

Утверждено  
приказом Росгидромета  
от «06» 07 2009 г. № 170

Согласовано:

Федеральная служба по надзору в сфере транспорта:  
Федеральная аэронавигационная служба:  
Межгосударственный авиационный комитет:

исх. № ГК-21/8-1723 от 07.07.2008 г.  
исх. № ДС-447 от 18.07.2008 г.  
исх. № 05-11-184 от 11.07.2008 г.

**РАССЛЕДОВАНИЕ  
АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ИНЦИДЕНТОВ,  
СВЯЗАННЫХ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ**

**Методическое пособие**

**Издание третье, переработанное и дополненное**

МОСКВА-2009

## АННОТАЦИЯ

Третье издание Методического пособия «Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами» предназначено для экспертов-метеорологов, участвующих в работе комиссий по расследованию авиационных происшествий и инцидентов. Пособие разработано на основе документов ИКАО, Правил расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 18 июня 1998 г. № 609 (ПРАПИ-98), национальных документов, регламентирующих метеорологическое обеспечение гражданской авиации.

В пособии использованы научно-исследовательские разработки, выполненные учреждениями и организациями Росгидромета и гражданской авиации. В нем изложен материал по организации работы метеоспециалистов в комиссиях по расследованию авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами, даны рекомендации по сбору и анализу фактических метеоусловий, определению степени их влияния на авиационное происшествие или инцидент.

В пособии рассмотрены вопросы анализа и оценки метеорологических величин, опасных для авиации явлений погоды, даются некоторые сведения о влиянии спутного следа на безопасность полетов воздушных судов. Расчетные схемы, приведенные в данном пособии, достаточно просты и могут быть использованы экспертами в процессе работы комиссий по расследованию авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами.

Использование пособия позволит более грамотно оценивать степень влияния метеоусловий и качества метеорологического обеспечения полетов на авиационное происшествие или инцидент и разрабатывать необходимые рекомендации по их предотвращению.

Методическое пособие разработано начальником отдела авиационного метеорологического обеспечения АНО «Метеоагентство Росгидромета», Заслуженным метеорологом Российской Федерации, Почетным работником транспорта России Распутиковым А.С., более 30-ти лет проработавшим в центральном аппарате гражданской авиации (МГА СССР, ДВТ Минтранса России, ФАС, ФСВТ России, ГС ГА, Ространснадзоре) и имеющим практический опыт в расследовании авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами.

Третье издание Методического пособия дополнено терминами и определениями, используемыми при расследовании авиационных событий, схемой оповещения Росгидромета авиаметеорологическими подразделениями об авиационных происшествиях и инцидентах, разделами о наземном обледенении, шаровых молниях и некоторыми иллюстрациями.

## **ЕСЛИ БЫ АВИАТОРЫ УЧИЛИСЬ НА ОШИБКАХ ДРУГИХ, АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ БЫЛО БЫ МЕНЬШЕ**

Руководство ИКАО по предотвращению  
авиационных происшествий  
(DOC 9422 - AN/923)

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современное самолетное и наземное оборудование позволяет выполнять полеты в сложных метеорологических условиях. Однако и в настоящее время эффективность работы воздушного транспорта, в частности безопасность полетов, во многом зависит от условий погоды.

Статистические данные ИКАО свидетельствуют о том, что за последние 25 лет около 20% авиационных происшествий были связаны с неблагоприятными метеоусловиями. В 30% случаях они явились косвенными или сопутствующими причинами таких происшествий. При этом количество авиационных происшествий при посадке в 2-3 раза больше по сравнению с их количеством на других этапах полета. Уровень безопасности полетов в горных районах (на горных авиатрассах и на аэродромах) значительно ниже по сравнению с равнинными районами (аэродромами). Количество авиационных происшествий в горных районах составляет порядка 16% по сравнению со всем количеством авиационных происшествий, связанных с метеоусловиями.

На безопасность полетов влияют следующие метеорологические условия:

- на начальных этапах полетов (взлет, набор высоты) — ограниченная видимость, сдвиг ветра в нижнем 100-метровом слое атмосферы;
- при полетах по маршруту — грозовая деятельность, сильная турбулентность, град, а также низкая облачность и ограниченная видимость при выполнении полетов по ПВП в условиях горной местности, обледенение в облаках и (или) осадках;
- на завершающих этапах полета (заход на посадку, посадка) — низкая облачность и ограниченная видимость, характеристики ветра в сочетании с малым коэффициентом сцепления на ВПП, сдвиг ветра в нижнем 100-метровом слое атмосферы.

Кроме метеорологических условий, на безопасность полетов могут оказывать прямое или косвенное влияние недостатки в метеорологическом обеспечении полетов, основными из которых являются:

- несвоевременное доведение метеоинформации до органов УВД и экипажей воздушных судов;
- ошибки в производстве метеорологических наблюдений;
- несвоевременное составление предупреждений о фактических и (или) ожидаемых опасных для авиации метеорологических явлениях, условиях погоды ниже минимума аэродрома (посадочной площадки);
- нарушение требований нормативных документов, регламентирующих метеорологическое обеспечение полетов и органов УВД;
- несоответствие фактической и прогнозируемой погоды на аэродромах и маршрутах полетов.

Практика расследований авиационных происшествий и инцидентов показывает, что фактор «сложные метеорологические условия» отмечается довольно часто. Поэтому степень их влияния на исход полетов оценивается при расследовании каждого конкретного авиационного события.

# Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

## 1.1. Общие положения

Расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами проводятся комиссиями, назначаемыми в порядке, установленном Правилами расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации (ПРАПИ-98). Если авиационное происшествие или инцидент связаны с метеорологическими факторами, в состав комиссий по их расследованию включается представитель Росгидромета или его территориального органа.

В ходе расследования следует учитывать существование метеоявлений, резко отличающихся от обычных и имеющих малую вероятность возникновения (сильные сдвиги ветра в нижнем 100-метровом слое, смерчи и шквалы).

На этапе набора высоты и при полете по маршруту экипаж учитывает возможность возникновения таких усложняющих факторов, как внезапный вход воздушного судна в облачность и потеря визуального контакта с наземными ориентирами, воздействие турбулентности, поражения разрядами атмосферного электричества, обледенение. Помимо этого, внимание экипажа сосредотачивается на определении и оценке возможных отказов авиационной техники, опасных сближений с другими воздушными судами и препятствиями.

При выполнении предпосадочного маневра на предпосадочной прямой появляются специфические трудности, особенно в условиях ограниченной видимости и быстрых изменений высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости), потеря визуального контакта с наземными ориентирами. Усложняющими условиями могут быть интенсивные ливневые осадки, боковой ветер в сочетании с малым коэффициентом сцепления на ВПП, сдвиг ветра, гололед, обледенение воздушного судна в облаках и (или) осадках, слякоть или слой воды на ВПП.

## 1.2. Классификация

Авиационные события подразделяются на:

- авиационные происшествия;
- авиационные инциденты (серьезные авиационные инциденты);
- производственные происшествия.

Авиационные происшествия, в зависимости от их последствий, подразделяются на:

- авиационные происшествия с человеческими жертвами (катастрофы);
- авиационные происшествия без человеческих жертв (аварии).

Производственные происшествия подразделяются на:

- повреждения воздушного судна;
- чрезвычайные происшествия [7].

## 1.3. Определения

**Авиационное происшествие.** Событие, связанное с использованием воздушного судна, которое имеет место с момента, когда какое-либо лицо вступило на борт с намерением совершить полет, до момента, когда все лица, находившиеся на борту с целью совершения полета, покинули воздушное судно, и в ходе которого:

а) какое-либо лицо получает телесное повреждение со смертельным исходом в результате нахождения на данном воздушном судне, за исключением тех случаев, когда телесные повреждения получены вследствие естественных причин, нанесены самому себе либо нанесены другими лицами, или когда телесные повреждения нанесены безбилетным пассажирам, скрывающимся вне зон, куда обычно открыт доступ пассажирам и членам экипажа;

**Примечание.** Только в целях единообразия статистических данных телесное повреждение, в результате которого в течение 30 дней с момента происшествия наступила смерть, классифицируется как телесное повреждение со смертельным исходом.

б) воздушное судно получает повреждение или происходит разрушение его конструкции, в результате чего:

— нарушается прочность конструкции, ухудшаются технические или летные характеристики воздушного судна;

— требуется крупный ремонт или замена поврежденного элемента, за исключением: случаев отказа или повреждения двигателя, когда поврежден только сам двигатель, его капоты и вспомогательные агрегаты, или повреждены только воздушные винты, несилловые элементы планера, обтекатели, законцовки крыла, антенны, пневматики, тормозные устройства или другие элементы, если эти повреждения не нарушают общей прочности конструкции, или в обшивке имеются небольшие вмятины или пробоины; повреждений элементов несущих и рулевых винтов, втулки несущего или рулевого винта, трансмиссии, повреждений вентиляторной установки или редуктора, если эти случаи не привели к повреждениям или разрушениям силовых элементов фюзеляжа (балок); повреждений обшивки фюзеляжа (балок) без повреждения силовых элементов;

в) воздушное судно пропадает без вести или оказывается в таком месте, где доступ к нему абсолютно не возможен.

**Примечание.** Воздушное судно считается пропавшим без вести, когда были прекращены его официальные поиски и не было установлено местонахождение воздушного судна или его обломков. Решение о прекращении поиска гражданского воздушного судна, потерпевшего бедствие, принимает уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области гражданской авиации.

**Авиационное происшествие с человеческими жертвами (катастрофа).** Авиационное происшествие, приведшее к гибели или пропаже без вести кого-либо из пассажиров или членов экипажа.

К катастрофам относятся также случаи гибели кого-либо из лиц, находившихся на борту, в процессе их аварийной эвакуации из воздушного судна.

**Авиационное происшествие без человеческих жертв (авария).** Авиационное происшествие, не повлекшее за собой человеческих жертв или пропажи без вести кого-либо из пассажиров или членов экипажа.

**Авиационный инцидент.** Событие, связанное с использованием воздушного судна, которое имело место с момента, когда какое-либо лицо вступило на борт с намерением совершить полет, до момента, когда все лица, находившиеся на борту с целью полета, покинули воздушное судно, и обусловленное отклонениями от нормального функционирования воздушного судна, экипажа, служб управления и обеспечения полетов, воздействием внешней среды, могущее оказать влияние на безопасность полета, но не закончившееся авиационным происшествием.

**ATIS.** Служба автоматической передачи информации в районе аэродрома.

**Внеочередное наблюдение.** Наблюдение за фактической погодой по сигналу «ТРЕВОГА» в объеме, предусмотренном кодом «METAR» за часовой срок.

**Информация SIGMET.** Выпускаемая органом метеорологического слежения информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на безопасность полетов воздушных судов.

**Консультация.** Обсуждение с метеорологом фактических и (или) ожидаемых метеорологических условий, связанных с выполнением полета; обсуждение включает ответы на вопросы.

**Контрольный замер.** Измерение одной или нескольких метеорологических величин по запросу диспетчера УВД или по команде руководителя полетов.

**Наблюдатель.** Лицо, которому разрешено присутствовать при расследовании в целях наблюдения за ходом расследования.

**Причины авиационного происшествия или инцидента.** Действие, бездействие, обстоятельства, условия или их сочетание, которые привели к авиационному происшествию или инциденту.

