников, метеорологических ежегодников, обобщенных метеорологических таблиц и других климатических материалов.

**Метеоинформация, получаемая от наземной метеорологической сети,** является основной для метеорологического обеспечения ГА. Наземная метеорологическая сеть состоит из союзной метеорологической сети (сети станций Госкомгидромета), ведомственной сети (сети метеостанций авиации различных ведомств), сети станций международного обмена (зарубежных метеостанций). Большое значение среди станций имеют синоптические (гидрометеорологические), сведения от которых используются при составлении синоптических карт, являющихся основой прогностической работы оперативных подразделений Госкомгидромета.

Важным положительным качеством наземной союзной и ведомственной сети станций является высокая точность производимых на них измерений различных метеорологических элементов и явлений. Используя взаимный обмен метеоинформацией, метеоподразделения располагают данными, необходимыми для обеспечения безопасности полетов.

Вместе с тем наземной сети присущи и принципиальные недостатки. Получаемая от сети метеоинформация пространственно дискретна, т. е. характеризует состояние погоды в пункте наблюдения и сравнительно небольшом его районе, а для авиации необходимы непрерывные данные, характеризующие метеорологические элементы и явления в любой точке интересующего пространства — на аэродромах взлета и посадки, на воздушных трассах (маршрутах) и в районах полетов. Кроме того, эта информация отсутствует из некоторых значительных, нередко важных районов и территорий.

**Метеоинформация, получаемая от сети международного обмена,** обладает качествами, аналогичными качествам информации наземной союзной сети.

Но и с помощью этой сети невозможно получить метеоинформацию из всех районов Земли, над которыми пролегают воздушные трассы, поскольку примерно 73% площади нашей планеты покрыто морями и океанами, откуда метеоинформация практически не поступает. Да и на остальных 27% территории огромные районы заняты горами, пустынями, тайгой, джунглями, где метеостанции очень редки или же их нет совсем.

Основываясь только на метеоинформации с наземной метеорологической сети, невозможно обеспечить все полеты, особенно полеты по международным воздушным трассам и полеты СТС.

**Метеоинформация, получаемая от автоматических метеостанций.** Для получения метеоинформации из труднодоступных районов используются автоматические метеорологические и гидрометеорологические станции. В настоящее время разработано и эксплуатируется несколько типов такого рода станций. Например, в Арктике на дрейфующих льдах устанавливаются специальные автоматические станции. Они 4 раза в сутки передают сведения об основных метеорологических элементах и явлениях. С помощью установленных на побережье пеленгаторов определяются координаты станций. Имеются морские и океанические гидрометеорологические автоматические станции. Метеоинформация, получаемая с помощью автоматических станций, частично восполняет недостатки наземной метеосети. Но эти станции не определяют ряда метеорологических элементов (например, количество облаков, их форму).

В аэропортах метеорологические наблюдения производятся ежечасно (при полетах — через 30 мин, а при определенных метеорологических условиях через 15 мин и даже более короткие промежутки времени). В перспективе обновление сведений о фактической погоде должно быть еще чаще. Кроме того, эта информация через короткие интервалы времени должна поступать в автоматизированные системы управления воздушным движением. Для

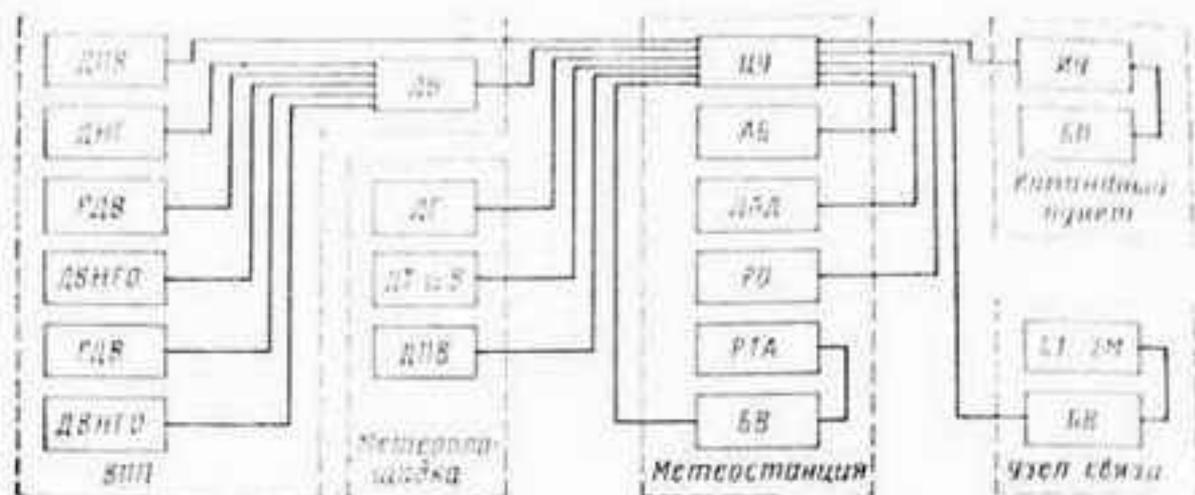


Рис. 11.2. Типовая схема размещения КРАМС в аэропорту:

ДПВ — датчик параметров ветра; ДБ — дистанционный блок; ДНГ — датчик наличия гололеда; РДВ — регистратор дальности видимости (устанавливается на каждом старте); ДВНГО — датчик высоты нижней границы облаков (устанавливается на каждом старте); ДГ — датчик грозы; ДТ и В — датчик температуры и влажности; ЦУ — центральное управляюще-вычислительное устройство; АБ — аккумуляторные батареи; ДПД — датчик атмосферного давления; РД — речевой ответчик; РТА — рулонно-телеграфный аппарат; БВ — блок вызова; ИУ — индикаторное устройство; БП — блок питания; СТ-2М — телеграфный аппарат данной марки

аэродромных наблюдений разработаны специальные станции. Такой станцией является, например, КРАМС, служащая для автоматического измерения и регистрации по заданной программе метеорологических параметров и выдачи результатов измерений непосредственно на цифровые индикаторные устройства диспетчеру (руководителю полетов) и другим потребителям. КРАМС может распространять метеоинформацию по проводным каналам связи в форме кодированных телеграмм и в виде речевых метеорологических справок. Станция автоматически измеряет и вычисляет около 20 метеорологических параметров. Различные режимы его работы рассчитаны на проведение наблюдений через 0,5, 1 и 3 ч, а при необходимости — через 5 и 10 мин.

Если в районе аэродрома возникают некоторые опасные для полетов метеорологические явления (например, низкая облачность, ограниченная видимость, сильный ветер, гололед на ВПП), КРАМС автоматически формирует и выдает на узел связи телеграмму «Шторм» и соответствующие данные на индикаторные устройства, а также одновременно на речевой ответчик. Типовая схема размещения КРАМС в аэропорту приведена на рис. 11.2.

КРАМС, как и другие автоматические станции, в настоящее время не может автоматически определять такие метеорологические явления, как туман, снег, а также определять количество, форму облаков, их ярусность и т. п. Поэтому предусмотрена возможность ручного ввода, автоматической передачи и включение данных об этих параметрах в состав телеграмм.

**Метеоинформация, получаемая с помощью разведки погоды.** Разведка погоды является важным средством получения метеоинформации, необходимой для обеспечения безопасности полетов. Она

может осуществляться с помощью самолетов (воздушная разведка погоды), радиолокаторов (радиолокационная разведка погоды), путем пеленгования атмосфериков, запусков дрейфующих аэростатов.

Наиболее широко используются воздушная и радиолокационная разведки погоды.

Воздушная разведка погоды в ГА проводится для определения возможности полетов по ПВП при сложной, неустойчивой метеорологической обстановке. Решение на разведку погоды принимает командир авиапредприятия (авиаподразделения). Для разведки погоды используются самолеты без пассажиров на борту. К участию в полетах на разведку погоды привлекаются синоптики АМСГ, оформляемые в порядке, установленном в МГА. В ряде случаев данные разведки погоды являются основным материалом для изучения метеообстановки, оценки метеорологических условий полетов и принятия решения на их проведение.

Командир авиапредприятия (авиаподразделения) принимает решение на разведку погоды с учетом метеорологической обстановки, докладываемой начальником АМСГ (дежурным синоптиком). При выдаче задания на разведку погоды командиру экипажа указывают маршрут, профиль и режим полета, время и продолжительность полета, радиоданные для связи, запасные аэродромы и их минимумы, сроки и способы передачи результатов разведки погоды, метеорологические явления, на которые необходимо обратить особое внимание в полете, условия погоды, при встрече с которыми следует прекратить выполнение задания.

Осуществление разведки погоды сложное и ответственное дело. Ее проведение поручается наиболее опытным пилотам и штурманам, имеющим достаточный опыт полетов в сложных метеорологических условиях и умеющим правильно оценивать метеорологическую обстановку в полете. Наблюдения за состоянием погоды в полете должны выполняться со строгим соблюдением мер безопасности.

При воздушной разведке погоды получают подробную информацию о вертикальной структуре облаков, о видимости под облаками, о метеорологических явлениях, ухудшающих видимость, о наличии опасных для полетов явлениях, их интенсивности и т. п. Сведения о погоде получают, проводя наблюдения при выполнении рейсов. Они позволяют полнее оценить метеоусловия полетов в районе аэродрома, по воздушной трассе (району полета), при заходе на посадку. Ценную метеоинформацию, требующуюся для обеспечения безопасности и регулярности полетов, можно получить с помощью радиолокаторов.

Основными метеорологическими объектами наблюдений в данном случае являются мощные кучевые и кучево-дождевые облака, ливни и грозы. Наблюдения могут вестись как с помощью МРЛ, так и радиолокационными станциями оперативного назначения. Некоторые МРЛ дают возможность наблюдать облака всех ярусов.

МРЛ в радиусе до 300 км позволяют определить местоположение, вертикальные и горизонтальные размеры, направление и скорость перемещения мощных кучевых и кучево-дождевых (грозовых) облаков. Кроме того, МРЛ дает возможность в радиусе до 100 км определять осадки различной интенсивности (в том числе ливни, град). С помощью МРЛ определяется эволюция развития облаков и осадков, измеряется высота нулевой изотермы в слоисто-дождевых облаках и вертикальная мощность их переохлажденной части, что важно для диагноза и прогноза обледенения ЛА и др. Радиолокационная информация, получаемая в результате наблюдений с помощью МРЛ, оформляется на радиолокационных картах, один из экземпляров которого передается на КПД для использования при оценке метеорологических условий полетов и обеспечения их безопасности.

Радиолокационные станции оперативного назначения (в частности, используемые для управления воздушным движением) позволяют обнаруживать мощные кучевые и кучево-дождевые облака и зоны ливневых осадков, определять их местоположение, размеры, направление и скорость перемещения, ориентировочную интенсивность и тенденцию развития, а при определенном опыте — отличать изображения кучево-дождевых облаков с грозами от облаков без гроз.