**Прогноз погоды.** Описание метеорологических условий, ожидаемых в определенный момент или период времени в определенной зоне или части воздушного пространства.

**Расследование.** Процесс, осуществляемый с целью предотвращения авиационных происшествий и инцидентов. Он включает сбор и анализ информации, подготовку заключений, установление причин происшествия и подготовку рекомендаций по обеспечению безопасности полетов.

**Расследователь авиационного происшествия.** Лицо, занимающееся расследованием авиационных происшествий, инцидентов и других происшествий, угрожающих безопасности полетов авиации.

**Рекомендация по обеспечению безопасности.** Предложение специально уполномоченного органа, проводящего расследование, сделанное на основе информации, полученной при расследовании, с целью предотвращения авиационных происшествий или инцидентов.

**Репрезентативность метеорологических наблюдений.** Характерность (показательность) метеорологических данных для состояния атмосферы, определяемых (измеряемых) на аэродроме.

**Серьезный авиационный инцидент.** Авиационный инцидент, обстоятельства которого указывают на то, что едва не имело место авиационное происшествие.

**Советник.** Лицо, назначенное государством в силу наличия у него соответствующей квалификации в целях оказания помощи уполномоченному представителю этого государства в расследовании.

**Фактор.** Любое условие, явление, обстоятельство, отказ системы авиационной или наземной техники, агрегатов, по которым выявлена связь с авиационным происшествием, инцидентом или другим видом классифицируемых событий.

**Факторы метеорологические.** Метеорологические условия, отказ метеоприборов, оборудования и связи, ошибки в работе персонала АМСГ (АМЦ).

**Эксперт/специалист.** Лицо, приглашенное для участия в проведении расследования в силу наличия у него специальных знаний, умений или опыта.

**VOLMET.** Метеорологическая информация для экипажей воздушных судов, находящихся в полете.

## **Глава 2. ЦЕЛЬ РАССЛЕДОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ТРЕБОВАНИЯ ИКАО К РАССЛЕДОВАТЕЛЯМ**

### **2.1. Цель расследования**

Целью расследования авиационных происшествий (АП) является выяснение фактов и обстоятельств, относящихся к происшествиям, для определения их истинных или вероятных причин и принятия соответствующих мер по недопущению повтора по аналогичным причинам авиационных происшествий (инцидентов) и способствующих им факторов.

По своему характеру расследование авиационных происшествий не должно быть обвинительным, его цель — предотвращение, а не наказание. Поэтому на полномочные органы, занимающиеся расследованием авиационных происшествий, не возлагается обязанность по установлению вины или ответственности. Эта функция является прерогативой судебных органов.

В метеорологическом отношении целью расследования авиационных происшествий, так же как и инцидентов, является определение степени влияния условий погоды и (или) качества метеорологического обеспечения полетов на АП (инцидент) и разработка мероприятий по их предотвращению.

### **2.2. Требования ИКАО к расследователям**

Расследование авиационных происшествий — это чрезвычайно специфическая деятельность, которую может выполнить только квалифицированный персонал, обладающий многими качествами, среди которых не последнюю роль играют преданность своему делу, старательность и терпение. Непременными атрибутами его профессии должны быть высокие технические навыки, настойчивость и логическое мышление, а основными личностными принципами — скромность и уважение человеческого достоинства. От квалификации эксперта зависят полнота и качество полученных результатов, их соответствие высоким стандартам расследования авиационных происшествий и соблюдение сроков представления отчетов о них.

Основное внимание при расследовании авиационных происшествий и инцидентов должно уделяться сбору сведений о погоде в районе АП, анализу и оценке фактических метеорологических условий в момент авиационного события, а также определению степени их влияния на авиационное происшествие (инцидент).

## **Глава 3. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ ДЕЙСТВИЯ И ОПОВЕЩЕНИЕ ОБ АВИАЦИОННОМ ПРОИСШЕСТВИИ (ИНЦИДЕНТЕ)**

Важным условием качественного расследования АП и инцидентов, если они имели место на аэродроме или в районе аэродрома, является проведение полного комплекса метеорологических наблюдений с использованием всего имеющегося оборудования (МРЛ, дополнительные датчики для измерения параметров ветра и т.д.).

В связи с тем, что условия погоды изменчивы во времени и пространстве, сведения о них будут тем достовернее, чем ближе по времени к авиационному событию будет время проведения внеочередных наблюдений.

При получении сигнала «ТРЕВОГА», не дожидаясь дополнительных указаний, в соответствии с инструкцией, разрабатываемой в каждом авиапредприятии и определяющей обязанности конкретных должностных лиц при авиационных происшествиях (инцидентах), техник-метеоролог производит внеочередное наблюдение за фактической погодой в полном объеме. Результаты внеочередного наблюдения за фактической погодой оформляются Актом за подписью техника-метеоролога и руководителя полетов. В ночное время, выходные и праздничные дни — техником-метеорологом, синоптиком и руководителем полетов (старшим диспетчером). Указанные акты должны оформляться во всех случаях независимо от того, совпало или нет время авиационного происшествия (инцидента) с установленными сроками метеорологических наблюдений на аэродромах.

В акте должны содержаться следующие сведения:

- день месяца, срок наблюдения в часах и минутах;
- направление и скорость ветра у земной поверхности;
- видимость и дальность видимости на ВПП;
- явления текущей погоды;
- количество, форма и высота нижней границы облаков (вертикальная видимость);
- температура воздуха и точка росы;
- атмосферное давление;
- информация о состоянии ВПП и коэффициенте сцепления;
- дополнительная информация.

Если аварийная ситуация создалась на эшелоне и полет закончился авиационным происшествием, необходимо организовать сбор бортовой погоды от экипажей воздушных судов (прежде всего однотипных ВС), выполнявших полеты по данной воздушной трассе до и после авиационного происшествия. При этом информация, полученная от экипажей воздушных судов, представляет тем большую значимость, чем она ближе по времени к развитию аварийной ситуации (авиационному происшествию). Эту работу, до прибытия комиссии по расследованию АП, должны организовать руководители полетов (старшие диспетчеры) с участием синоптиков АМСГ (АМЦ).

После установления факта авиационного происшествия (инцидента) начальник АМСГ (АМЦ) или лицо, его замещающее, совместно с начальником службы движения (руководителем полетов или диспетчером) производят изъятие с описью метеорологической документации:

- журнал с записью метеорологических наблюдений на ОПН;
- журнал с записью данных о погоде, полученной от экипажей воздушных судов в период полетов и после посадки ВС;
- ленты самописцев регистраторов метеорологической дальности видимости;
- распечатка архива автоматизированных метеорологических станций (при их наличии);
- бланк с записью прогнозов (корректировок к прогнозам) погоды и предупреждений по аэродрому, маршруту (району полетов);
- другая документация, характеризующая метеорологические условия и метеорологическое обеспечение данного полета на момент авиационного происшествия или инцидента (приземные и высотные карты, АКП, прогнозы погоды по маршруту, районам полетов). Изъятая документация опечатывается и хранится до прибытия комиссии по расследованию авиационного происшествия (инцидента). Подлинники изъятых документов с описью хранятся в авиапредприятии, второй экземпляр документации (копии) — у начальника АМСГ (АМЦ).

Изъятая документация выдается председателю комиссии по расследованию или члену комиссии, уполномоченному председателем комиссии.

Начальники АМСГ (АМЦ) оповещают об авиационном происшествии (инциденте) соответствующие УГМС и метеоагентства, которые обеспечивают передачу этой информации в Росгидромет (рис.3.1).



Рис. 3.1. Схема оповещения об авиационных происшествиях и инцидентах

В оповещение включаются следующие сведения:

- вид авиационного события (катастрофа, авария, поломка, инцидент, серьезный инцидент);
- дата и время (местное и UTC), место авиационного происшествия (инцидента);
- тип воздушного судна;
- характер задания, номер рейса с указанием пункта вылета и пункта назначения;
- обстоятельства авиационного происшествия (инцидента), достоверно известные к моменту подачи оповещения.

Метеорологические условия (с указанием времени наблюдений):

- направление и скорость ветра у земной поверхности;
- метеорологическая видимость и дальность видимости на ВПП;
- количество, форма и высота нижней границы облаков или вертикальная видимость;
- явления текущей погоды;
- информация о состоянии ВПП и коэффициенте сцепления;
- дополнительная информация (закрытие облаками гор, сопков и других высоких препятствий).

**П р и м е ч а н и е .** В службах УВД и в АМСГ (АМЦ) должна быть организована сверка часов по сигналам точного времени.

Если авиационное происшествие произошло вне аэродрома, то в первоначальное донесение включаются сведения о погоде в районе авиационного происшествия на момент его составления. Недостаток сведений о погоде не должен являться причиной задержки отправления первоначального донесения.

## **Глава 4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАССЛЕДОВАНИЯ**

### **4.1. Создание подкомиссий и рабочих групп**

По прибытии на место авиационного происшествия (инцидента) председатель комиссии по расследованию проводит организационное заседание, на котором объявляет приказ о назначении комиссии, заслушивает должностных лиц, осуществлявших первоначальные действия на месте происшествия, об обстоятельствах и проделанной работе, создает рабочие органы комиссии и назначает их руководителей, определяет основные направления работ на начальном этапе расследования, дает необходимые оперативные указания [7].

В составе летной подкомиссии создается группа управления воздушным движением, радиосветотехнического, метеорологического и аэродромного обеспечения. В состав этой группы включаются в качестве члена комиссии представитель Росгидромета или его территориального органа. По решению Председателя комиссии по расследованию авиационного происшествия (инцидента) может быть создана самостоятельная группа метеорологического обеспечения в составе летной подкомиссии.

При расследовании авиационных происшествий, имевших место на международном аэродроме, группа метеорологического обеспечения проверяет наличие Лицензии на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях у юридического лица, в состав которого входит АМСГ (АМЦ).

АМСГ (АМЦ), прошедшие процедуру сертификации, должны иметь Сертификат ответственности на услуги по авиаметеорологическому обеспечению.

При расследовании авиационных происшествий, произошедших на эшелоне полета, проверяется пакет полетной документации, выданный экипажу, на соответствие требованиям нормативных документов, регламентирующих метеорологическое обеспечение гражданской авиации.

### **4.2. Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими условиями**

Группа экспертов-метеорологов осуществляет сбор и обработку метеорологических данных, имеющих отношение к авиационному происшествию, включая сведения о фактической погоде у земной поверхности и в верхних слоях атмосферы (при необходимости), данные бортовой погоды, метеорологические данные, записанные на самописцы или магнитные носители, а также прогнозы погоды и предупреждения, подготовленные и выпущенные соответствующими метеорологическими органами. При необходимости группа экспертов-метеорологов взаимодействует с другими группами комиссии по расследованию авиационного происшествия, изучает и анализирует следующие вопросы.

### **4.3. Метеорологические наблюдения**

Фактические условия погоды, преобладавшие в районе авиационного происшествия во время развития аварийной ситуации и (или) в момент АП, могут быть определены на основании анализа всей имеющейся информации. Для этого используются:

- местные регулярные и специальные сводки, сводки METAR, SPECI, включая прогнозы типа «тренд»;
- информация по данным МРЛ/РЛС;
- сведения о погоде, полученные от экипажей ВС, включая данные AIREP;

- наблюдения за погодой на гидрометеорологических станциях штормового кольца;
- синоптические карты;
- карты ветра и температуры по высотам;
- радиозондовые наблюдения за ветром и температурой воздуха;
- записи измерителей высоты нижней границы облаков;
- барографические записи диаграммных бланков барографа;
- записи данных о метеорологической видимости (МДВ) и дальности видимости на ВПП (RVR);
- магнитофонные записи переговоров по ГГС;
- прочие записи, например, радиовещательные передачи ATIS и VOLMET (при их наличии).