Очень ценную метеоинформацию для обеспечения безопасности полетов можно получить с помощью бортовых радиолокаторов. Использование бортовых радиолокаторов для оценки метеоусловий полетов — один из важных залогов успешных полетов в зонах грозовой деятельности.

Метеоинформация, получаемая с помощью станции пеленгования атмосфериков и автоматических аэростатов, является эпизодической. Ею располагают в основном центральные метеоподразделения. Наблюдения за атмосфериками ведутся с помощью угломерных и других радиотехнических систем.

По данным наблюдений определяется местоположение отдельных вспышек молний, координаты грозовых очагов, их размеры, приблизительные очертания и интенсивность. Собрав наблюдения за несколько сеансов, можно определить направление и скорость перемещения гроз.

Эта дополнительная информация о грозовой деятельности является существенной, особенно для территорий, слабо освещенных другими средствами получения метеоинформации.

Автоматические аэростаты (транзонды) — специальные аэростаты, с помощью которых ведется разведка погоды на траектории их полета. К оболочке аэростата на специальной подвеске прикрепляется аппаратура для проведения метеорологических наблюдений и слежения за его полетом. С помощью радиотехнических средств следят за полетом аэростата и получают данные метеонаблюдений. Аэростат увлекается воздушным потоком и летит на расчетной высоте с периодическими (ото дня к ночи и

от суток к суткам) и неперiodическими колебаниями. Аэростаты очень удобны для горизонтального зондирования, они удерживаются в воздухе по несколько суток и проходят большие расстояния.

Метеорологическая информация, получаемая с помощью автоматических аэростатов, особенно ценна при обеспечении дальних полетов.

**Метеоинформация, получаемая с помощью метеорологической космической системы (МКС).** Советская метеорологическая космическая система «Метеор» — комплексная система, включающая в себя ИСЗ, системы выведения их на орбиты, пункты приема и обработки данных, получаемых со спутников, службы контроля состояния бортовых систем и управления ими. Создание МКС представляет собой одно из крупных научно-технических достижений нашей страны.

Метеорологические спутники, входящие в МКС, осуществляют в настоящее время полеты на орбитах с высотами около 900 км. Форма орбит почти круговая, что не требует внесения поправок в данные о высотах с разных точек орбиты. Орбиты близки к полярным.

Полярная орбита удобна потому, что территория СССР в основном расположена в средних и высоких широтах и ее можно просматривать (в зависимости от ширины полосы обзора) с каждого витка спутника. Период обращения спутника при указанной высоте орбиты равен 103 мин. При высоте орбиты около 1500 км он увеличивается до 2 ч.

На спутнике установлена телевизионная, инфракрасная и актинометрическая аппаратура (рис. 11.3).

Телевизионная аппаратура чувствительна к потоку радиации в видимом участке спектра. С ее помощью производится покадровая съемка облачности и подстилающей поверхности вдоль трассы полета спутника. Ширина полосы обзора около 1000 км при высоте орбиты около 630 км. Разрешающая способность аппаратуры по вертикали от спутника на земную поверхность (в надире) равна  $1,25 \times 1,25$  км и  $2 \times 2$  км на краях полосы обзора. При высоте орбиты 900 км — разрешение в надире  $1,75 \times 1,75$  км. Телевизионная аппаратура позволяет получить информацию только с освещенной стороны Земли.

Инфракрасная аппаратура фиксирует поток радиации в инфракрасном участке спектра. С ее помощью производятся наблюдения также за облачностью и состоянием поверхности Земли. Данная аппаратура измеряет тепловое излучение, не задерживаемое атмосферой (в так называемом «окне прозрачности атмосферы») с длинами волн 8—12 мкм. Облака на фоне земной поверхности обнаруживаются по меньшим величинам уходящего излучения.

Инфракрасная аппаратура непрерывно «просматривает» участок за участком в заданной полосе обзора. Это достигается использованием узконаправленного (с телесным углом  $1,5^\circ$ ) прием-

ного устройства, сканирующего в плоскости, перпендикулярной к направлению движения ИСЗ. Ширина полосы обзора при высоте орбиты 630 км равна около 1100 км. Пространственное разрешение (разрешение по площади) инфракрасной аппаратуры при указанном вышеле телесном угле и ширине полосы обзора составляет  $15 \times 15$  км, при высоте орбиты 900 км —  $25 \times 25$  км. С помощью этой аппаратуры производится наблюдения на теневой и освещенной стороне Земли.

Актинометрическая аппаратура измеряет уходящий поток лучистой энергии в трех диапазонах длин волн: 0,3—8; 8—12 и 3—30 мкм.

Данные наблюдений используются главным образом в научных целях для исследования энергетического баланса «Земля — атмосфера».

Спутники могут работать в двух основных режимах: запоминания и непосредственной передачи.

Для работы в режиме запоминания на борту спутника имеется устройство, считывающее полученную информацию электронным способом. Результаты наблюдений записываются на магнитную ленту для последующей их передачи на Землю. При пролете ИСЗ в зоне прямой радиовидимости наземной станции по команде с нее производится скоростной сброс накопленной информации и прием ее на наземной станции. Режим запоминания удобен тем, что позволяет получить информацию с отдельных территорий, находящихся



Рис. 11.3. Устройство метеорологического спутника «Метеор»:

1 — панели солнечных батарей; 2, 3 — приборные отсеки; 4 — телевизионная аппаратура; 5 — актинометрическая аппаратура; 6 — инфракрасная аппаратура

ея вне поля прямой радиовидимости приемной станции. Существенный недостаток этого режима работы состоит в запаздывании информации, поскольку прием возможен лишь на командных станциях и пунктах, созданных для этой цели. На обработку, предоставление в соответствующем виде и передачу информации уходит несколько часов.

При работе в режиме непосредственной передачи наряду с запоминанием происходит автоматическая передача телевизионных изображений в эфир. По мере проведения наблюдений сразу же осуществляется передача их результатов. Данный режим работы обеспечивает получение информации с ИСЗ в любом месте Земли, где для этого имеется специальная приемная аппаратура. В этом случае информация почти не запаздывает. Некоторое время затрачивается лишь на проявление, просушку фотопленок и изготовление фотографий.

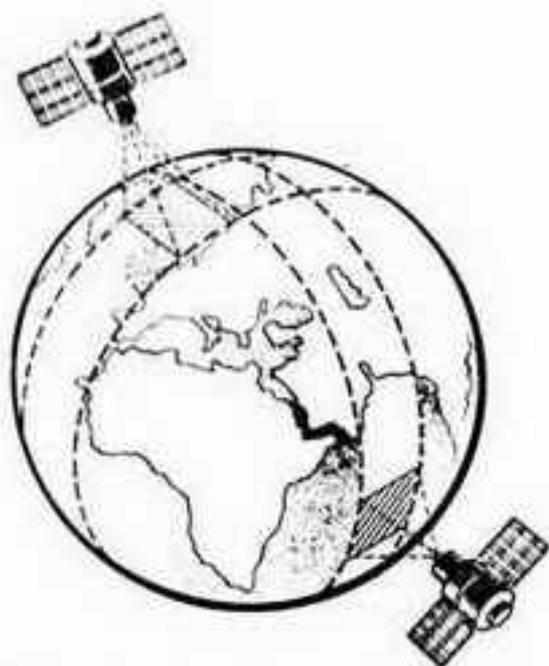


Рис. 11.4. Взаимное расположение метеорологических спутников «Метеор» на орбитах

В МКС «Метеор» на орбите одновременно находятся два спутника. Плоскости их орбит смещены примерно на  $95^\circ$  (рис. 11.4), что позволяет проводить наблюдения за состоянием атмосферы над каждым районом земного шара через 6 ч. За один оборот вокруг Земли каждый из спутников дает возможность получить информацию об облачности с территории около 8% поверхности нашей планеты, а информацию о радиационных потоках — примерно с 20% поверхности Земли.

От двух спутников за сутки поступает информация почти с половины поверхности земного шара. Это позволяет Госкомгидромету иметь метеоинформацию из разных, в том числе отдаленных и труднодоступных районов планеты и использовать ее для обеспечения различных отраслей народного хозяйства.

Принципиальная схема сбора и распространения информации со спутников МКС «Метеор» приведена на рис. 11.5.

Прием, обработка спутниковой метеоинформации и формы ее представления. Аппаратура, установленная в настоящее время на метеоспутниках, является обзорной и обзорно-измерительной. Она пассивно отражает полученную с поверхности Земли и из атмосферы информацию. Метеорологические сведения о состоянии атмосферы получают, анализируя данные, принятые со спутника, уже на Земле после их предварительной обработки, которая осуществляется с помощью ЭВМ.

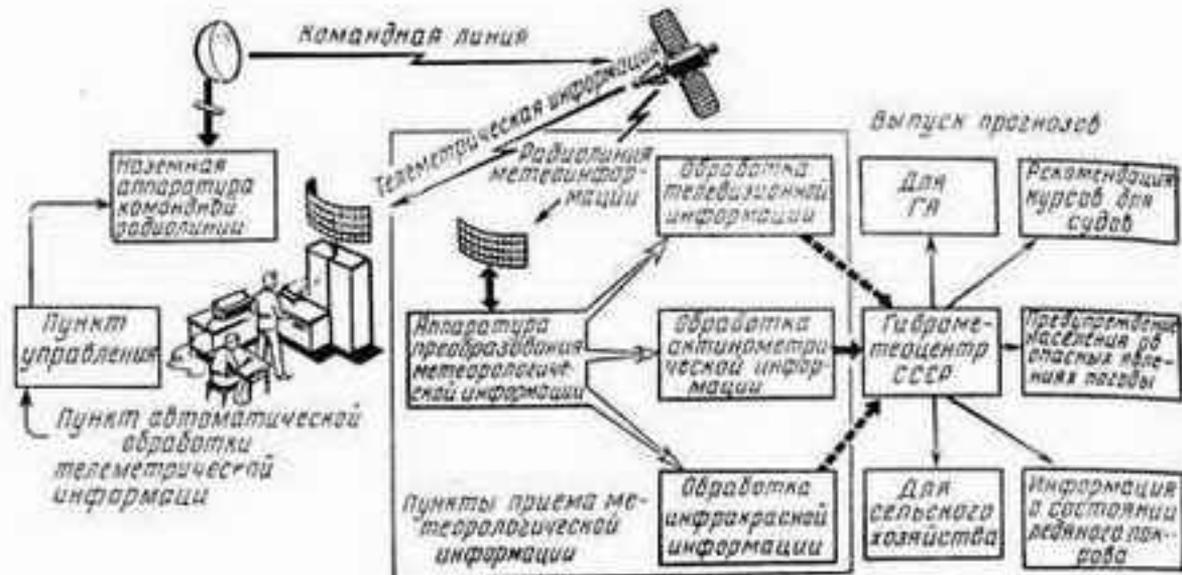


Рис. 11.5. Схема сбора и распространения информации со спутников системы «Метеор»

Порядок получения телевизионной информации со спутников следующий. Глобальные данные об облачности с ИСЗ, работающих в режиме запоминания, принимаются в Гидрометцентре СССР (ГМЦ) и региональных метеоцентрах (Новосибирск, Хабаровск), оборудованных для этого специальными командными и приемными станциями. В местных центрах (бюро погоды), в том числе в ЗАМЦ производится прием телевизионных снимков, освещающих лишь территорию, ограниченную зоной прямой радиовидимости ИСЗ. Информация об облачности с большой территории, требующая АМСГ для обеспечения дальних полетов, может быть получена из ГМЦ по факсимильным каналам связи.

Рассмотрим прием и обработку спутниковой телевизионной информации на примере МГАМЦ. Непосредственный прием спутниковых данных производится в специальных приемных центрах. Отсюда по кабельным линиям связи телевизионные данные поступают в метеоцентры, где с помощью специальной аппаратуры фиксируются на фотопленке и обрабатываются в фотолаборатории. Из нее готовые снимки поступают к метеорологам-дешифраторам. Они производят географическую привязку изображений к местности; составляют монтажи спутниковых фотографий; дешифруют снимки (обозначают заснятые объекты и выявляют их особенности); наносят условные обозначения, облегчающие синоптикам использование фотомонтажей для консультации экипажей. Возникающие на снимках перспективные искажения, обусловленные кривизной Земли, устраняются трансформацией снимков. Данная операция в ГМЦ СССР производится электронным способом. В МГАМЦ и ЗАМЦ пока используют нетрансформированные снимки, что снижает точность географических снимков до  $\pm 100$  км.

После всех проделанных операций в МГАМЦ с фотомонтажа изготавливаются различные репродукции в зависимости от направле-

ния воздушных трасс. Репродукции размножаются и передаются в филиалы МГАМЦ для оперативного использования при обеспечении полетов.

Спутниковая информация представляется в трех основных формах: фотомонтажей, карт нефанализа и фотосхем нефанализа.

Фотомонтажи являются первичным и наиболее информативным и ценным видом данных ИСЗ об облачности. По ним наиболее точно можно определить количество и форму облаков, ее структуру, особенности расположения облачных полос и т. п.

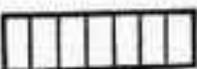
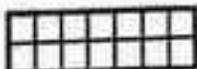
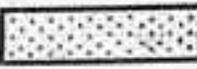
Карты нефанализа представляют собой схемы телевизионных и инфракрасных снимков облачности, детали изображений которой с помощью условных обозначений и с учетом масштаба нанесены на бланк-карты.

### Основные условные обозначения на картах нефанализа

#### Форма облаков



#### Количество облаков

<b>ЯСНО</b>	Ясно	Покрыто облаками 20% площади	
<b>НБЛ</b>	Облачность: небольшая	То же, 20—50% площади	
<b>ЗНЧ</b>	значительная	То же, 50—80% площади	
<b>С</b>	сплошная	То же, 80% площади	

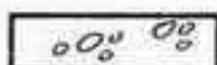
Ледяные поля, границы облачности, снега и льда



Припай



Граница главных облачных систем



Ледяные поля (сплошность 3—7 баллов)



Граница облаков четкая



Ледяные поля (сплошность 8—10 баллов)



Граница облаков нечеткая



Трещины, каналы



Граница льда

**ЛЕД**

Лед без уточнения балльности



Граница снега

Структура и синоптическая интерпретация



Центр сходимости облачных спиралей (центр или фокус облачного вихря)



Отчетливые полосы



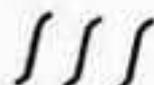
Центр сходимости облачных спиралей (в поле кучевообразных облаков)



Полосы короткие, прерывистые



Облачная спираль в виде запятой



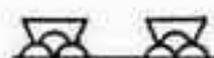
Волнообразные облака



Полосы кучевообразных облаков



Предполагаемое положение оси струйного течения



Полосы кучево-дождевых облаков



Направление полос в перистых облаках, сдвинутых относительно кучево-дождевого облака



Полосы слоистообразных облаков

+  
-

Плотные облака  
Тонкие облака



Полосы перистообразных облаков

**ВЗК**

Внутритропическая зона конвергенции

**ЗХР**

Мезомасштабное спиральное облако (завихрение)

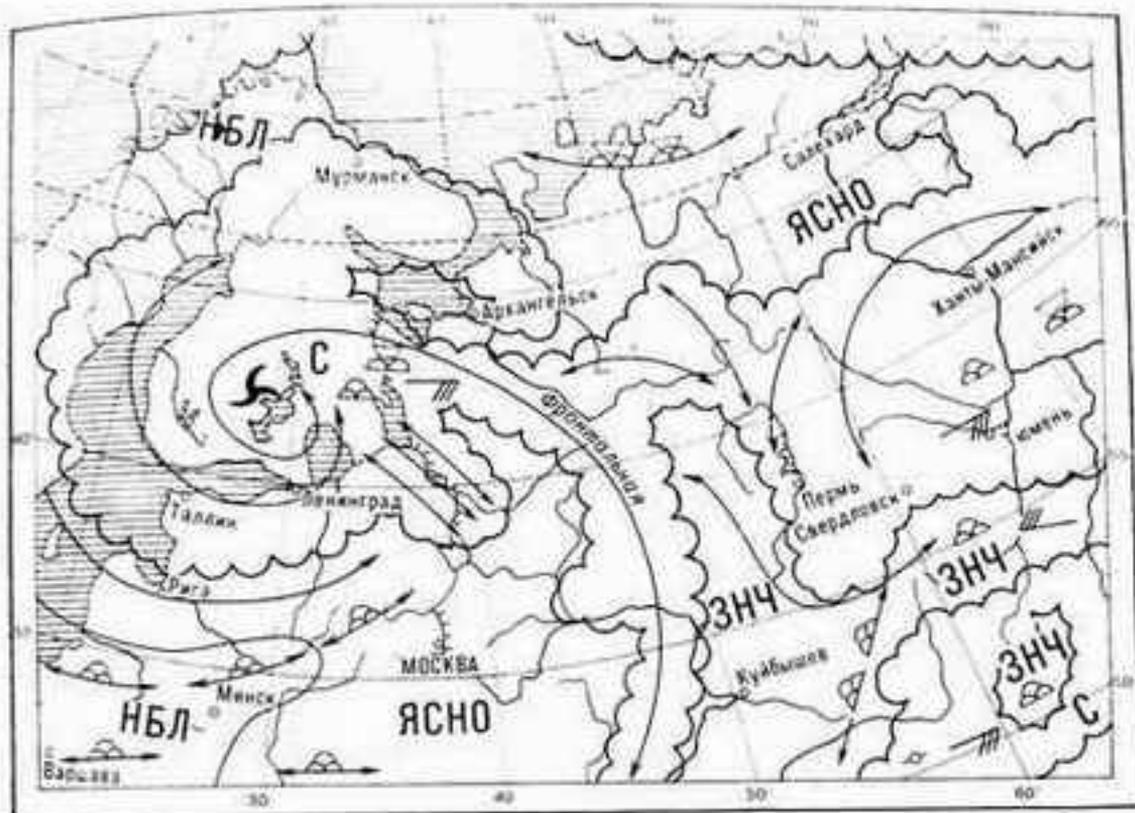


Рис. 11.6. Пример карты нефанализа

На карты нефанализа наносятся: географическая сетка, границы районов со сплошной (8—10 баллов), значительной (5—8 баллов) облачностью, малооблачной (2—5 баллов) и ясной (0—2 балла) погодой.

В пределах облачного массива обозначают основные формы облаков (слоистообразные, кучевообразные и перистые) и указываются ориентация облачных полей и спирали, а также центры облачных вихрей. На картах нефанализа выделяются также районы со снежным и ледовым покровом.

Карты нефанализа, таким образом, содержат весьма обобщенную схематическую характеристику облачных полей (рис. 11.6). Они поступают в АМСГ спустя 6—8 ч (а иногда и позже) после снятия информации метеорологическим спутником. Вместе с тем информация, передаваемая в виде карт нефанализа, обладает и важным достоинством. Она общедоступна, передача ее при необходимости может вестись с помощью цифровых кодов. Естественно, в последнем случае первичная информация обедняется.

Фотосхемы нефанализа передаются ГМЦ с помощью факсимильной аппаратуры в виде проанализированного фотомонтажа 2—4 снимков с одной орбиты спутника. На эти схемы наносятся географическая сетка, границы облачности с обозначением основных ее форм и центров облачных вихрей, выделяются районы безоблачной погоды и области со снежным и ледовым покровом. Фотосхемы являются промежуточной формой представле-

ния данных об облачности между фотомонтажами (фотоснимками) и картами нефанализа. Она возникла потому, что при передаче и приеме по современным факсимильным аппаратам значительно теряется информативность из-за сглаживания полутонов яркости.

**Использование информации.** Метеорологическая информация, получаемая с помощью ИСЗ, обладает такими важными качествами, как глобальность, пространственная непрерывность, возможность получения данных в любой точке земного шара, отсутствие необходимости дополнительных средств для сбора и ретрансляции информации в крупные метеорологические центры. Поэтому спутниковая информация все шире используется при метеорологическом обеспечении ГА. Она применяется для анализа синоптических процессов, для штормового оповещения и предупреждения, при обеспечении дальних полетов на воздушных трассах, проходящих над экваторией морей и океанов и вообще над пустынными районами, для получения информации о характере поля ветра и других целей.

Успешность авиационного прогнозирования погоды и оценки метеобстановки полетов находится в прямой зависимости от качества синоптического анализа. Спутниковая информация непрерывна в отличие от дискретной, получаемой с сети наземных станций. Она позволяет анализировать облачность в целых барических системах и по характеру облаков судить о состоянии этих систем. С помощью ее можно определить вихревую структуру облаков и стадию развития циклона, положение центра циклона в зависимости от положения центра облачного вихря, облачность атмосферных фронтов, грядовую и ячеистую структуру облаков, характер вертикальной устойчивости воздушных масс (по характеру облачности в них), положение струйных течений.

Спутниковые данные особенно ценны для анализа атмосферных процессов над районами, слабо или совершенно неосвещенными в метеорологическом отношении (например, пустынные, горные, океаны). Для районов с развитой сетью наземных метеостанций спутниковые данные являются дополнительным средством синоптического анализа, позволяющим выявить ряд важных деталей и характеристик состояния атмосферы.

Спутниковые фотографии тропических циклонов, смещающихся с водной поверхности на острова и континенты, широко используются для штормовых оповещений и предупреждений. Эти фотографии очень нужны при обеспечении полетов по воздушным трассам, пролегающим над территориями, не освещенными наземной метеосетью. Они помогают более правильно наметить возможный обходной маршрут полета, поскольку большая вертикальная протяженность облаков тропического циклона зачастую не дает возможности сделать обход сверху.