Кроме этого, более полезная информация может быть получена на основе наблюдений близко расположенных ведомственных метеорологических станций, показателей свидетелей (очевидцев), экипажей других воздушных судов, находившихся в полете, и результата осмотра обломков (повреждения, нанесенные градом, обледенение и т.п.).

От обстоятельств расследуемого авиационного события зависит, какие данные метеонаблюдений и документация подлежат сбору и анализу. Весьма желательно, чтобы расследователь (эксперт) изучал оригиналы, а не копии записанных результатов метеорологических наблюдений.

#### **4.4. Авиационные прогнозы погоды**

При расследовании авиационных происшествий следует анализировать прогнозы погоды, связанные с авиационным происшествием. В зависимости от характера авиационного происшествия (АП) или инцидента могут рассматриваться все или некоторые из следующих прогнозов:

- прогнозы погоды по аэродрому и (или) коррективы к ним;
- прогнозы ветра и температуры в верхних слоях атмосферы;
- прогнозы опасных явлений погоды;
- прогнозы на посадку;
- предупреждения.

Что касается особых явлений погоды, то первостепенное внимание следует уделять сообщениям, содержащим информацию SIGMET, которая может касаться любого этапа полета.

#### **4.5. Метеорологический инструктаж и полетная документация**

Для изучения качества инструктажа и полноты документации экспертам необходимо получить экземпляры всех метеорологических документов, касающиеся рассматриваемого полета. Особое внимание следует уделять любой метеоинформации, запрошенной или полученной летным экипажем и (или) полученной летным экипажем в ходе предполетной подготовки и во время полета. Следует также опросить персонал, обеспечивавший экипаж до вылета и на маршруте полета. В первую очередь необходимо выяснить, был ли экипаж информирован об опасных явлениях погоды на аэродроме назначения, запасных и по маршруту полета.

#### **4.6. Послеполетный анализ**

Эксперты должны дать оценку условий погоды в ходе полета на основе анализа всей метеоинформации, полученной в ходе расследования. Кроме того, тщательно рассмотреть возможность наличия особых явлений, не отраженных в имевшихся в то время прогнозах и результатах наблюдений, особенно при авиационных происшествиях на маршруте, связанных с деформацией или разрушением конструкций. Такие явления могут включать воздействие горных волн, торнадо, сильную турбулентность, переохлажденный дождь (обледенение) и т.п.

#### **4.7. Адекватность обслуживания**

Проверка работы соответствующих средств и служб (дежурных смен) по организации метеонаблюдений, прогнозированию погоды и проведению метеоинструктажа (метеоконсультации) проводится для установления следующих факторов:

- были ли соответствующие правила и процедуры удовлетворительными и точно ли они выполнялись;
- имелись ли несоответствия между нагрузкой и штатом сотрудников;
- эффективно ли использовались в прогнозах и при инструктаже вся имеющаяся метеорологическая информация;
- обеспечивалась ли передача информации соответствующему авиационному персоналу без задержек и в соответствии с установленным порядком.

#### **4.8. Соблюдение инструкций**

В функции расследователя авиационных происшествий не входит рассмотрение дисциплинарных аспектов соблюдения правил и инструкций, но обязательной частью расследования обстоятельств полета является установление того, выполнялись ли соответствующие указания.

В свете расследуемого авиационного происшествия следует также проверить, обеспечивают ли эти указания достаточную безопасность полетов и изложены они в легко воспринимаемой форме.

При рассмотрении этих вопросов необходимо различать документы обязательного и рекомендательного характера.

#### **4.9. Показания свидетелей**

Сбор показаний свидетелей-очевидцев является одной из основных задач расследователя. Полученная таким образом информация может явиться ключом к раскрытию причины авиационного происшествия, поскольку она сопоставляется с вещественными доказательствами. Однако расследователь не должен забывать о том, что свидетелям свойственно ошибаться, поэтому ему нужно проявлять большую осторожность при анализе их показаний, явно противоречащих вещественным доказательствам.

Желательно, чтобы опрос свидетелей носил характер интервьюирования, а не допроса. Когда свидетель-очевидец чувствует себя свободно, когда он знает, что речь идет о предотвращении авиационных происшествий и о безопасности полетов, когда его не прерывают и не запугивают, он с готовностью расскажет о своих наблюдениях. При уточнении условий погоды в момент авиационного происшествия предпочтение следует отдавать авиационным специалистам (очевидцам).

## **Глава 5. РАБОТА ГРУППЫ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ (ИНЦИДЕНТОВ)**

### **5.1. Общее знакомство с обстоятельствами авиационного происшествия**

Общее знакомство, изучение и анализ обстоятельств авиационного происшествия экспертами-метеорологами имеет важное значение. Они определяют дальнейший ход и установление факта зависимости авиационного происшествия от влияния метеоусловий и (или) качества метеорологического обеспечения полета.

При необходимости устанавливаются или уточняются: район, высота полета воздушного судна, время суток и другие обстоятельства, при которых развивалась аварийная ситуация. В зависимости от обстоятельств авиационного происшествия эксперты должны сосредоточить главное внимание на изучении и анализе метеоусловий, наблюдавшихся в момент авиационного происшествия (инцидента) и качества метеорологического обеспечения с целью определения степени их влияния на исход полета.

Если авиационное происшествие произошло на маршруте при полете по ППП, то особое внимание необходимо обращать на такие метеоусловия, как:

- турбулентность в ясном небе (ТЯН);
- обледенение в облаках и (или) осадках;
- грозы и сопутствующие им явления (разряды атмосферного электричества, турбулентность, шквал, ливневой дождь, град).

При авиационном происшествии, имевшем место при полетах по ПВП ниже нижнего эшелона, причиной развития аварийной ситуации может быть комплекс метеоявлений, то есть обледенение, осадки, видимость под облаками, местные ветры, атмосферная турбулентность и грозовая деятельность.

На этапе посадки воздушного судна наибольшее внимание уделяется турбулентности в нижнем слое атмосферы, сдвигу ветра, видимости на ВПП и в районе подходов к ней, высоте нижней границы облаков, ветровому режиму на ВПП.

В зависимости от обстоятельств авиационного происшествия группа метеоспециалистов (экспертов) готовит необходимый материал для оценки степени влияния метеоусловий и (или) недостатков в метеорологическом обеспечении полета на создание аварийной ситуации, приведшей к авиационному происшествию.

### **5.2. Оценка работы метеорологических приборов и оборудования**

Оценка работы метеорологических приборов и оборудования должна производиться в обязательном порядке в случаях, если авиационное происшествие произошло на аэродроме (посадочной площадке) при взлете и посадке воздушных судов. Это позволит выяснить, насколько объективной и достоверной информацией о погоде располагал экипаж. Если авиационное происшествие связано с грозовой деятельностью на этапах снижения или захода на посадку воздушного судна, то необходимо проверять работу метеорологических радиолокаторов (МРЛ) там, где они имелись и где их информация выдавалась органам ОВД и экипажам воздушных судов.

Проверку метеоприборов и оборудования должны производить компетентные специалисты. В ходе проверки устанавливается соответствие оборудования действующим Нормам годности к эксплуатации гражданских аэродромов (НГЭА). В случае не соответствия состава и размещения метеоборудования НГЭА, оформляется в установленном порядке

«Заключение по обеспечению эквивалентного уровня безопасности полетов при наличии отступлений от требований НГЭА».

Эксплуатируемое на аэродроме метеорологическое оборудование (АМИС, МРЛ, измерители видимости, ВНГО, параметров ветра, барометры) должно иметь удостоверение годности. Метеорологическое оборудование, выработавшее ресурс и не имеющее документа на его продление к эксплуатации не допускается.

Регламентное обслуживание, поверочные, профилактические и ремонтные работы должны проводиться своевременно и оформляться соответствующими записями в формулярах или журналах. Если авиационное происшествие было связано с неправильной информацией об атмосферном давлении на аэродроме, необходимо произвести сверку рабочего барометра с контрольным. Результаты проверки должны быть оформлены отдельным актом, подписанным компетентными техническими специалистами АМСГ (АМЦ) и членами группы метеоспециалистов, привлеченными к расследованию в качестве членов комиссии или экспертов.

Результаты измерений значений метеорологических величин неисправными приборами не должны использоваться в ходе расследования авиационного происшествия. В этом случае значение конкретной величины рассчитывается экспертами с привлечением дополнительных материалов.

### **5.3. Оценка метеорологических наблюдений**

На безопасность полетов влияет качество метеорологических наблюдений и точность измерения метеорологических величин. Прежде чем анализировать материал о фактической погоде в период развития аварийной ситуации и в момент авиационного происшествия, эксперт-метеоролог должен ознакомиться с организацией метеорологических наблюдений на аэродроме, где имело место авиационное происшествие, поскольку метеорологические наблюдения должны наиболее полно отражать метеоусловия на аэродроме, то есть наблюдения должны быть репрезентативными.

При оценке инструментальных наблюдений необходимо учитывать требования к точности измерений метеорологических величин, достигнутых на настоящее время в практике метеорологического обеспечения гражданской авиации. Эти требования указаны в «Нормах годности», Наставлении по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА-95), в Приложении 3 к Конвенции о международной гражданской авиации.

Метеоинформация, передаваемая экипажам ВС (органам УВД), всегда отличается от истинного значения на некоторую случайную величину. Она обусловлена, как правило, инструментальной и (или) методической погрешностью, связанной как с техническими возможностями оборудования, так и со значительной пространственной и временной изменчивостью измеряемых метеорологических величин.

При визуальных наблюдениях за погодой, производимых на неклассифицированных аэродромах и на посадочных площадках или при отказах метеоприборов, оценка метеонаблюдений производится с использованием дополнительного материала. Это могут быть сведения о погоде, полученные со штормового кольца вокруг аэродромов или близко расположенных гидрометеостанций, данные метеослужб других ведомств, а также сведения о погоде, полученные от экипажей ВС или очевидцев (к информации последних следует подходить критически).

Если оценивается количество и форма облаков, которые всегда определяются визуально, следует учитывать уровень профессиональной подготовки и опыт работы техника-метеоролога, а также синоптическую ситуацию, определяющую погоду в

интересующий промежуток времени. Например, вид и характер осадков должны соответствовать определенной форме облаков, которая в свою очередь зависит от характера атмосферных процессов (фронтальный или внутримассовый), определяющих условия погоды в районе авиационного происшествия.

#### **5.4. Оценка предупреждений и прогнозов погоды**

Оценка качества предупреждений об особых явлениях погоды (штормовых предупреждений) и авиационных прогнозов погоды должна производиться во всех случаях, если авиационные происшествия связаны с влиянием метеоусловий. Эксперты-метеорологи должны тщательным образом проанализировать содержание авиационных прогнозов погоды и предупреждений, с которыми экипаж воздушного судна был ознакомлен во время предполетной подготовки и при принятии решения на вылет, а также те прогнозы и предупреждения, которые были сообщены специалистам органов ОВД на инструктаже и во время дежурства, а также экипажу во время выполнения полета. Анализ должны подвергаться прогнозы и предупреждения по аэродромам назначения и запасным, прогнозы на посадку, а также метеоинформация, вещавшаяся в эфир по радиоканалам ATIS и VOLMET в интересующий комиссию по расследованию промежуток времени.