Детальный анализ спутниковой информации об атмосферных фронтах, особенно холодных фронтов над сушей в летнее время, позволяет успешнее разрабатывать штормовые предупреждения о ливнях и грозах.

По спутниковым фотографиям можно выявить некоторые местные ухудшения метеоусловий полетов, например интенсивную турбулентность над горами. Она определяется по волнистым облакам, достаточно отчетливо видимым на снимках. Такие облака возникают в тех случаях, когда воздушный поток направлен перпендикулярно к горному хребту и имеет скорость порядка 10 м/с и более.

Спутниковые данные помогают полнее оценить метеорологические условия полета. Вид облаков на фотографиях, их количество, форма, особенности ориентации облачных скоплений и полос, яркость облачных «пятен» на окружающем фоне позволяют судить об интенсивности вертикальных движений в облаках, о степени турбулентности в них. Они косвенно помогают оценить водность облаков, а при информации о распределении температуры с высотой — и о возможности обледенения в облаках. По фотографиям можно с большой вероятностью определить, например, очаги ливней и гроз. По характеру облаков можно оценить поле ветра, особенно зоны струйных течений.

Над пустынными районами, где бывают пыльные бури, по туманообразной пелене, покрывающей соответствующую территорию, можно судить о наличии пыльных бурь и их интенсивности.

В высоких широтах по спутниковым фотографиям определяется граница льдов (иногда — припая), наличие широких разводий (в пределах способности аппаратуры спутника).

Применяя специальную методику, по вихревой структуре облачности циклона, можно рассчитать направление и скорость ветра, а также интенсивность вертикальных движений в циклоне.

Вместе с тем в настоящее время с помощью спутников нельзя производить с необходимой точностью измерения ряда метеорологических элементов, требующихся для обеспечения ГА. Спутниковые данные не являются универсальными и не могут заменить метеорологические наблюдения, ведущиеся в аэропортах, в особенности измерения высоты нижней границы облаков и видимости. Главная особенность и достоинство спутников состоит в том, что с их помощью может быть получена из любого района планеты метеорологическая информация, недоступная для перечислявшихся выше средств.

#### 11.4. Метеорологические и аэрологические наблюдения в аэропортах ГА

Оперативные органы Госкомгидромета в аэропортах для обеспечения полетов ведут метеорологические и аэрологические наблюдения, порядок осуществления которых определяется НМО ГА. В аэропорту, где установлены системы посадки, наблюдения за погодой осуществляются с наблюдательного пункта, организуемого в районе рабочего старта (стартового диспетчерского пункта — СДП). Здесь на оборудованной метеорологическими приборами площадке производятся наблюдения за количеством и формой об-

даков, высотой их нижней границы (вертикальной видимостью), горизонтальной видимостью, метеорологическими явлениями, направлением и скоростью ветра, атмосферным давлением, температурой и влажностью воздуха, закрытием гор и искусственных препятствий, расположенных вблизи аэродрома и осложняющих взлет и посадку ЛА. В аэропортах, где нет системы посадки, наблюдения за погодой производятся вблизи командно-диспетчерского пункта (КДП). Место для наблюдений должно обеспечивать хороший обзор летного поля и подходов к нему, позволяющий наиболее полно определить метеоусловия на аэродроме.

Кроме основных наблюдений на СДП, на аэродромах, оборудованных системами посадки, организуются дополнительные наблюдения за высотой НГО (вертикальной видимостью), горизонтальной видимостью и опасными метеорологическими явлениями в районе БПРМ. Исключение составляют те аэродромы, на которых низший минимум по высоте облаков превышает 200 м. В этом случае наблюдения за погодой на БПРМ не проводятся.

Для получения достоверной информации о погоде наблюдения за всеми ее изменениями ведутся непрерывно. Однако в определенные установленные сроки проводится полный комплекс наблюдений за всеми метеорологическими элементами (или частью из них). Например, в период полетов метеорологические наблюдения производят через каждые 30 мин, при отсутствии полетов — ежечасно. При значениях высоты НГО или горизонтальной видимости, близких к минимуму, установленному на данном аэродроме, а также при значениях скорости ветра (с учетом направления), близкой к предельно допустимой для взлета и посадки ЛА, в период полетов производятся дополнительные наблюдения за этими элементами через каждые 15 мин (учащенные наблюдения).

Критерий значений указанных метеорологических элементов, при которых производятся наблюдения на БПРМ, а также учащенные наблюдения-устанавливаются НМО ГА.

В каждом аэропорту должностными лицами АМСГ (АМЦ) и аэропорта составляется порядок производства метеонаблюдений на данном аэродроме и доведения метеоинформации до работников службы движения с учетом конкретных условий аэропорта.

При необходимости уточнить метеорологические условия на аэродроме по запросу диспетчера службы движения метеорологические наблюдения производятся в любое время за всеми или отдельными метеоэлементами. В частности, в соответствии с правилами, принятыми для обеспечения полетов ГА, при взлете или посадке ЛА в сложных метеорологических условиях диспетчер службы движения обязан уточнить значения высоты НГО и видимости. Полученные от метеонаблюдателя уточненные данные передаются экипажу перед посадкой (при подходе ЛА к четвертому развороту) и перед взлетом (на предварительном старте).

Данные о фактической погоде экипажи ЛА получают, прослушивая циркулярные передачи специальных радиоканалов метеорологической информации: УКВ (погода своего аэродрома)

и КВ (погода и прогнозы нескольких аэродромов). Кроме того, получение данных о погоде может производиться по запросу экипажа непосредственно через диспетчера службы движения.

Диспетчерам службы движения сведения о погоде передаются по различным видам связи: громкоговорящей (ГГС), телевизионной, телетайпной, телефонной и др. При наличии на аэродроме возможности передачи метеоинформации по УКВ каналу на диспетчерских пунктах службы движения организуются ее прослушивания.

Наиболее удобным и наглядным для оперативного использования является способ передачи метеорологических данных на специальные информационные табло, устанавливаемые на рабочих местах диспетчеров.

Объем сведений о погоде, передаваемых по УКВ и КВ каналам, определяется НМО ГА. По УКВ каналу метеоинформации передаются сведения о количестве, форме облаков, высоте их нижней границы (вертикальной видимости), метеорологических явлениях, горизонтальной видимости и видимости ОВИ, направлении и скорости ветра у земли и на высоте круга, атмосферном давлении на уровне рабочего старта, температуре воздуха, закрытии гор, мачт и других высоких сооружений, находящихся около аэродрома. Кроме этого, передаются прогноз погоды на ближайший час (при сложных метеоусловиях), значение коэффициента сцепления, состояние ВПП и курс посадки.

Официальными данными о погоде на аэродроме, по которым принимается решение на взлет и посадку ЛА, являются данные наблюдений, полученные с АМСГ.

Если высота НГО измеряется на БПРМ, в сведения о погоде включаются данные этих наблюдений.

При одновременных наблюдениях за видимостью со старта и БПРМ в передаваемую информацию включается одно значение видимости. При этом если значение видимости, определенное с БПРМ, больше расстояния от БПРМ до начала ВПП — в сведения о погоде включается значение видимости на ВПП, если меньше — наименьшее из значений, измеренных на ВПП и с БПРМ.

На аэродромах, оборудованных системой ОВИ, по специальным таблицам (или с помощью автоматического устройства) вычисляется дальность видимости ОВИ, которая включается в передаваемые сведения о погоде.

Если при тумане, сильных осадках, метелях, пыльных бурях высоту НГО определить невозможно, вместо нее измеряется вертикальная видимость, значение которой отождествляется с высотой нижней границы облаков.

В аэропортах, где магнитное склонение более  $5^\circ$ , направление ветра у земли и на высоте круга определяется с поправкой на магнитное склонение, в остальных аэропортах — истинное значение.

На аэродромах производятся также шаропилотные наблюдения за ветром на высотах, которые, в частности, используются для оп-

ределения направления и скорости ветра на высоте круга. При наличии облачности ниже высоты круга для этой высоты дается прогнозный ветер.

### 11.5. Работа метеоподразделений по штормовым оповещениям, предупреждениям и прогнозам погоды

Штормовым оповещением называется разовая информация о начавшемся (усилившемся) опасном для авиации метеорологическом явлении.

Поскольку каждый ЛА имеет свой минимум погоды для взлета и посадки, предельное значение для подачи штормовых оповещений и предупреждений на аэродроме, как правило, устанавливается с учетом наименьшего минимума. Аналогичным образом устанавливаются предельные значения скорости ветра с учетом направления (боковая составляющая), допустимые для взлета и посадки ЛА. При этом за основу берется наименьшее ее значение с учетом типов ЛА, производящих полеты на данном аэродроме.

При дальнейшем ухудшении метеорологических условий подаются повторные штормовые оповещения. Критерии для их подачи определяются для каждого аэродрома в зависимости от имеющихся более низких минимумов.

Критерии высоты облачности, видимости и ветра, при которых на данном аэродроме подаются первоначальные и последующие оповещения об опасных метеоявлениях, согласовываются начальником АМСГ с заместителем начальника аэропорта по движению.

Текст штормового оповещения включает: время начала (усиления) опасного явления погоды, его наименование и при необходимости сопутствующие метеоэлементы.

При окончании или ослаблении интенсивности опасного явления погоды об этом передается соответствующая информация, где также указывается время и наименование метеоявления.

Штормовое предупреждение составляется в метеоподразделениях, где есть синоптическая часть (АМСГ I—III разрядов), по своему аэродрому, обслуживаемым трассам и районам полетов, по прикрепленным аэродромам МВЛ, зонам испытательных и учебно-тренировочных полетов. Они должны составляться во всех случаях, где в прогнозах опасные метеоявления не были предусмотрены, а также с целью уточнения времени их возникновения или продолжительности.

Порядок передачи штормовых оповещений и предупреждений диспетчерами службы движения аналогичен порядку передачи сведений о фактической погоде.

Экипажи ЛА, находящиеся в полете, информацию о начале опасных метеоявлений (или усилении их интенсивности) получают через диспетчеров службы движения или через УКВ канал вещания метеоинформации. Информация о предполагаемом возникно-

вении опасных явлений передается экипажам только через диспетчера.

Для подачи информации об опасных для полетов метеоявлениях в адрес АМСГ привлекаются подразделения Госкомгидромета (АМСГ, гидрометеостанции, метеорологические посты), расположенные в радиусе 200 км («штормовое кольцо»), а также АМСГ и отдельные гидрометеостанции, находящиеся вблизи авиатрасс за пределами «штормового кольца». На рабочих местах диспетчеров могут устанавливаться шторм-сигнальные доски, на которых отображается штормовая информация.

**Авиационные прогнозы погоды.** Для метеорологического обеспечения полетов используются не только данные о фактической погоде, но и информация о будущем (прогностическом) состоянии метеорологических элементов и явлений. Авиационные прогнозы погоды составляются АМСГ, АМСГ I—III разрядов, а также ОГ, имеющими синоптическую часть.

В зависимости от их назначения авиационные прогнозы подразделяются на прогнозы по аэродрому (в радиусе 10 км), району аэродрома (в радиусе 50—100 км, для аэродромов МВЛ—25—50 км), маршрутные (по воздушным трассам и МВЛ) и по районам полетов (прогнозы по площади). Содержание прогнозов и терминология определяются НМОГА. Все перечисленные прогнозы составляются по московскому времени (кроме суточного по аэродрому) и, как правило, за 1 ч до начала их действия.

Для использования при штурманских расчетах в период полетов составляются 12-часовые прогнозы направления и скорости ветра по маршруту полетов на различных высотах. Они составляются через каждые 6 ч и также за 1 ч до начала их действия.

Прогнозы погоды составляются в определенной последовательности прогнозируемых метеозаэментов. Прогнозы должны быть краткими, конкретными и не допускать различного толкования.

В прогнозы погоды по маршруту полета или району полетов включается также прогноз синоптического положения, обуславливающего погоду.

При неоднородном характере погоды прогноз должен детализироваться по времени и месту. Это позволяет более полно и эффективно использовать его летным составом и работниками службы движения в период подготовки и выполнения полетов, а также при руководстве движением ЛА.

Конкретный порядок составления прогнозов погоды, их терминология, детализация, оформление и доведение до соответствующих работников ГА определяется НМО ГА.

Для определения качества метеорологического обеспечения полетов на каждой АМСГ с синоптической частью совместно с работниками службы движения аэропорта оцениваются авиационные прогнозы погоды и штормовые предупреждения, учитываются и разбираются случаи возвратов и посадок ЛА не на аэродроме назначения из-за метеорологических условий. Порядок оценки определен НМО ГА.

**Общие положения.** Метеорологическое обеспечение полетов начинается с получения письменной заявки, заблаговременно передаваемой в АМСГ (АМЦ) службой движения аэропорта. Заявка составляется в соответствии с расписанием и может включать также полеты вне расписания. Подача на АМСГ заявок непосредственно от командиров ЛА не разрешается.

В соответствии с заявкой дежурная смена АМСГ готовит метеорологическую информацию, необходимую для предполетной метеоподготовки вылетающих экипажей и для непосредственного обеспечения полетов.

В период предполетной метеорологической подготовки экипаж ЛА обеспечивается:

данными о фактической погоде в аэропортах вылета, посадки, на запасных аэродромах, а также по МВЛ и районам полетов;

прогнозами погоды, предупреждениями об опасных метеоявлениях по маршруту полета до первого пункта посадки или по району полетов, аэродрому посадки и запасным аэродромам (прогнозы должны быть составлены на срок, который соответствует расчетному времени полета, включая время прибытия в аэропорт посадки, с учетом дополнительного времени 30 мин);

прогнозами ветра по маршруту на эшелонах полетов;

аэросиноптическими материалами (приземные и высотные карты погоды, вертикальные разрезы атмосферы по основным воздушным трассам полетов, радиолокационные, спутниковые данные и др.);

консультацией о метеорологических условиях по маршруту полета, пункту вылета, посадки и запасным аэродромам;

бортовой метеорологической информацией.

Предполетная метеоподготовка экипажа начинается с самостоятельного ознакомления с имеющимся на АМСГ комплексом метеорологической информации и аэросиноптического материала, в результате чего должен быть уяснен общий характер метеорологических условий, в которых будет проходить полет.

Затем экипаж ЛА получает метеорологическую консультацию, являющуюся важнейшим элементом подготовки к полету. Во время консультации синоптика акцентируется внимание на тех синоптических процессах, которые будут обуславливать наиболее сложные условия погоды, возникновение опасных для полетов метеорологических явлений. В консультации также отражается положение тропопаузы, изменение температуры воздуха у земли и на высотах, а при полетах большой протяженности — величина отклонения температуры от стандартной. При обеспечении полетов по ПВП ниже нижнего эшелона указывается изменение атмосферного давления по трассе и его минимальное значение, приведенное к уровню моря. Консультация проводится с иллюстрацией необходимых аэросиноптических материалов. Обязательным является использование информации об условиях погоды, полученной от экипажей

ЛА (бортовой погода), а также сведений о наблюдениях по МРЛ (при их наличии).

Если в метеорологическом подразделении имеются данные наблюдений ИСЗ, они также используются при консультациях. Консультация синоптика в аэропортах I—III классов обычно записывается на магнитофон.

В процессе консультации экипаж должен уточнить наиболее безопасные маршруты обходов зон с грозовыми очагами, сильной турбулентностью, умеренным и сильным обледенением, высоты, на которых полет будет проходить наиболее экономично и в более благоприятных метеоусловиях.

Экипажу сообщаются сведения о фактической и ожидаемой погоде по маршруту полета (району полета), аэродромам вылета, посадки, запасным аэродромам.

Заключительным этапом предполетной метеоподготовки является получение полетной метеодокументации (либо ознакомление с ней под роспись), выбор запасных аэродромов и принятие решения на вылет.

Если в период между предполетной метеоподготовкой и вылетом на АМСГ поступили дополнительные (очередные) сведения об ухудшении погоды по маршруту полета, в аэропорту посадки или на запасных аэродромах, они немедленно передаются (через диспетчера) экипажу.

В АМСГ IV разряда, где нет синоптической части, экипаж в период предполетной метеоподготовки получает от дежурного техника-метеоролога информацию о фактической погоде и прогнозы, составленные на АМСГ более высшего разряда, к которой данная АМСГ прикреплена.

Метеорологическую консультацию синоптик АМСГ проводит также на инструктаже заступающей на дежурство смены работников службы движения. Если в период дежурства смены должен быть выпущен радиозонд, указывается предполагаемое его смещение.

**Метеорологическое обеспечение полетов по воздушным трассам страны и МВЛ.** Изложенные общие положения лежат в основе метеорологического обеспечения полетов по воздушным трассам союзного значения и МВЛ. Полеты по воздушным трассам обеспечиваются АМСГ с синоптической частью, полеты по МВЛ часто осуществляются из аэропортов, где в АМСГ отсутствует синоптическая часть, а также с посадочных площадок, где вообще нет подразделений Госкомгидромета.

При продолжительности полета более 2 ч экипажу вручается:

АКП особых явлений (для экипажей ЛА с ГТД) или авиационная прогностическая карта погоды (для экипажей ЛА с поршневыми двигателями);

авиационная прогностическая карта барической топографии, ближайшая к эшелону полета, или бланк с прогнозом ветра по трассе на высоте полета;

бланк с прогнозами погоды по пункту посадки и запасным аэродромам, куда заносываются данные об атмосферном давлении на аэродроме вылета за последний срок наблюдений;

бланк «Бортовая погода», в который экипаж заносит сведения о наблюдаемых в полете метеорологических условиях.

Если полет проводится по ПВП ниже нижнего эшелона, вместо перечисленной выше метеодокументации экипажу вручается бюллетень погоды — бланк АВ-5, который включает данные о фактической погоде на аэродроме вылета, прогнозы погоды по пункту посадки и запасным аэродромам, а также прогноз ветра по высотам.

При продолжительности полета 2 ч и менее метеорологическая документация экипажам ЛА не вручается (исключение составляют экипажи ЛА с ГТД, которым по их требованию выдается бланк с прогнозами погоды по пункту посадки и запасным аэродромам). В этом случае экипаж ознакамливается с фактической погодой и текстовыми прогнозами (или с прогностической картой) по маршруту полета, по пункту посадки и запасным аэродромам и получает устную консультацию синоптика.

Согласно действующим требованиям, при выполнении полета по ПВП ниже нижнего эшелона командир ЛА на основании полученной метеорологической консультации и анализа метеорологической обстановки самостоятельно на специальном бланке (Вертикальный прогноз погоды по маршруту), вычерчивает профиль рельефа трассы по имеющемуся на АМСГ шаблону, отмечает на нем пересекаемые по маршруту полета атмосферные фронты и метеорологические элементы и явления, оказывающие влияние на выполнение полета (облачность, видимость, ветер, туманы, осадки, грозы, обледенение и др). На бланк наносится также профиль полета с учетом рассчитанной безопасности высоты. Правильность составленного вертикального разреза по маршруту подтверждается синоптиком, который ставит на нем штамп «Метеорологическую подготовку прошел».

Аналогичный штамп ставится синоптиком в задании на полет, если экипаж не составляет вертикальный разрез погоды (полеты по ППП). Учитывая, что полеты по ПВП ниже нижнего эшелона проводятся, как правило, на сравнительно небольшие расстояния, а масштаб карты АКП не позволяет отразить на ней все изменения погоды на небольших участках, для метеорологического обеспечения таких полетов используются только текстовые прогнозы погоды.

Получив метеорологическую документацию или ознакомившись с прогнозами погоды по маршруту полета, в пункте посадки и на запасных аэродромах (если метеорологическая документация не вручается), командир ЛА расписывается на копии АКП (на бланке с прогнозами погоды).

При вылетах из аэропортов МВЛ, где имеются АМСГ IV разряда (без синоптической части), при продолжительности полета более 2 ч экипажам вручается бюллетень погоды (бланк АВ-5).

Бланк заполняется техником-метеорологом на основании информации, полученной от закрепленной АМСГ с синоптической частью.

При продолжительности полета 2 ч и менее бланк АВ-5 не вручается, а экипаж ознакомляется с прогнозами погоды по маршруту полета, пункту посадки, запасным аэродромам, а также получает от дежурного техника АМСГ информацию по фактической погоде, в том числе и сообщенную экипажами.

Если полет производится по ПВП ниже нижнего эшелона, командир ЛА составляет вертикальный разрез погоды по маршруту полета (так же как и при вылете из аэропортов, где имеется АМСГ с синоптической частью).

После выдачи экипажу информации о фактической и ожидаемой погоде техник АМСГ в задании на полет ставит штамп «Метеорологическую информацию получил».

**Метеорологическое обеспечение полетов по ПАНХ.** Особенностью полетов по ПАНХ является их большое разнообразие. К этим полетам относятся авиационно-химические работы (АХР), аэрофотосъемка, патрулирование лесов, разведка льда и рыбы, полеты по оказанию срочной медицинской помощи и др.

Метеорологическое обеспечение полетов по ПАНХ организуется так, что для его осуществления составляются 6-часовые прогнозы погоды по району полетов (территории акватории моря, озера) и коррективы к ним. Перечень территорий (акваторий), по которым разрабатываются прогнозы погоды по району полетов (прогнозы по площади) определяются командиром авиапредприятия и начальником АМСГ. Исключенно составляют полеты на аэрофотосъемку, разведку льда и рыбы, санитарные задания, а также перелеты на АХР, если они проходят по установленным маршрутам. Метеорологическое обеспечение таких полетов осуществляется аналогично метеобеспечению полетов на МВЛ.