При анализе прогностической информации необходимо:

- определить насколько точно соблюдены требования руководящих документов при составлении текста прогноза погоды или предупреждения, особое внимание обратить на содержание, последовательность изложения, терминологию и детализацию по времени и месту прогнозируемых условий погоды;

- определить заблаговременность составления прогнозов и предупреждений, передачу их органам ОВД и АМСГ других аэропортов, то есть оценить, насколько полно выполнены требования Инструкции по метеорологическому обеспечению полетов на данном аэродроме;

- выяснить какие исходные материалы и данные при составлении прогноза и предупреждения были использованы синоптиком, их полноту и качество, включая использование расчетных методов прогноза метеорологических условий;

- определить, как использовались в практической работе сведения, поступавшие от гидрометеостанций системы Росгидромета и других ведомств;

- проанализировать, как было организовано изучение ранее неоправдавшихся прогнозов погоды и предупреждений, какие мероприятия намечались по устранению вскрытых недостатков и как они выполнялись;

- выяснить, учитывалось ли влияние местных физико-географических особенностей на изменчивость интересующих метеоэлементов и опасных явлений погоды при составлении прогнозов;

- произвести оценку прогнозов и предупреждений, оказавших влияние на безопасность полета, используя действующую инструкцию по оценке авиационных прогнозов.

В тех случаях, когда обнаружится, что прогноз какой-то метеорологической величины или явления погоды не оправдался и сопутствовал неблагоприятному исходу полета, целесообразно выявить причины, которыми могут быть:

- отсутствие необходимых материалов и сведений при составлении прогнозов погоды;

- слабая профессиональная подготовка, несерьезное отношение к работе, проявляющееся в поверхностном анализе исходных материалов, особенно положения атмосферных фронтов на кольцевых картах и микрокольцовках;

– ограниченность времени на анализ синоптических, аэрологических и радиолокационных материалов, обусловленная перегрузкой синоптика другими видами работ (указать каких);

– неполнота мер, безынициативность, неоперативность при сборе, передаче и анализе метеоинформации, необходимой для оценки метеоусловий полета, уточнения прогноза.

При оценке оправдываемости и анализе прогнозов погоды и предупреждений важно выяснить, часто ли данный синоптик допускал ошибки при прогнозировании в подобной синоптической обстановке или это ошибки, вызванные отсутствием надежных методов прогноза рассматриваемых метеорологических величин.

Вероятностные и ориентировочные прогнозы оценке не подлежат.

## **Глава 6. АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ, ФАКТИЧЕСКОЙ И ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ПОГОДЫ ПО АЭРОДРОМУ НАЗНАЧЕНИЯ, ЗАПАСНЫМ И МАРШРУТУ ПОЛЕТА**

### **6.1. Анализ синоптического положения**

При расследовании авиационного происшествия, связанного с условиями погоды, необходимо, прежде всего выяснить, какие барические образования (циклон, антициклон и т.д.) определяли характер метеоусловий в период полета, а затем тщательно проанализировать наличие и эволюцию атмосферных фронтов, которые пересекались воздушным судном при выполнении полета, или вблизи которых происходил полет, завершившийся авиационным происшествием или инцидентом.

Анализируя приземные карты погоды и карты абсолютной и относительной барической топографии, необходимо определить:

– положение центров барических образований на картах, которые были продемонстрированы синоптиком при проведении консультации как диспетчерского, так и летного состава;

– направление и скорость смещения барических образований, используя синоптические карты за два-три последовательных срока;

– характер эволюции барических образований (углубление или заполнение циклонов, образование волн на атмосферных фронтах, усиление или ослабление антициклонов, появление новых образований и т.п.);

– воздушные массы, в которых формировались области высокого и низкого давления.

При анализе географического положения атмосферных фронтов следует, прежде всего, определить, какие воздушные массы они разделяли и насколько правильно проведены фронтальные разделы на приземных картах погоды, включая микрокольцовки.

Неожиданные встречи воздушных судов с опасными метеоявлениями в подавляющем большинстве случаев происходят в тех районах, где синоптики на приземных картах не проводят атмосферные фронты, которые слабо выражены в поле облачности, не отмечают других метеоэлементов и не соблюдают последовательности в анализе их перемещения.

Детальный анализ синоптического положения в районе авиационного происшествия оказывает существенную помощь специалистам в оценке фактического состояния погоды в период развития аварийной ситуации и ее влияния на исход полета.

## **6.2. Анализ фактической и прогнозируемой погоды по аэродромам назначения, запасным и маршруту полета**

Анализ фактической и прогнозируемой погоды по аэродромам назначения, запасным и маршруту полета и оценки действий экипажа, органов управления воздушным движением и специалистов метеослужбы производится в целях возможного предотвращения авиационных происшествий. Данный анализ приобретает большое значение, когда опасные метеоявления или условия погоды ниже минимума указывались в прогнозе по аэродрому или маршруту полета. Если же экипаж не располагал информацией о неблагоприятных фактических или прогнозируемых метеоусловиях на том или ином этапе полета и воздушное судно неожиданно попало в зону с опасными явлениями погоды и потерпело авиационное происшествие, то задачей экспертов-метеорологов является выяснение причин не доведения указанной информации до экипажа.

В практике расследования авиационных происшествий имелись случаи, когда авиационные происшествия происходили на аэродромах назначения из-за влияния неблагоприятных метеоусловий, в то время как фактические и (или) прогнозируемые метеорологические условия на запасных аэродромах позволяли благополучно произвести посадку. Значительно реже имели место случаи, когда фактические метеоусловия, предусмотренные прогнозом, ухудшались одновременно на аэродромах назначения и запасных. Благополучная посадка при этом не гарантировалась. В подобных ситуациях эксперты-метеорологи обязаны провести полный анализ фактических метеоусловий и прогнозов погоды в равной степени, как на аэродроме назначения, так и на запасных, сделать вывод о возможности благополучного исхода полета.

При анализе метеоусловий по маршруту полета, приведших к авиационному происшествию, что чаще всего происходит при полетах по ПВП легкомоторной авиации, необходимо установить, был ли экипаж информирован о наличии неблагоприятных метеоусловий, и имелась ли возможность возврата в пункт вылета или посадки на запасном аэродроме с благоприятными метеоусловиями.

Если авиационное происшествие произошло из-за понижения высоты нижней границы облаков, обледенения в облаках и (или) осадках, ухудшения видимости или сильной турбулентности, то необходимо подвергнуть тщательному анализу маршрутный или площадной прогноз погоды с целью оценки возможности спрогнозировать указанные опасные явления погоды и своевременно предупредить о них экипаж воздушного судна. При этом следует также изучить, имелись ли на АМСГ сведения о фактическом ухудшении метеоусловий по маршруту полета, которые могли быть получены от авиа- и гидрометеостанций, расположенных по маршруту полета, или экипажами других воздушных судов.

## **6.3. Анализ акта о фактической погоде в момент авиационного происшествия (инцидента)**

Анализ акта о фактической погоде в момент авиационного происшествия требуется в случаях, если оно произошло на аэродроме или вблизи него. Такое название акта «о фактической погоде в момент авиационного происшествия» условное потому, что внеочередные наблюдения за погодой по сигналу «ТРЕВОГА» производятся после авиационного происшествия. Разница во времени между авиационным событием и составлением акта о

фактической погоде складывается из времени, которое занимает время установления факта авиационного происшествия, прохождения до АМСГ (АМЦ) информации об АП (сигнал «ТРЕВОГА») и времени, которое затрачивается на производство внеочередных наблюдений. Последнее зависит от уровня оснащения АМСГ техническими средствами производства метеорологических наблюдений. При наличии автоматизированных систем, времени на производство комплекса метеорологических наблюдений затрачивается меньше, например, на категорированных аэродромах по сравнению с аэродромами местных воздушных линий или другими аэродромами, не имеющими автоматизированных наземных систем измерения метеорологических величин. Поэтому при оформлении Акта после авиационного происшествия следует указывать время производства внеочередных наблюдений по сигналу «ТРЕВОГА». При этом группа метеорологического обеспечения должна установить, были ли сверены часы на АМСГ (АМЦ) по сигналам точного времени.

Практика расследований авиационных происшествий показывает, что в ряде случаев сверка часов по сигналам точного времени не организована. Имели место случаи, когда АМСГ (АМЦ) не были включены в схему оповещения по сигналу «ТРЕВОГА».

При изучении акта о фактической погоде (в момент близкий к авиационному происшествию) следует обращать внимание, насколько фактическая погода согласуется с ранее проведенным анализом синоптического положения на аэродроме в период развития аварийной ситуации и в момент авиационного происшествия. Если у экспертов имеются сомнения в содержании фактической погоды, указанной в Акте, то отдавать ему предпочтение или брать его за основу не следует. Обосновать «недоверие» к Акту можно на основе доказательной документации с использованием дополнительных материалов. В ином случае могут быть допущены необоснованные обвинения в отношении техника-наблюдателя, производившего внеочередные наблюдения после поучения сигнала «ТРЕВОГА». В качестве доказательной документации могут быть использованы данные самописцев приборов и других средств документирования фактической погоды, которые должны сравниваться с фактической погодой в момент производства внеочередных наблюдений. Кроме того, могут использоваться сведения, полученные от экипажей воздушных судов, авиаметеостанций других ведомств, например, государственной авиации, показания свидетелей-очевидцев или визуальные наблюдения, когда средства документирования отсутствуют.

## **Глава 7. АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В МОМЕНТ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ (ИНЦИДЕНТА)**

### **7.1. Общие положения**

Изучение обстоятельств авиационного происшествия, анализ синоптического положения, изучение акта о фактической погоде позволяют определить направления работ группы экспертов-метеорологов, то есть установить или предположить, какие метеоэлементы и явления погоды повлияли или могли повлиять на развитие аварийной ситуации и исход полета.

При анализе данных расшифровки МСРП следует иметь в виду, что в зависимости от типа самолета, устанавливаются соответствующие самописцы параметров полета и речевые для записи переговоров.

В качестве самописцев параметров полета применяются МСРП-12, МСРП-64, МСРП-256, КЗ-63 и другие. Эти самописцы позволяют фиксировать отклонение рулей управления самолетом, режимы полета, режимы работы двигателей, систем, приборную скорость и барометрическую высоту полета, угол отклонения элеронов, руля высоты, руля направления, отклонение механизации и другие параметры. Используя эти данные, можно рассчитать траекторию полета в профиле и плане, определить курс, скороподъемность, снижение самолета, с большой точностью установить схему полета, перегрузки, а также наличие турбулентности или сдвига ветра.

Речевыми самописцами являются «МАРС-Б» и «МС-61». Расшифровка данных речевых самописцев дает возможность определить (уточнить) метеообстановку, ее влияние на развитие аварийной ситуации и исход полета с учетом возможных отклонений при наличии временной и пространственной изменчивости метеорологических величин.

При расследовании авиационного происшествия, прямо или косвенно связанного с влиянием метеоусловий, прежде всего, необходимо установить, какие материалы следует подвергнуть тщательному анализу. Если расследуемое авиационное событие произошло на аэродроме, в первую очередь анализируются данные наблюдений АМСГ (АМЦ), а затем другие сведения (например, результаты опроса очевидцев и т.п.). Если район события находится вне аэродрома, необходимо особое внимание обратить на анализ наблюдений метеостанцией, расположенных вокруг места события, сведений, поступивших от экипажей воздушных судов, а также данных радиолокационных наблюдений всех РЛС, в зоне обзора которых находится район авиационного события.

При оценке метеорологической дальности видимости (МДВ), высоты нижней границы облаков и других метеоэлементов, в первую очередь анализируются (если они имеются) данные РТА (рулонно-телеграфного аппарата), архива АМИС, самописцев.

При анализе и оценке метеоусловий на аэродромах, оборудованных автоматизированными системами типа АМИС РФ, КРАМС-4 необходимо использовать магнитные (бумажные) носители архивов данных за интересующий период времени, заверенные представителем АМЦ (АМСГ). Архив данных должен копироваться с жесткого диска того компьютера, который использовался для обработки и передачи данных в интересующий период времени (рабочий компьютер).

В соответствии с п. 6.4.2 документа «Нормы годности к эксплуатации гражданских аэродромов (НГЭА - 92)» вся передаваемая на средства отображения метеоинформация должна регистрироваться на технических средствах регистрации. Таким образом, все АМИС должны обеспечивать ведение архивов метеосводок, переданных на средства индикации (типа «Метеодисплей, ПИ-02» и др.) в пределах аэродрома. Эксплуатационная документация должна содержать точное описание формата этих сводок и указание полного имени архивного файла на жестком диске центральной системы станции.

Все АМИС должны обеспечивать ведение архивов инструментальных измерений значений метеорологической оптической дальности (MOR). Эксплуатационная документация должна содержать точное описание формата файла архива видимости и указание полного имени архивного файла на жестком диске центральной системы станции.

Все датчики видимости, имеющие сертификат типа оборудования МАК (ФИ-2, ФИ-3, МІТРАS, LT31, FD12, FD12P, Пеленг), обеспечивают скользящее осреднение измеренных значений за 1 минуту. Поэтому в архиве данных инструментальных наблюдений за видимостью на центральной системе АМИС хранятся значения видимости, осредненные за 1 минуту.

Результаты инструментальных наблюдений всех остальных метеорологических величин не могут непосредственно использоваться при анализе метеорологических условий на аэродроме. Это связано с тем, что поступающие от датчиков результаты мгновенных измерений значений метеовеличин используются центральной системой только как ис-

ходные данные для получения необходимых потребителям параметров. Типичные интервалы измерения мгновенных значений составляют для параметров ветра 3-5 с, для высоты нижней границы облаков 1-15 с, для давления 15-60 с. При передаче данных потребителям период осреднения для параметров ветра должен составлять 2 и 10 мин, для значений видимости 1 и 10 мин, для высоты нижней границы облаков - значение второго минимума за 2 мин. В связи с этим действующие руководящие документы не предусматривают обязательной архивации результатов инструментальных измерений параметров ветра, высоты нижней границы облаков, температуры, влажности и давления.

При отсутствии автоматизированных систем для каждой метеорологической величины, оказавшей влияние на исход авиационного события, строится график изменения ее за интересующий период времени. По оси абсцисс откладывается время наблюдений, по оси ординат – значение метеорологической величины (например, ВНГО, скорость и направление ветра).

При несовпадении времени события со временем наблюдения используются интерполяционные методы для интерполируемых метеовеличин.

В отдельных случаях, особенно когда в анализируемый период наблюдения производили разные метеоспециалисты, целесообразно проверить однородность отсчетов метеорологических величин путем проведения контрольных измерений.

При оценке МДВ по естественным ориентирам или щитам важно убедиться, что наблюдатели знают точное расстояние от места наблюдения до ориентира, а если возникает необходимость, — то и провести определение расстояний до ориентиров или щитов, используя тригонометрический метод или карты крупного масштаба. Результаты проверок включить в отчет группы метеообеспечения.

Если возникает необходимость уточнить синоптическую ситуацию, рекомендуется составить оперативную авиационную карту по данным фактической погоды ближайших АМСГ и гидрометеостанций. Она может быть составлена и по телеграммам сводок METAR за любой срок, если требуется уточнить карту приземного анализа. Для нанесения могут быть использованы бланки карты формы АКП.

При нанесении значений барометрической тенденции необходимо иметь телеграммы за 3 часа назад. Но при этом возникает некоторая неточность в характеристике, а также в величине тенденции из-за округления величин атмосферного давления в телеграммах в сторону меньшего значения. Можно проследить только рост или падение давления. Температура наносится в целых градусах Цельсия. Прошедшая погода наносится по предшествующим телеграммам, если за этот период отмечались какие-либо явления.

Направление ветра — истинного или магнитного — наносится одинаково, т.е. магнитный ветер не переводится в истинный, что допустимо, так как это сравнимо с точностью нанесения на карту данных о ветре. Остальные метеорологические элементы наносятся также, как это принято для любых приземных карт. На картах прочерчиваются изобары через 2,5 гПа и проводятся атмосферные фронты. Такими картами, как вспомогательными, можно воспользоваться для получения дополнительной информации при расследовании авиационных происшествий.

## **7.2. Определение количества, формы и высоты нижней границы облаков**

### **7.2.1. Определение количества облаков**

При авиационных происшествиях на аэродромах, где имеются метеорологические подразделения, определение количества облаков сложности не представляет. Для этого используются анализ синоптической обстановки, данные авиаметеостанций и сведения

из акта о погоде в момент авиационного происшествия. При необходимости можно использовать методы интерполяции. Если же авиационное происшествие имело место вне аэродрома; в горах или в мало освещенной в метеорологическом отношении местности, задача экспертов-метеорологов в определении количества облаков, как и других значений метеоэлементов и условий погоды, значительно усложняется. В этих случаях группа метеообеспечения выдает на основании анализа имеющихся материалов и расчетов предполагаемую погоду в месте авиационного происшествия, используя теорию образования облаков и методы их прогноза.

Определение количества облаков или прогноз внутримассовой облачности основывается на изучении характера облаков в тех воздушных массах, в которых выполнялся полет. При этом анализируется суточный ход облачности (если имеются данные для этого) и прослеживается ее изменение в процессе трансформации. Учитываются также и местные особенности района, их вероятное влияние на процессы конденсации и сублимации водяного пара.

Обычно при прогнозе внутримассовой облачности вдоль изогипс рассматриваемого уровня, где определяют облачность, переносят значения разности температуры воздуха и точки росы ( $T - T_d$ ) со средней скоростью потока вдоль участка траектории (вверх по потоку) на исходной карте. После определения адвективных изменений ( $T - T_d$ ) следует внести поправку в изменение этой разности за счет упорядоченных вертикальных движений.

При определении фронтальной облачности учитывают количество облаков и минимальную высоту нижней границы (ВНГО) в зоне фронта на картах погоды за предыдущие сроки наблюдений в различное время суток, суточный ход развития облачности, удаленность от морей и океанов и особенности местности. При сильном росте атмосферного давления обычно наблюдается уменьшение облачности до полных прояснений.

Анализ данных статистической обработки количества облаков при различной синоптической обстановке показывает следующее: *малооблачная погода* наблюдается в центральных частях хорошо развитых антициклонов и на осях гребней при небольшой влажности воздуха; *небольшая* облачность (2-4 октанта) характерна для тех же синоптических условий, что и при малооблачной погоде, но при несколько большей влажности и меньшей устойчивости воздуха (небольшое количество облаков наблюдается в барических седловинах, на периферии циклонов, в малоградиентных областях в темное время суток и над континентальными районами); *переменная* облачность (2-6 или 5-7 октантов) наблюдается на периферии циклонов, в областях размытых фронтов, неустойчивых воздушных масс и прибрежных районах при смещении воздуха с моря на сушу; резко меняющаяся облачность (0-8 октантов) типична для тыловых частей циклонов при прохождении вторичных холодных фронтов; *значительная* или *сплошная* облачность (6-8 октантов) наиболее характерна для центральных частей циклонов и атмосферных фронтов всех типов (сплошная облачность может наблюдаться в холодное время года на западной периферии антициклонов, при вторжении зимой на континент теплого влажного воздуха в теплых секторах циклонов).

Основная трудность в расчете и прогнозе количества облаков заключается в том, что облачные поля не просто перемещаются в пространстве, а подвержены значительным изменениям. Поэтому эксперт должен хорошо знать причины, приводящие к возникновению и разрушению облачности. Особенно значительно изменяется количество облаков вертикального развития, которое связано с условиями конвекции.

Далее приводятся способы определения количества конвективной облачности, основанные на методах ее прогноза.

Количество конвективной облачности на дневное время суток можно определить, используя данные утреннего зондирования атмосферы. Вначале определяют коэффициент стратификации ( $K_{стр}$ ):

$$K_{стр} = \frac{0,3R}{(T - T_d) + (\gamma_a - \gamma)} \cdot (T_{max} - T_0),$$

где  $R$  — среднее значение относительной влажности в слое от верхней границы приземной инверсии до высоты 3000 м;  $(T - T_d)$  — средний дефицит точки росы в момент зондирования атмосферы в слое от земной поверхности до 0,5 км, если разность  $(T - T_d)$  у земной поверхности менее  $1^\circ\text{C}$  и более  $4^\circ\text{C}$ , или в слое от земной поверхности до 0,2 км, если разность  $(T - T_d)$  у земной поверхности составляет  $1-3,9^\circ\text{C}$ ;  $(\gamma_a - \gamma)$  — разность сухадиабатического градиента и среднего фактического вертикального градиента температуры в слое от верхней границы приземной инверсии до высоты 3000 м в момент зондирования атмосферы;  $(T_{max} - T_0)$  разность между максимальной дневной температурой воздуха и температурой в момент утреннего зондирования атмосферы.

**Пример.**  $K_{стр} = 60$ . Используя график, приведенный на рис. 7.1, определим, что экстремальные значения количества облаков составляют 6 (min) и 8 (max) баллов. Следовательно, облачность была в пределах 6-8 баллов (5-7 октантов).

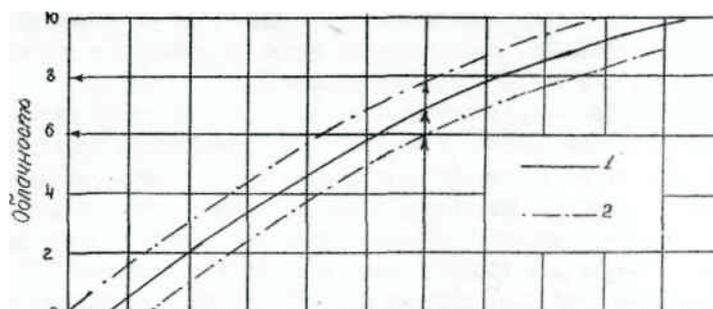


Рис. 7.1. График для определения конвективной облачности:  
1 — наиболее вероятное количество облаков; 2 — предельные значения

Известны и другие способы определения количества облаков в дневные часы. Так, например, для определения максимально возможного количества ( $N_{max}$ ) облаков вертикального развития в баллах использовать формулу

$$N_{max} = 0,075 \cdot \Delta h \pm 1,5,$$

где  $\Delta h$  — толщина конвективно-неустойчивого слоя, мбар; знаки  $\pm$  перед величиной 1,5 позволяют определить максимальное и минимальное значения количества облаков. При расчете может получиться, что  $N_{max}$  окажется более 10. В таких случаях следует считать, что облачность равна 10 баллам (8 октантам) [5]. Если имеется единичное определение количества облаков в октантах (баллах) на АМСГ (АМЦ) или гидрометеостанции, то (в зависимости от расстояния) вероятность того, что в месте авиационного происшествия будет такое же количество облаков, может быть определена по табл. 7.1.