Наиболее массовым видом полетов по ПАНХ являются АХР. Перед началом полетов на АХР в авиапредприятиях проводятся занятия с летным составом по изучению климатических особенностей района работ и с синоптиками АМСГ для ознакомления их с влиянием метеорологических условий на выполнение АХР. Для обеспечения полетов на АХР по территории полетов составляются прогнозы на сутки с подразделением на день, ночь, шестичасовые прогнозы (через каждые 3 ч — в период полетов), штормовые предупреждения. Прогнозы составляются с заблаговременностью 1 ч.

Кроме того, по линии управлений Госкомгидромета авиапредприятия обеспечиваются 3-дневными, периодными и месячными прогнозами погоды, а также необходимыми справочными данными (например, о залегании снежного покрова) по районам полетов.

Учитывая, что экипажи, выполняющие работы на АХР, базируются, как правило, на оперативных точках, первостепенное значение имеет обеспечение их необходимой метеорологической информацией как перед полетом, так и в процессе их выполнения. Для этой цели организуется передача экипажам прогнозов в строго установленное время по специальным каналам радиосвязи, а также

через приводные и широкополосные радиостанции. Обычно в период полетов передача прогнозов производится каждые 30 мин. При необходимости передачи штормового оповещения экипаж вызывается диспетчером центра управления АХР в любое время. Для обеспечения полетов по ПАНХ может проводиться разведка погоды, данные которой в ряде случаев являются основой для принятия решения на полеты. Метеоинформацию получают через самолетные радиостанции, а также с помощью транзисторных радиоприемников, которыми обеспечиваются все экипажи на АХР.

Перед началом полетов на АХР экипажами в базовый аэропорт передаются сведения о фактической погоде на оперативной точке (данные об облачности, видимости, ветре, метеорологических явлениях). При этом перед началом работы на оперативной точке экипаж составляет схему естественных ориентиров видимости, в которую включается ориентир на расстоянии, равном метеоминимуму данного экипажа.

Для определения ветра обычно используются имеющиеся у экипажа ручные анемометры. В период полетов экипажи внимательно наблюдают за метеорологическими условиями и при их ухудшении немедленно информируют об этом диспетчера базового аэропорта.

Конкретные сроки составления и передачи экипажам на АХР прогнозов погоды, штормовых предупреждений, способы передачи, получение информации от экипажей отражается в Порядке метеорологического обеспечения АХР, разрабатываемом на базовом аэродроме.

**Метеорологическое обеспечение полетов СТС.** При метеорологическом обеспечении полетов СТС необходимо учитывать ряд особенностей их летной эксплуатации. Главными особенностями являются большой диапазон скоростей, большие вертикальные скорости набора высоты и снижения, выполнение крейсерского полета «по потолкам» в стратосфере, возникновение при сверхзвуковом полете ЗУВ, зависимость параметров полета от температуры воздуха, турбулентности атмосферы, грозовой деятельности, ветра, облаков кристаллической структуры, воздействие космической радиации и озона при полете в стратосфере.

Наряду с обычной информацией о метеорологических условиях взлета и посадки в приземном слое атмосферы для обеспечения полетов СТС нужны дополнительные сведения о состоянии всей тропосферы и нижней половины стратосферы. В частности, требуются данные: о турбулентности при ясном небе; о характере ЗУВ и условиях ее перемещения; о воздействии на экипаж космической радиации и озона и т. п.

Документы, регламентирующие полеты СТС, предусматривают при их метеорологическом обеспечении осуществление соответствующих метеорологических наблюдений и подготовку необходимой как по форме, так и по содержанию информации; самолетных наблюдений и передачи информации, составление требующихся прогнозов погоды, а также необходимой документации.

Прогнозы для обеспечения полетов СТС составляются: по аэродрому и району аэродрома; на посадку (на 1 ч независимо от сложности ожидаемых условий погоды); на взлет (по запросу службы движения или экипажа); по маршруту полета.

Метеорологическое обеспечение полетов СТС осуществляется МГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ аэропортов, а также отдельными АМСГ I разряда. Метеорологическое обеспечение предусматривает обеспечение центра УВД СТС и экипажа метеоинформацией, требующейся для предварительного планирования полета (за 1 сут) и для составления плана полета, а также непосредственного осуществления полета.

Для предварительного планирования полета АМЦ (АМСГ) сообщает центру УВД СТС и экипажу СТС следующую прогностические метеоусловий по маршруту, в пункте посадки и на запасных аэродромах; ветер и температуру по высотам; дополнительные характеристики метеоусловий для различных фаз полета (в соответствии с профилем).

Особое внимание обращается на опасные для полетов метеорологические явления и на ожидаемые уровни космической радиации. При необходимости заблаговременно осуществляется корректировка предварительных прогнозов.

Аналогичная метеоинформация передается и для составления плана полета. При этом уточняются ожидаемые метеорологические условия полета, в том числе температура и ветер на эшелоне полета.

Перед вылетом экипаж СТС получает устную консультацию. Дежурный синоптик при проведении консультации использует все аэросиноптические материалы и необходимую информацию, включая данные МРЛ и спутниковые наблюдения (при их наличии).

На консультации дается характеристика барических систем, фронтальных разделов, воздушных масс, определяющих погоду в районе аэродрома взлета, по воздушной трассе, на аэродроме посадки и на запасных аэродромах, характеристика метеорологических условий полета в стратосфере. Особо обстоятельно характеризуются те синоптические процессы, которые будут обуславливать значительное ухудшение метеорологических условий. Отражается положение тропопаузы, изменение температуры воздуха у земли и на высотах и т. п. В качестве иллюстративного материала используются синоптические и аэрологические карты, вертикальные разрезы атмосферы, прогностические АКП, карты радиолокационных наблюдений, спутниковые фотографии, данные нефанализа и т. д.

После получения экипажем СТС консультации ему вручается соответствующая метеорологическая документация: карты барической топографии и вертикальный разрез атмосферы; табличные данные о прогнозе направления и скорости ветра по участкам трассы, температуры воздуха, величины ее отклонений от стандартной; фото-прогноз погоды по пункту посадки и запасным аэродромам; фото-

снимки облачности по данным метеорологических спутников; карта-схема радиолокационных метеорологических данных пункта вылета за наиболее близкий к моменту вылета срок.

Во время полета СТС метеоподразделения аэропорта посадки и запасных аэродромов ежечасно уточняют прогноз погоды по своему аэродрому. При наличии в аэропорту посадки МРЛ с упреждением на час до расчетного времени посадки ведется непрерывный радиолокационный обзор района аэропорта. Данные радиолокационных наблюдений, особенно положение очагов мощной кучевой и кучево-дождевой облачности, грозových очагов, наряду с другой метеоинформацией передаются на борт СТС. За полчаса до подхода СТС к точке снижения в АМЦ (АМСГ) разрабатывается дополнительный прогноз по аэродрому посадки. Он вручается диспетчеру районного диспетчерского пункта для передачи на борт. Особое внимание обращается на возможность возникновения опасных для авиации явлений погоды на воздушной трассе, в пункте посадки и на запасных аэродромах. При их ожидании или появлении немедленно предупреждается служба движения.

Полное метеорологическое обеспечение полетов СТС может быть наиболее эффективно выполнено на основе использования современных и перспективных технических средств и автоматизации обеспечения с применением быстродействующих ЭВМ.

**Метеорологическое обеспечение полетов на международных трассах.** В нашей стране метеорологическое обеспечение международных полетов осуществляется оперативными органами Госкомгидромета. Они обеспечивают командный, летный и диспетчерский состав, а также представителей зарубежных авиакомпаний метеорологическими консультациями и информацией о фактическом и ожидаемом состоянии погоды на воздушных трассах, в аэропортах посадки и на запасных аэродромах.

Перед вылетом независимо от его продолжительности экипаж ЛА или представитель авиакомпании получает необходимую метеорологическую документацию: авиационную прогностическую карту особых явлений погоды, карты барической топографии соответствующих поверхностей или таблицу с данными о прогнозе ветра и температуры воздуха по высотам, бланк с прогнозами погоды по аэропорту посадки и запасным аэродромам.

Метеорологические консультации экипажей и представителей авиакомпаний, оформление документов производятся на русском или английском языке. Обмен метеоинформацией между советскими и зарубежными аэропортами производится международными метеорологическими кодами. Передача метеоинформации на борт ЛА ведется открытым текстом на русском и (или) английском языках или с помощью этих кодов.

Метеорологическое обеспечение экипажей ЛА Советского Союза в зарубежных аэропортах производится согласно порядку, предусмотренному соответствующими документами Международной организации гражданской авиации, а также в соответствии с Техническим регламентом Всемирной метеорологической организации.

## Список литературы

Астапенко П. Д., Баранов А. М., Шварев И. М. Авиационная метеорология. Л., ОЛАГА, 1976. 98 с.

Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. Л., Гидрометеондат, 1975. 388 с.

Яковлев А. М. Авиационная метеорология. М., Транспорт, 1971. 246 с.

Наставление по производству полетов в гражданской авиации (НПП ГА-78), изд. РИО МГА, М., 1978. 285 с.

Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА-73). Л., Гидрометеондат, 1973. 138 с.

Настоящий указатель адресует читателя только к тем страницам книги, где можно найти справку по существу рубрики или подрубрики.

Если рубрика представляет собой сочетание прилагательного и существительного, то, как правило, применена инверсия — существительное поставлено на первое место для облегчения поиска. Исключение сделано лишь для незначительного числа случаев, когда в сочетании существительное носит слишком общий характер. Например, *летательные аппараты*.

В случае если в сочетании двух существительных более заметно второе слово и поиск, вероятнее всего, будет вестись по нему, то такое сочетание инверсировано. Например, *карты, масштабы*.

В тех случаях когда в тексте упомянуто название предмета в термине, дана и его аббревиатура. Например, *общая циркуляция атмосферы (ОЦА)*.

В указателе применена система расстановки по алфавиту слово за словом.