**Вероятность соответствия количества облаков в месте авиационного происшествия количеству, определенному на АМСГ (АМЦ) или гидрометеостанции, в зависимости от расстояния**

Вероятность, %	Расстояние от пункта наблюдения, км
100	0
84	100
65	250
39	500

### 7.2.2. Определение формы облаков

Для расследования авиационных происшествий, имевших место при полете в облаках, а также прямо или косвенно связанных с влиянием облачности, важно правильно определить форму облаков, а затем и особые явления погоды, которые могли повлиять или повлияли на развитие аварийной ситуации (осадки, обледенение, турбулентность, грозы, град и т.д.).

При отсутствии метеонаблюдений в районе авиационного происшествия экспертам-метеорологам нужно использовать все имеющиеся материалы для определения формы облаков. Основная трудность — это учет сложных связей процессов облакообразования с состоянием и изменением полей таких метеорологических величин, как температура, влажность, ветер, вертикальные движения воздуха.

Кроме того, следует учитывать большую изменчивость облачности, что при отсутствии достаточной информации о ее пространственном распределении за счет дискретности наблюдений создает дополнительные сложности. В этих случаях полезно использовать данные МРЛ и ИСЗ.

Начальную основу определения форм облачности составляет воздушная масса или атмосферный фронт, которые определяли погоду в районе авиационного происшествия. К начальным характеристикам облачности следует ввести поправки:

- на эволюцию системы облаков в связи с изменениями свойств воздушной массы или фронта в процессе их перемещения и эволюцию барической системы, с которой эта масса или фронт связаны;
- влияние особенностей района (маршрута) на характеристики облачности, включая изменение свойств подстилающей поверхности;
- суточный ход облачности в связи с суточным ходом других метеорологических элементов.

Такая схема является общей для определения большинства метеоэлементов: перемещение (адвекция) + эволюция (трансформация) + суточный ход + влияние местных условий.

При рассмотрении свойств воздушных масс следует иметь в виду, что для неустойчивых воздушных масс характерны кучевые и кучево-дождевые облака; для устойчивых воздушных масс характерны слоистые и слоисто-кучевые облака; для теплых фронтов характерна система перистых — перисто-слоистых — высоко-слоистых — слоисто-дождевых и разорванно-слоистых облаков (*Ci-Cs-As-Ns* и *St fr*); для холодных фронтов характерны кучево-дождевые облака (*Cb*).

Эти общие свойства воздушных масс и фронтов являются грубым приближением к действительности. В каждом конкретном случае карты погоды позволяют проанализировать системы облаков и их эволюцию значительно детальнее.

Следует учитывать многообразие форм облаков при различных синоптических процессах.

В первую очередь необходимо обращать внимание на те формы облаков, которые преобладали, продолжали развиваться и имели наибольшее влияние на условия погоды или связаны с выпадением осадков.

Возникшая система облаков, особенно при ее большой начальной пространственной протяженности, может длительное время существовать и после того, как исчезнут факторы, которые вызвали ее появление. В дальнейшем эта система, перемещаясь, постепенно распадается. Остатки ее могут оказаться в районе, весьма удаленном от района начального образования.

Таким образом, определение как количества, так и формы облаков основывается на анализе синоптического положения. Для различных синоптических процессов характерно следующее.

Безоблачная погода наблюдается:

— в холодную половину года — в центральной части антициклонов, в районе осей барических гребней, ночью иногда в тыловой части циклонов (при большой сухости и устойчивой стратификации холодного воздуха или при быстром возрастании устойчивости под влиянием охлаждения над снежным покровом и нисходящих движений воздуха); признаком ночных прояснений в тылу циклона часто служит интенсивный рост давления;

— в теплую половину года над сушей — в любой части области высокого давления, в барических седловинах, часто в теплых секторах циклонов и ночью в тылу циклона при большой сухости воздуха, когда уровень конденсации лежит высоко, и особенно — когда ниже уровня конденсации имеется слой инверсии.

При тех же синоптических условиях, что и для ясной погоды, но при несколько большей влажности воздушных масс, отмечается небольшая облачность (0-2 или 2-4 октанта). Характерные формы облаков днем — кучевые, в остальное время суток — слоисто-кучевые, высоко-кучевые, разорванно-слоистые (приподнятый туман).

Для неустойчивых воздушных масс, а также для фронтов характерна переменная облачность (2-6 или 5-7 октантов). Типичные формы облаков — кучевые, кучево-дождевые, слоисто-кучевые, высоко-кучевые, разорванно-слоистые.

Для резко меняющейся облачности (0-8 октантов) характерна основная форма облаков — кучево-дождевые, обычно сопровождающиеся разорванно-слоистыми облаками. Между последовательно проходящими через тот или иной пункт кучево-дождевыми облаками наступают прояснения, иногда полные. В любое время года подобные условия могут наблюдаться в тылу циклона при большой неустойчивости холодной массы или при прохождении вторичных холодных фронтов и линий неустойчивости.

Для облачной погоды с прояснениями (6-8 октантов с кратковременными уменьшениями облачности) характерны те же формы облаков, что и при переменной облачности, но чаще всего отмечаются слоисто-кучевые облака. Аналогичны и синоптические условия, особенно размытые фронты и процессы, при которых происходит уменьшение неустойчивости влажной воздушной массы и облака кучевых форм растекаются по горизонтали, превращаясь в слоисто-кучевые.

Для сплошной облачности (8 октантов) характерны основные слоистые, слоисто-кучевые, слоисто-дождевые, плотные высоко-слоистые формы облаков.

В холодную половину года сплошная облачность упомянутых форм наблюдается в основном в зонах теплых фронтов и фронтов окклюзии, в центральных частях и теплых

секторах циклонов, а также на окраинах антициклонов, особенно на северных, примыкающих к теплым секторам циклонов. При значительной влажности воздуха даже центральная часть антициклона может быть занята сплошной слоистой или слоисто-кучевой облачностью. Это же относится к барическим седловинам, пологим барическим гребням, тыловым частям циклонов.

В теплую половину года сплошная облачность наблюдается преимущественно перед линией теплого фронта и вблизи центра циклона.

Кроме анализа синоптического положения в районе авиационного происшествия, особенно при отсутствии метеонаблюдений, для определения формы облаков следует использовать данные близко расположенных гидрометеостанций или показания очевидцев, свидетельствующих о наличии или отсутствии осадков. Опытные специалисты без особых затруднений могут установить связь формы облаков с видом и характером осадков. При необходимости можно использовать учебники по авиационной метеорологии или Методическое пособие по наблюдениям за погодой на неклассифицированных аэродромах и на посадочных площадках работниками гражданской авиации.

### **7.2.3. Определение высоты нижней границы облаков**

Высота нижней границы облаков (ВНГО) претерпевает существенные изменения во времени и пространстве, особенно при прохождении атмосферных фронтов. В отдельных случаях в течение 1-5 мин разность высот может достигать 200-300 м. Для экстраполяции ВНГО можно использовать следующие основные закономерности:

- 1) в 95-97% случаев суммарная повторяемость разности ВНГО через 1, 5, 15, 30 и 60 мин в среднем составляет соответственно 40, 60, 80, 100 и 150 м;
- 2) изменчивость высоты низких облаков во времени существенно зависит от ВНГО в исходный срок наблюдений; разность двух отсчетов высоты облаков через один и тот же интервал времени (например, 15 мин) увеличивается с увеличением самой высоты облаков;
- 3) устойчивость исходной высоты нижней границы низких облаков во многом определяется формой и синоптическим положением облаков; особенно велика изменчивость слоисто-разорванных и разорванно-дождевых облаков, являющихся наименее плотными облаками; внутримассовые облака слоистых и слоисто-кучевых форм высотой 100-300 м имеют относительно большую устойчивость во времени, и высота их изменяется чаще всего более или менее равномерно;
- 4) самые большие колебания ВНГО могут наблюдаться в периоды быстрого повышения или размывания облачности, когда прибор может регистрировать высоту различных слоев облаков.

В качестве примера на рис. 7.2 приведены изменения ВНГО при ежеминутных измерениях за три часовых промежутка. Как следует из данных измерений, наибольшие колебания высоты нижней границы облаков отмечались при двухслойной облачности с разорванными слоистыми облаками ниже основного слоя. В этом случае изменения ВНГО достигали 100 м и более.

Самые большие изменения ВНГО одного знака (повышение или понижение) наблюдается в случаях быстрого смещения фронтальных разделов (60-70 км/ч) в хорошо выраженных барических ложбинах. Изменения одного знака продолжаются обычно 1,5-2 ч со средней скоростью 100-150 м/ч. В теплых секторах циклонов ВНГО обычно мало меняется во времени.

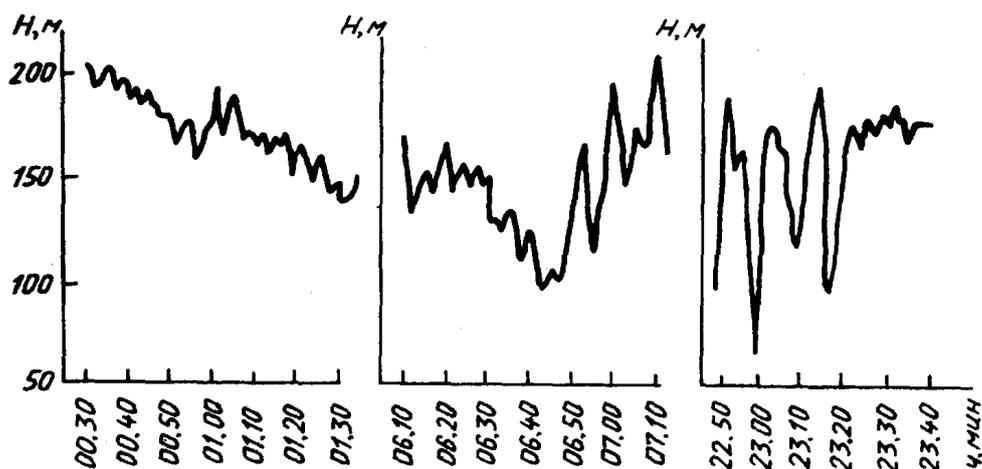


Рис. 7.2. Изменение высоты нижней границы облаков во времени

Таблица 7.2

Скорость изменения ВНГО при различных синоптических условиях

Форма облаков	Осадки	Средняя скорость изменения ВНГО, м/ч	Синоптические условия
St, Sc	Нет	Менее 10	Мало меняющееся синоптическое положение с небольшими градиентами атмосферного давления
St, Sc	Слабые	20-40	Мало меняющееся синоптическое положение
St, Ns	Умеренные	40-60	Прохождение атмосферных фронтов
St, St fr, Ns, Frnb	Умеренные	50-100 и более	Прохождение атмосферных фронтов

Приведенные общие положения позволяют приблизительно с некоторой степенью вероятности оценить значение ВНГО в районе авиационного происшествия, если непосредственных наблюдений там не производилось.

При определении ВНГО в районе авиационного происшествия важно знать закономерности как временных, так и пространственных ее изменений.

Исследования, проведенные в аэропорту Внуково, показали, что между одновременными измерениями нижней границы облаков высотой 100 м и ниже в разных точках аэродрома, удаленных одна от другой на расстояние до 2500 м, значение расхождений в 80% случаев не превышало 10 м (0,1 высоты облаков), в 11% достигало 20 м, в 6% — 30 м и в 2% — 40 м и более (около 0,5 высоты облаков).

Разность при одновременных измерениях нижней границы облаков высотой 100-200 и 200-300 м в 61% случаев составляла 10 м, в 18% — 20 м, в 9% — 30 м, в 6% — 40 м и

в 5-6% — 50 м и более. В единичных случаях при измерении нижней границы облаков высотой 200-300 м эта разность достигала 100-150 м (0,5 высоты облаков).

Если нижняя граница облаков четко выражена и устойчива во времени и пространстве, ее различия на аэродроме в пределах между дальними и ближними приводными радиомаркерами невелики. При значительной пространственной изменчивости ВНГО не исключается возможность того, что на глиссаде снижения после выхода самолета из облачности он снова попадет в зону низкой облачности и экипаж может потерять наземные ориентиры.

Пространственная изменчивость зависит от характера облаков (внутримассовые или фронтальные), их формы и сезона года. Фронтальная облачность более изменчива, чем внутримассовая.

На формирование и эволюцию фронтальной облачности существенное влияние оказывает характер подстилающей поверхности и рельефа местности. Если над обширной водной поверхностью океанов циклоны, а вместе с ними и фронтальные облачные системы проходят стадии развития, близкие к типовым, то даже над равнинной поверхностью суши типичность процессов нередко нарушается. Теоретически доказано, что влияние возвышенностей на воздушный поток распространяется вверх на 10-ти кратную высоту. Над горными районами общие закономерности нарушаются настолько, что в каждом таком районе облакообразование на фронте имеет свои особенности. В условиях горного рельефа важно учитывать также горно-долинную циркуляцию, что возможно лишь при тщательном изучении условий конкретных районов [2].

При расчетах высоты нижней границы облаков можно использовать определенную ее связь с условиями видимости и влажности в приземном слое, если такими данными располагают эксперты по району или месту авиационного происшествя. Например, при относительной влажности более 90% ( $T - T_d < 1$ ), скорости ветра менее 3 м/с, видимости около 4 км (дымка) и выпадении осадков высота облаков составляет 100-200 м; при тех же условиях и видимости 1,5-4 км высота облаков составляет 60-100 м; если при дымке видимость у земли менее 1,5 км, то высота слоистых облаков может понизиться до 30-60 м.

Используя аэрологическую диаграмму, можно с достаточной точностью установить высоту нижней и верхней границы облаков.

Низкая слоистая и слоисто-кучевая облачность часто возникает под слоями инверсий. Причиной образования этих облаков является высокая влажность воздуха и турбулентный обмен над слоем инверсии (до ее нижней границы). Уровень конденсации водяного пара должен располагаться ниже слоя инверсии. Вертикальный градиент температуры воздуха нижних слоев при турбулентном обмене должен быть не менее 0,6°C/100 м. На рис. 7.4 показаны типовые кривые температуры и точки росы при наличии различных облачных слоев.

При относительной влажности у земли 85-100% ( $T - T_d \leq 2^\circ$ ) и соответствующем распределении температуры на высотах следует рассчитывать на наличие подинверсионной облачности высотой меньше 300 м. При разности у земли ( $T - T_d \leq 3^\circ$ ) высота облачности, как правило больше 300 м.

При неизменной и возрастающей удельной влажности с высотой от земной поверхности до нижней границы облаков следует предполагать понижение облачности, которая при благоприятных условиях может распространяться до земной поверхности. И напротив, если удельная влажность в приземном слое убывает с высотой, следует предполагать повышение ВНГО.

Данные о распределении ветра с высотой окажут существенную помощь при расчетах ВНГО. Увеличение с высотой скорости ветра при его правом вращении до высот 1000-2000 м указывает на адвекцию теплого воздуха и повышенный вертикальный обмен, что способствует образованию подинверсионной облачности. Левое вращение ветра с вы-

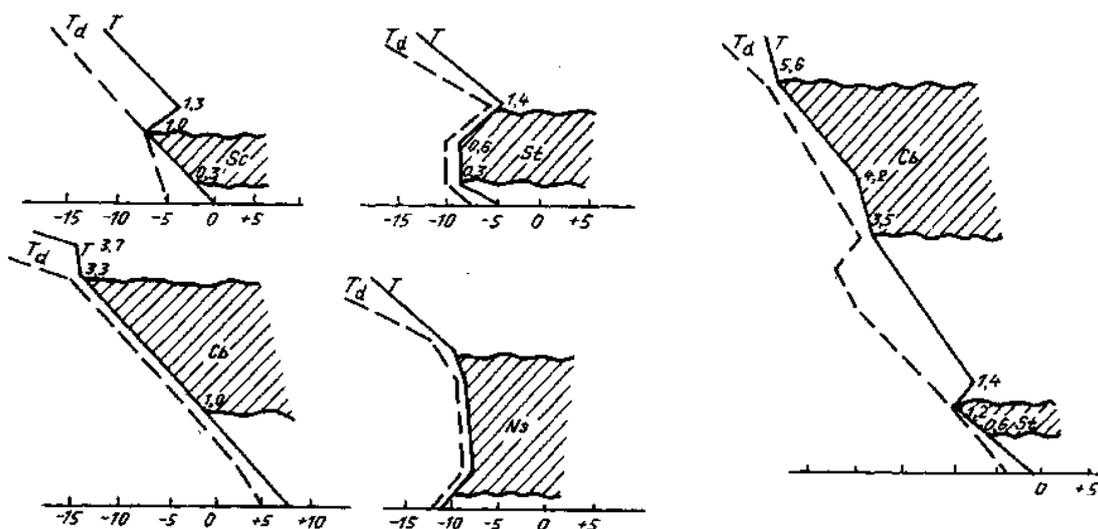


Рис. 7.4. Схемы распределения с высотой температуры и точки росы, характерные для диагноза верхней границы облачности

сотой сопровождается ослаблением задерживающих слоев, рассеиванием низкой облачности или увеличением ее высоты.

Зная относительную влажность воздуха в приземном слое и средний вертикальный градиент температуры под слоем инверсии, можно определить уровень конденсации (высоту основания слоистых или слоисто-кучевых облаков).

При определении высоты нижней границы кучевых, мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков необходимо учитывать перемещение неустойчивых воздушных масс и участков холодных атмосферных фронтов.

Известно, что для начала конденсации необходимо понижение температуры воздуха до значения точки росы, при которой фактическая влажность воздуха станет максимальной. На аэрологической диаграмме при перемещении от значений исходной температуры вдоль сухой адиабаты до пересечения с изограммой фактической влажности (изограммой, проходящей через значение точки росы) определяется высота уровня конденсации или ВНГО. В самом грубом приближении это означает следующее. Например, при  $T=10^{\circ}\text{C}$  и  $T_d=5^{\circ}\text{C}$  для начала конденсации необходимо понижение температуры воздуха:  $(T - T_d) = 10^{\circ} - 5^{\circ} = 5^{\circ}$ . Это может произойти тогда, когда воздух начнет подниматься и охлаждаться на  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ . Примерно на высоте 500 м начнется конденсация водяного пара, что действительно и наблюдается при начале конвенции в утренние часы. Далее, когда воздух начнет днем прогреваться и его температура станет равной  $+20^{\circ}\text{C}$ , а значение точки росы станет  $+8^{\circ}\text{C}$ , нижняя граница облаков должна повыситься до значения  $(20-8)\times 100 = 1200\text{ м}$ .

Исследования показали, что при этом возникают некоторые расхождения между расчетными и фактическими значениями высот, измеренных инструментально. На этой основе были выведены эмпирические формулы для определения высоты основания облаков:

$H_{\text{нго}} = 122(T - T_d)$  — формула Ферреля и  $H_{\text{нго}} = 22(100 - \tau)$  — формула Ипполитова. Здесь  $H_{\text{нго}}$  — высота нижней границы облаков;  $T$  — температура воздуха;  $T_d$  — точка росы;  $\tau$  — относительная влажность воздуха у земной поверхности [2].

Верхняя граница облаков вертикального развития определяется той высотой, на которой кривая стратификации пересекается с кривой состояния и выше которой атмосфера стратифицирована устойчиво.

Верхняя граница облаков неконвективного происхождения оценивается по дефицитам точки росы, снятым с карт барической топографии, для чего используются аэрологические диаграммы, а также данные бортовой погоды и ИСЗ. Для определения верхней границы облаков с помощью ИСЗ температура подстилающей поверхности сопоставляется с температурой верхней границы облаков. Но в зимний период, когда подстилающая поверхность имеет весьма низкие температуры, рассчитывать верхнюю границу облаков с помощью ИСЗ не следует. К тому же на фоне снежного покрова облака трудно различимы на снимках ИСЗ.

Данные радиозондовых наблюдений, нанесенные на аэрологическую диаграмму, позволяют более надежно определить расположение облачных слоев.

В зависимости от места авиационного происшествя и наличия исходных данных рекомендуется определить высоту облаков различными способами и взять за основу то значение ее, которое больше всего соответствует синоптической ситуации и особенностям местности.

### **7.3. Определение видимости**

Видимость, как и облачность, является одним из важных метеоэлементов, влияющих на производство полетов и особенно на взлет и посадку воздушных судов. Авиаметеостанции определяют и прогнозируют метеорологическую дальность видимости (МДВ). Определение фактических значений МДВ осуществляется инструментальным способом с помощью приборов, действие которых основано на принципе измерения прозрачности атмосферы, или визуально с помощью установленных или подобранных ориентиров видимости. Измеренные значения МДВ пересчитываются автоматически в видимость огней ВПП, если на аэродроме имеется автоматизированные наземные измерительные системы типа КРАМС-4, АМИС РФ. При отсутствии таких систем МДВ пересчитывается в видимость огней ВПП по специальным таблицам [15]. Видимость огней ВПП используется для приема и выпуска воздушных судов.

Излагаемый далее материал относится к МДВ.

При авиационных происшествяях или инцидентах на этапах взлета и посадки воздушных судов на аэродромах, оснащенных метеоприборами, следует использовать их показания и записи самописцев, когда имеется необходимость рассчитать значения видимости между сроками наблюдений.

Так как МДВ изменчива, нередко возникает необходимость интерполяции или экстраполяции значений видимости в зависимости от места авиационного происшествя. Если дальность видимости на аэродроме измеряется с помощью прибора фотометра импульсного (ФИ) или аналогичных фотометрам импульсным, то необходимо помнить одно общее правило: радиус зоны, на которую можно распространить измеренное значение МДВ; примерно равен этому значению. Например, если МДВ равна 800 м, то радиус зоны распространения такой видимости будет равен 800 м, если МДВ равна 1000 м, то и радиус составит 1000 м.

Исследования, проведенные ГГО им. А. И. Воейкова, показывают, что с увеличением расстояния между точками, где измеряется видимость, коэффициент корреляции измеренных значений МДВ приближается к нулю. Так, при МДВ менее 3000 м и базе измерителя видимости 100 м результаты измерений справедливы для зоны радиусом 700 м. При расстоянии 1400-1500 м между точками измерений показания прибора могут существенно различаться, а при расстоянии 3000 м и более результаты измерений не совпадают в подавляющем числе случаев.