**А**

Адвекция 65, 109, 139

Адиабата:

влажная 56

сухая 56

Анализ аэросиноптический, задачи и средства 151, 152

Анемометр 38

Анеморумбограф 38, 39

Анеморумбометр 38, 39

Антипассат 117

Антициклон 21, 138, 145

— максимально развитый 146

— молодой 146

— правила направления перемещения 159, 160, 161

Атмосфера 7, 11

— вертикальная устойчивость 58, 59

— вертикальный разрез 112, 113

— — — анализ 154, 155

— методы исследования 11, 12

— основные и промежуточные слои 8

— прозрачность 92, 93

— — коэффициент 92

— уравнение статики 13, 18, 19

— циркуляция 114, 115—118

Аэростат автоматический 234, 235

**Б**

Барометр-анероид 18

Барометр ртутный 18

Безопасность полетов:

в зоне грозовой деятельности 196, 197

— — турбулентности 184, 185

в горных районах 211, 212

Бейс-Балло закон 44

Болтанка 81, 82, 83, 84, 85, 131, 151,

182, 183, 184, 200, 202, 204, 205

— орографическая 182

Бора 50

Бриз 49

Будка метеорологическая 15

Буря пыльная 149, 199, 212, 213

**В**

Ветер 37

— влияние на полеты ЛА 52, 53

— в пограничном слое 41, 42

— в свободной атмосфере 42, 43

— горно-долинный 49

— градиентный 42, 43, 44

— — направление в антициклонах и циклонах 44

— — — в ложбине, седловине, на гребне 45

— изменение с высотой 45, 46, 47

— измерение 37, 42

— ледниковый 50

— «магнитный» 38

— меняющийся 38

— местный 49, 50, 51, 52

— навигационный 37

— направление 37, 42

— очень сильный 38

— порывистый 38

— причины возникновения 39, 40, 41

- реальный 46, 47, 48
- срок годности 46
- стратосферное обращение 207
- сильный 38
- слабый 38
- термический 46, 47
- умеренный 38
- урсатьевский 50
- учет при строительстве аэродромов 52, 53

- характеристики 38
  - эквивалентный 48, 49
- Видимость** 91
- вертикальная 91, 92
  - горизонтальная 91, 92
  - и наклонная, соотношение 92, 93
  - наклонная 92
  - оценка на ВПП 92, 93
- «Вихрь скорости» 139

**Воздух:**  
адиабатическое расширение 70

арктический 122, 123

влажность 23

— абсолютная 23, 63, 64

— измерение 24

— максимальная 23, 64

— относительная 23, 64

— удельная 23

движение адвективное 37

— вертикальное 53, 54

— вынужденное 54

— волновое 54

— конвективное 37

насыщение 23

плотность 24, 25

— стандартная, значение 13

тропический 123, 124

умеренный 123

экваториальный 124

**Волны:**

горные 210

на фронте неустойчивые 131

— подветренные 182

— устойчивые 139

ударные звуковые 36

эволюция и развитие 140

**Высота:**

абсолютная 23

нижней границы облаков 75, 76, 77

— — — изменчивость 78, 79

относительная 23

предельно допустимая 29

стандартная 14, 15

фронтальной зоны 136, 137, 138

Высотомер барометрический 21, 22,

23

## Г

Геопотенциал 104

— абсолютный 104

— относительный 104

Гетеосфера 7

Гигрограф 24

Гигрометр 24

Гидроглиссирование 88

«Глаз бури» 145, 217

**Глаз:**

разрешающая способность 91

чувствительность контрастная 91,

92

Гомосфера 7

Госкомгидромет 225

Град 87, 88, 192

Градиент 16

— влажноадиабатический 55, 56

— горизонтальный барический 39, 40,

41

— сухоадиабатический 55

— температуры горизонтальный 17

— вертикальный 16, 17

Гребень 21

Гроза 186

— адвективная 186

— информация и прогнозирование

195, 196

— конвективная 186

— — — расположение 187

— орографическая 186

— распространение 194, 195

— фронтальная 187

Гром 191

## Д

**Давление:**

динамическое 29

изменение с высотой 17

измерение 17—20, 21

**Дальность видимости:**

горизонтальная метеорологическая

92, 93, 94

дневная 91

огней 91

Депрессия термическая 140, 144

Дефицит точки росы 24, 105, 153

Диаграмма аэрологическая 56

— анализ 154, 155

— использование для оценки ме-

теорологической обстановки 61

Дождь 20

Дымка 68, 69

## Е

**Единицы измерения:**

влажность 23

давления 17

скорости ветра 38

температуры 15

## З

Заряд электрический на ЛА 83, 88,

128, 186, 190, 191, 198, 202

Знаки условные 96, 98, 101, 102, 238,

239

Зона турбулентная 113, 181, 182  
— фронтальная высотная 136, 137  
Зрение, острота 91

## И

Измеритель высоты облаков (ИВО)  
76  
Излучение 70  
Изюбины 105  
Изопауза 208  
Изотакхи 107, 111  
Изотермы 17  
Инверсия сжатия 146  
Ионосфера 7, 8

## К

Карты:  
авиационно-прогностические пого-  
ды 113, 115  
— — — анализ 155  
— — — время действия 113  
— — — особых явлений погоды 113,  
114, 115  
высотные 96  
— анализ 153, 154  
изотерм 17  
максимальных ветров 110—111  
масштабы 95, 96  
нефанализа 239, 241  
поля температуры 17  
приземные синоптические 95, 96—97  
— — анализ 152—153  
— — нанесение метеорологических  
данных 96, 97, 99  
топографии абсолютной 104, 105,  
106, 107, 108  
— барической 103, 104, 105, 106,  
107, 108, 109  
— относительной 108, 109  
— тропопаузы 110  
Коагуляция 86  
Код метеорологический 94, 95, 157  
Конвекция:  
динамическая 54  
термическая 53  
Конденсация 62  
Контраст яркостный, величина 91  
Кривая:  
состояния 57  
стратификация 57  
точки росы 57  
Кризис волновой 31  
Крупа снежная 87  
«Крутящий вал» 85  
Коэффициенты аэродинамические 26

## Л

Летательные аппараты (ЛА) 3  
Линейка градиентная 107  
Линия фронта 124  
Ложбина 21

## М

Масса:  
атмосферы 7  
воздушная 120  
— географическая, классификация  
121, 122—123, 124  
— неустойчивая 120, 121  
— теплая 121  
— трансформация 120  
— холодная 121  
— устойчивая 120, 121  
Материалы аэрооптические, комп-  
лексный анализ 218, 219—220, 221  
Мелопауза 11  
Мезосфера 11  
Метеоинформация:  
источники 230  
получаемая от автоматических ме-  
теостанций 231, 232  
— — наземной метеорологической  
сети 230, 231  
— — сети международного обмена  
231  
— с помощью метеорологической  
космической системы 235—238,  
239, 241—242, 243  
— — разведки погоды 232, 233—  
234, 235  
сбор и распространение 229, 230  
Метеорологическая космическая си-  
стема (МКС) «Метеор» 235, 236,  
237  
аппаратура актиметрическая 236  
— инфракрасная 235, 236  
— телеметрическая 236  
Метеорологические данные, схемы  
нанесения 96, 105, 108, 110, 111  
Метеорология авиационная 3  
— — этапы развития 5  
Мираж 212, 216  
Мистраль 50  
Молнии, классификация 191  
Морось 86  
Муссон 117

## Н

«Наковальня» 197, 216  
Напор скоростной 29

## О

Обеспечение метеорологическое:  
ГА, принципиальная схема 229  
задачи при полетах на междуна-  
родных трассах 254  
— — — по воздушным трассам и  
МВЛ страны 249, 250, 251  
— — — ПАНХ 251, 252  
— — — СТС 252, 253, 254  
Облака 69  
— вертикального развития 72, 74, 75  
— верхнего яруса 72, 73

- видность 71, 81, 82, 83
- волнистообразные 75
- высоко-кучевые 72, 73, 82
- высоко-слоистые 72, 73, 83
- грозные, опасность для полетов 193, 194
- состав 191
- стадии развития 188, 189
- строение 189, 190, 191
- изменчивость высоты ИГО 78, 79
- классификация 71, 72
- кучево-дождевые 72, 74, 84
- грозные, стадии развития 189
- кучевообразные 74
- кучевые 72, 74, 84
- — мощные 74, 84
- микроструктура 70
- нижнего яруса 73, 74
- перисто-кучевые 72
- перисто-слоистые 72, 73, 83
- перистые 72, 82
- перламутровые 207
- пылевые 209
- роторные 210
- слоисто-дождевые 72, 73, 82
- слоисто-кучевые 72, 73, 82
- слоистообразные 74
- слоистые 72, 73, 81
- среднего яруса 73
- формы 72, 73, 74
- Облачность 75
- теплого фронта 125
- холодного фронта первого рода 132
- — — второго рода 134
- фронта окклюзии 135
- Обледенение самолетов 81, 82, 83, 84, 85, 86, 131, 153, 170, 171—172, 193
- — — виды 173
- — — влияние на аэродинамические и летные характеристики ЛА 173, 174—176
- — — рекомендации пилоту 177, 178
- Обмен турбулентный 70
- Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) 116
- — — элементы 116
- Озон, влияние на условия полета в стратосфере 207, 208
- Окклюдирование 134, 141, 143
- Осадки 85
- виды 87
- влияние на полеты 87, 88
- ливневые 87
- морозящие 87
- обложные 87
- причины образования 85, 86
- формы 86, 87
- Освещенность 91

- Пар водяной, упрямость 24
- Пассаты 117
- Поверхность изобарическая 21
- Погода 38
- внутримассовая 147, 148, 149
- минимум 80
- неперiodические изменения 147
- опасные явления 186
- фронтальная 150, 151
- Поверхность раздела фронтальная 124, 125
- Поле барическое 20, 21
- Потолок самолета:
  - абсолютная высота 33
  - изменение 33
  - практический 32
  - теоретический 32
- Прогноз:
  - погоды 155
  - — — авиационный 166, 167, 168, 247
  - — — обеспеченность 170
  - — — оправдываемость 170
  - — — оценка оправдываемости 169, 170
  - классификация 156
  - способ передачи 156
  - формы 156, 157
  - численные методы 163, 164, 165, 166
  - синоптической обстановки 157, 158
  - эволюции синоптических объектов 161, 162, 163
- Прожектор потолочный 75, 76
- Профиль полета СТС вертикальный, фазы 35
- Процесс:
  - адиабатический 55
  - влажноадиабатический 55
  - сухоадиабатический 55
  - циклонической деятельности 138
- Психрометр 24
- Пурга 119

- Радиозид 39
- Разряд электростатический 83, 193, 197, 198, 199
- Равновесие:
  - безразличное 59, 60
  - неустойчивое 59
  - устойчивое 59
- Регистратор высоты НГО 76
- Рельеф барический 21
- — — формы 22
- «Роза ветров» 52, 53
- Румбы ветра 37

## С

- Самум 213
- Сарма 50
- Светолокатор 76
- Сдвиг ветра 52
- Седловина 21
- Серия циклоническая 141, 143, 144
- Сила:
  - аэродинамическая полная 25
  - барического градиента 42
  - кариолисова 40, 41, 42
  - трения 41
  - центробежная 41
- Слой:
  - атмосферы 8
  - пограничный 9, 41, 42, 47
  - приземный 9
  - изотермия 17
  - инверсии 17
- Скорость:
  - ветра 43
  - качественные характеристики 38
  - градиентного 42, 43, 44
  - полета индикаторная 29
  - истинная 29, 30
  - максимальная горизонтальная 31
- Смерч 192, 193
- Смог 69
- Снег 86
  - мокрый 87
- Состав гомосферы 7
- Стандартная атмосфера (СА) 12, 13
  - содержание таблиц 13, 14
- Стратопауза 11
- Стратосфера 10
- Струйное течение 138, 203, 218
  - классификация 203, 204
  - ось 114, 203, 204, 205
- Ступень барическая 18
  - формула для расчета 18
- Сублимация 62

## Т

- Тайфун 140
- Температура:
  - воздуха 15—16, 17
  - изменение с высотой 16—17
  - непериодическое 16
  - измерение 15, 16, 17
  - максимальная 15
  - минимальная 15
  - ход годовой 16
  - суточный 15, 16
  - кипения воды 15
  - таяния льда 15
- Тенденция барическая 20
- Термограф 15
- Термометры, типы 15
- Термопауза 11
- Термосфера 11

- Топливо:
  - расход часовой 34
  - удельный 34
- Торнадо 192, 193
- Точка:
  - окклюзии 143
  - росы 23
- Тромб 192, 193
- Тропопауза 9
- Тропосфера 8, 9
- Туман 63
  - адвективно-радиационный 65
  - адвективный 65
  - внутримассовый 64
  - испарения 64, 66
  - классификация 64
  - охлаждения 64
  - прогнозирование 68
  - радиационный 64
  - рассеяние искусственное 89, 90, 91
  - склонов 65
  - условия образования 63, 64
  - физические характеристики 66
  - фронтальный 66
- Турбулентность атмосферы 8, 81, 82, 83, 84, 85, 108, 131, 133, 193
  - в горной местности 182
  - влияние на полет 179, 180, 181
  - динамическая 54, 179
  - зоны 184, 185
  - орографическая 182
  - прогнозирование 183, 184
  - схема расположения зон 183

## У

- Универсальная газовая постоянная 13
- Ураган 38, 140
- Уровень:
  - конвекции 61
  - конденсации 57
- Условия полета метеорологические:
  - в горных районах 209, 210, 211
  - облаках вертикального развития 84, 85
  - волнистообразных 81, 82
  - слоистообразных 82, 83, 84
  - зонах струйных течений 204, 205, 206
  - области тропопаузы 201, 202, 203
  - стратосфере 206, 207—208, 209
  - на высотах больших 201
  - малых 199—200
  - оценка 221, 222, 223
  - особенности в районах больших водных пространств 216, 217, 218
  - влажного тропического климата 213, 214
  - высоких широт 214, 215
  - пустынь, жаркого и сухого климата 212, 213

при погоде внутримассовой 148,  
149  
— фронтальной 150, 151

Ф

Фён 50  
Флюгер 38  
Формулы:  
  Бабине 20  
  изменения барической высоты по-  
  лета 33  
  Лапласа 20  
  общего закона изменения давления  
  с высотой 20  
  плотности влажного воздуха 25  
Фронты атмосферные 124  
— — — верхние 128  
— — — высокие 128  
— — — главные 125—127  
— — — классификация 125, 126, 127,  
  128  
— — — окклюзий 126, 134, 135, 136, 137,  
  143  
— — — низкие (приземные) 128  
— — — стационарные 136  
— — — стратосферные 128  
— — — теплые 126, 128—129, 130, 143  
— — — тропосферные 128  
— — — холодные 126, 130, 143  
— — — — вторичные 133, 134  
— — — — первого рода 131, 132  
— — — — второго рода 132, 133

Х

Хабуб 213  
Хамсин 213

Ц

Циклон 21  
— волновой 142  
— заполняющийся 143  
— молодой 142, 143  
— правила направления перемеще-  
  ния 159, 160, 161  
— регенерация 143  
— стадия волны 141, 142  
— максимального развития 143  
— теплый сектор 142  
— термически симметричный 140  
— типы 141  
— тропический 117, 118, 144, 145  
— эволюция 162  
Циркуляция зональная, течения 116

Ч

Число М 30

Ш

Шар-пилот 39, 75  
Шквал 38, 192  
Шкваловый ворот 85, 133, 192  
Шторм 38  
Штормовое оповещение 246  
— предупреждение 168, 246  
— — — оценка оправданности 169—  
  170

Э

Экзосфера 11  
Энергия неустойчивости 60, 61

Я

Ядра конденсации 62  
Яркость предмета и фона 91

Введение . . . . .	3
1. Земная атмосфера . . . . .	7
1.1. Строение атмосферы . . . . .	7
1.2. Методы исследования атмосферы . . . . .	11
1.3. Стандартная атмосфера . . . . .	13
1.4. Физические характеристики атмосферы . . . . .	15
2. Влияние физических параметров атмосферы на летные и эксплуатационные характеристики самолетов . . . . .	25
2.1. Влияние физических параметров атмосферы на дозвуковые транспортные самолеты . . . . .	25
2.2. Влияние физических параметров атмосферы на сверхзвуковые транспортные самолеты . . . . .	35
3. Элементы динамики и термодинамики атмосферы . . . . .	36
3.1. Ветер, его характеристики. Измерение ветра . . . . .	36
3.2. Ветер в пограничном слое и свободной атмосфере. Градиентный ветер . . . . .	41
3.3. Местные ветры . . . . .	49
3.4. Влияние ветра на работу ГА . . . . .	51
3.5. Вертикальные движения воздуха . . . . .	53
3.6. Адиабатические процессы в атмосфере. Аэрологическая диаграмма . . . . .	55
4. Продукты конденсации водяного пара в атмосфере, их влияние на работу ГА. Возможности воздействия на низкие облака и туманы . . . . .	62
4.1. Конденсация и сублимация водяного пара . . . . .	62
4.2. Туманы и дымки . . . . .	63
4.3. Облака . . . . .	69
4.4. Количество, высота облаков и ее изменчивость . . . . .	75
4.5. Влияние низкой облачности и ограниченной видимости на работу ГА . . . . .	80
4.6. Осадки и их влияние на полеты . . . . .	85
4.7. Понятие об искусственном воздействии на туманы и низкие облака с целью их рассеяния для обеспечения взлета и посадки самолетов . . . . .	88
4.8. Зависимость горизонтальной и наклонной дальностей видимости от различных факторов . . . . .	91
5. Метеорологические коды, карты погоды и вертикальные разрезы атмосферы . . . . .	94
5.1. Метеорологические коды . . . . .	94
5.2. Приземные синоптические карты . . . . .	95
5.3. Карты барической топографии . . . . .	103

5.4. Карты тропополузы и максимальных ветров . . . . .	110
5.5. Вертикальные разрезы атмосферы . . . . .	112
5.6. Прогностические карты . . . . .	113
<b>6. Синоптические процессы и их анализ . . . . .</b>	<b>114</b>
6.1. Понятие об общей циркуляции атмосферы . . . . .	114
6.2. Воздушные массы и погода в них . . . . .	119
6.3. Атмосферные фронты . . . . .	124
6.4. Циклоны и антициклоны . . . . .	138
6.5. Некоторые особенности погоды и условия полетов при различных синоптических процессах . . . . .	147
6.6. Аэросиноптический анализ . . . . .	151
<b>7. Прогноз погоды . . . . .</b>	<b>155</b>
7.1. Общие положения . . . . .	155
7.2. Прогноз синоптической обстановки . . . . .	157
7.3. Численные методы прогноза погоды . . . . .	163
7.4. Авиационный прогноз погоды и штормовое предупреждение . . . . .	166
7.5. Оценка оправданности авиационных прогнозов погоды и штормовых предупреждений . . . . .	169
<b>8. Метеорологические явления, опасные для полетов . . . . .</b>	<b>170</b>
8.1. Обледенение . . . . .	170
8.2. Атмосферная турбулентность . . . . .	178
8.3. Грозы . . . . .	186
8.4. Разряды статического электричества . . . . .	197
<b>9. Высотные и географические особенности метеорологических условий полетов . . . . .</b>	<b>199</b>
9.1. Условия полетов на малых высотах . . . . .	199
9.2. Условия полетов на больших высотах . . . . .	201
9.3. Условия полетов в области тропополузы . . . . .	201
9.4. Струйные течения и условия полетов в их зонах . . . . .	203
9.5. Условия полетов в стратосфере . . . . .	206
9.6. Условия полетов в горных районах . . . . .	209
9.7. Особенности условий полетов над различными географическими районами и большими водными пространствами . . . . .	212
<b>10. Анализ и оценка метеорологических условий полетов на различных высотах . . . . .</b>	<b>218</b>
10.1. Аэросиноптические материалы и их комплексный анализ . . . . .	218
10.2. Оценка метеорологических условий полетов на малых высотах . . . . .	221
10.3. Оценка метеорологических условий полетов на больших высотах . . . . .	223
<b>11. Метеорологическое обеспечение полетов . . . . .</b>	<b>225</b>
11.1. Задачи обеспечения . . . . .	225
11.2. Оперативные органы Госкомгидромета, осуществляющие метеорологическое обеспечение ГА . . . . .	228
11.3. Метеорологическая информация для обеспечения полетов . . . . .	230
11.4. Метеорологические и аэрологические наблюдения в аэропортах ГА . . . . .	243
11.5. Работа метеоподразделений по штормовым оповещениям, предупреждениям и прогнозам погоды . . . . .	246
11.6. Метеорологическое обеспечение полетов в ГА . . . . .	248
Список литературы . . . . .	255
Предметный указатель . . . . .	256

*Суднов*  
*Суднов*  
*Суднов*  
*Суднов*  
*Суднов*

ПАВЕЛ ДМИТРИЕВИЧ АСТАПЕНКО  
АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ БАРАНОВ  
ЛЮДМИЛА ЮЛЬЕВНА БЕЛОУСОВА  
ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ИВАНОВ  
ЛЕВ ИЛЬИЧ КОГАН  
ОЛЕГ КОНСТАНТИНОВИЧ ТРУНОВ  
ИВАН МИХАЙЛОВИЧ ШВАРЕВ  
АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Предметный указатель составил В. П. Суднов  
Рецензенты Ю. М. Здорик и Г. П. Лещенко  
Редактор В. П. Суднов  
Обложка художника Е. Н. Волкова  
Технический редактор Л. Е. Шмелева  
Корректоры С. Б. Назарова, Л. А. Сашенкова

ИБ № 1494

Сдано в набор 10.05.79.

Подписано к печати 30.10.79.

T-18157

Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup> тип. № 2. Гарн. литературная. Печ. высокая.

Печ. л. 161

Уч.-изд. л. 19,34

Тираж 17 000.

Зак. тип. 2310.

Цена 80 коп.

Изд. № 1—1—2/17 № 9359

Изд-во «ТРАНСПОРТ», 107174, Басманный туп., 6 а

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Хохловский пер., 7.