Если требуется оценить возможное значение МДВ вне зоны аэродромных измерений, то главной является оценка общей аэросиноптической обстановки, т. е. условий, которые приводят к формированию зон с пониженной видимостью, включая и местные особенности.

Необходимо также учитывать временные изменения видимости. Экспериментальные исследования показывают, что максимальные изменения видимости отмечаются при снегопадах и метелях (табл. 7.3).

Таблица 7.3

**Зависимость относительных ошибок измерений от различных метеоявлений**

Метеоявление	Относительная ошибка измерения видимости, %	
	за время 5 секунд	за время 15 минут
Туман	22	36
Морось	24	39
Метель	42	47
Снегопад	30	40
Дождь	17	26

При оценке дальности видимости в районе авиационного происшествия необходимо учитывать комплекс метеоусловий и изменения значений метеоэлементов, которые являются в процессе анализа погоды. Оценка дальности видимости в однородной воздушной массе производится с учетом ее характера и суточного хода метеоэлементов. В неустойчивых воздушных массах видимость обычно хорошая, за исключением зон с ливневыми осадками, метелями, пыльными бурями и районов, где возникают радиационные туманы и густые дымки в ночные и утренние часы.

В устойчивых воздушных массах, когда теплый влажный воздух охлаждается в нижних слоях, видимость бывает ограниченной. В малоподвижных антициклонах при наличии мощной приземной инверсии ограниченная видимость может удерживаться длительное время. Наиболее хорошие условия видимости на всех высотах наблюдаются в массах арктического воздуха, наиболее плохие — в континентальном тропическом воздухе, который бывает запылен до тропопаузы.

Резкие изменения видимости наблюдаются в зоне атмосферных фронтов, так как здесь развивается система мощных облаков, из которых выпадают осадки ливневого и обложного характера. Обложной дождь ухудшает видимость до 4-6 км, а иногда и до 1-2 км. В зоне ливневого дождя видимость ухудшается, как правило, до 1-2 км, а в отдельных случаях до нескольких десятков метров. При слабом снегопаде видимость составляет 2-4 км, а при сильном - всего несколько сотен или десятков метров.

В разных географических районах могут преобладать различные явления, наиболее часто вызывающие значительные ухудшения видимости. Например, на Украине ухудшение видимости до значений менее 1 км чаще всего обусловлено туманами. На Дальнем Востоке основной причиной ухудшения видимости являются снегопады и метели; над дальневосточными морями и на побережье — адвективные туманы, выносимые с морей; в Средней Азии, Прикаспийской низменности, на Северном Кавказе, юге Украины и в некоторых других районах — пыльные бури, нередко ухудшающие видимость до 500 м и менее.

Оценка видимости под низкими облаками может быть основана на идентичности процессов, приводящих к образованию низкой слоистой облачности, влажной дымки и адвективных туманов. Кроме того, следует учитывать, что видимость у земной поверхности при низких облаках может зависеть и от направления ветра (табл. 7.4).

Таблица 7.4

**Повторяемость градаций МДВ, %, в зависимости от высоты слоистых облаков и направления ветра (Шереметьево, 1988-1990 гг.)**

ВНГО, м	Направление ветра	Градации МДВ, км				Средняя МДВ, км	Средняя скорость ветра, м/с	Число случаев
		1,1-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	6,1-10,0			
110-150 (130)	Северный	16,1	30,1	40,9	12,9	4,14	3,20	93
	Южный	32,1	50,6	17,3	0,0	2,75	3,06	156
160-200 (180)	Северный	3,2	20,0	26,4	50,4	6,52	3,45	125
	Южный	10,5	33,9	35,5	20,4	4,57	3,46	124

Видимость в приземном слое при наличии низких облаков зависит также от скорости ветра, влажности и распределения температуры воздуха в подоблачном слое. Такая зависимость показана в табл. 7.5.

Таблица 7.5

**Средняя видимость, км, в зависимости от скорости ветра и вертикального градиента температуры  $\gamma$  в слое 0-200 м**

Скорость ветра, м/с	$\gamma$ , °C/100 м				
	< - 3	- 3, - 1	- 1, 0	0, - 1	> 1
0 - 3	1,3	1,8	2,4	3,6	7,0
4 - 7	1,7	2,6	3,2	6,7	9,5
> 7	-	4,1	5,7	7,2	9,6

Оценивая значения видимости, следует обращать внимание на связь дефицита точки росы с видимостью, так как ухудшение видимости у земли наблюдается при  $(T - T_d) < 1^\circ$  и относительной влажности более 90%. При этом наблюдается следующее соотношение горизонтальной видимости у земли с высотой облаков:

Высота облаков, м ..... 100-200 60-100 30-60  
 Видимость, км .....  $\geq 4$  1,5-4 1,5

Такие соотношения справедливы при малых ( $< 5$  м/с) скоростях ветра.

Для оценки возможных пределов ухудшения метеорологической видимости ( $S_m$ ) в неустойчивых туманах можно воспользоваться графиком, приведенным на рис. 7.5 [14]. Например, если в какой-то исходный срок наблюдений видимость составляет 600 м, то с вероятностью 80% можно утверждать, что через 12 мин она будет находиться в пределах 540—800 м, а через 20 мин — 400-1000 м. Повторяемость (%) видимости менее минимума в зависимости от ее среднего значения в интервале  $\Delta t$  минут показана на рис. 7.6.

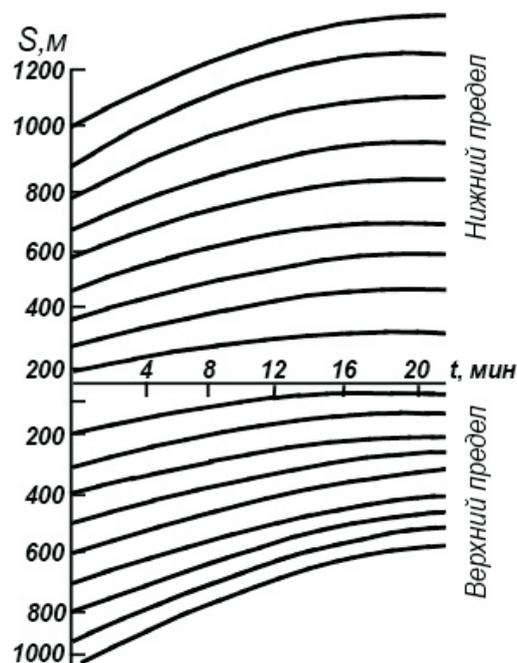


Рис. 7.5. График для определения колебаний видимости в неустойчивых туманах с обеспеченностью 80%

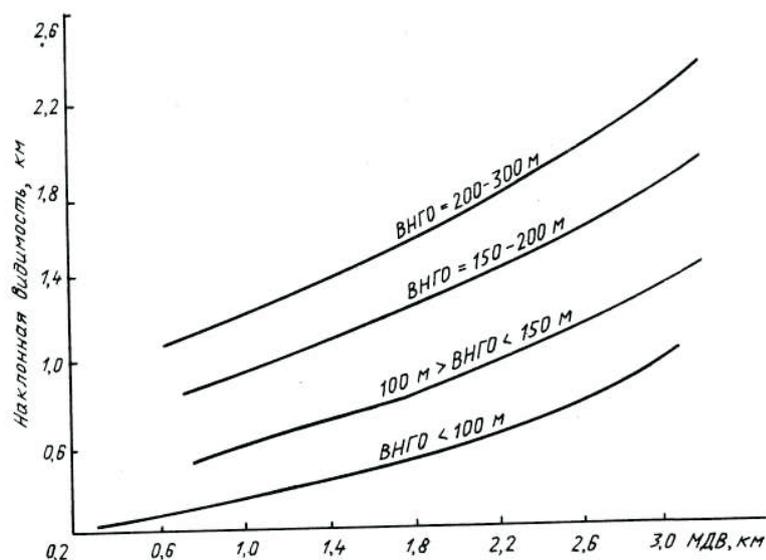


Рис. 7.6. Зависимость между МДВ и наклонной видимостью при различной высоте облаков

Если необходимо установить дальность наклонной видимости ВПП, то большее значение будет иметь соотношение между яркостью фона и яркостью ВПП. С учетом этого и других факторов дальность наклонной видимости определяется по следующей формуле:

$$S_{\text{накл}} = 0,66 \text{ МДВ} \cdot \lg \left( \frac{K_{o/\varepsilon} + B / B_o - 1}{B / B_o} \right),$$

где  $K_o$  — контраст между фоном и ВПП;  $B$  — яркость дымки;  $B_o$  — яркость ВПП,  $\varepsilon$  — порог контрастной чувствительности глаза; для дневных условий значения дальности наклонной видимости в процентах МДВ приведены в табл. 7.6.

Дальность наклонной видимости, % МДВ, в различные сезоны года

Сезон года	Характер ВПП и фона	Дальность наклонной видимости, % МДВ	
		без осадков	при осадках
Весна	ВПП сухая на фоне желто-бурой травы	56	46
Осень	ВПП сухая на фоне желто-зеленой травы	56	46
Весна, лето, осень	ВПП мокрая на фоне травы различных оттенков	49	36
Начало и середина лета	ВПП сухая на фоне зеленой травы	66	51
Зима	Поверхность ВПП — чередование снега и сухого бетона, фон — снег	46	34

Метеорологическая обстановка, связанная с посадочными минимумами, характеризуется разнообразием и большой изменчивостью во времени и в пространстве. Это обстоятельство затрудняет определение посадочной видимости.

Если бы нижняя граница облаков представляла собой четкую поверхность раздела между облаками и «чистой» атмосферой (рис. 7.7), то определить вертикальную видимость было бы нетрудно, поскольку облакомеры измеряют высоту такой нижней границы с достаточной точностью. Однако, как показывают наблюдения, нижняя граница облаков, большая или равная 200–250 м, почти никогда не бывает четкой. Наиболее распространенной структурой нижней границы таких облаков является чередование резко различающихся по высоте частей облака, переходящих в некоторых местах в свисающие вплоть до поверхности земли бесформенные облачные шлейфы (рис. 7.8). Такое облако, как правило, быстро перемещается в том или ином направлении. Что же называть высотой нижней границы подобного облака? Насколько оно соответствует вертикальной видимости для пилота, выполняющего посадку? Здесь мы сталкиваемся с постоянными, не преодоленными до настоящего времени расхождениями между понятиями «высота нижней границы облаков, определенная инструментально при наземных измерениях», и «фактическая высота «открытия» земли, определенная пилотом при заходе на посадку».

Нередко приходится сталкиваться и с другим типом структуры нижней границы облаков. Он характеризуется тем, что границы как таковой нет, а имеется постепенный переход оптически плотного образования в оптически менее плотную и меняющуюся с высотой подоблачную дымку (рис. 7.9). Во многих случаях подоблачная дымка достигает поверхности земли или нависает над ней на незначительной высоте.

С наименьшими сложностями приходится сталкиваться и при измерении прозрачности атмосферы, которая в наклонном направлении в пределах посадочных норм может меняться с высотой самым резким и неожиданным образом.

Из изложенного следует, что определить или рассчитать с достаточной точностью в интересующий момент или период времени для заданного района значения ВНГО и видимости (наклонной видимости) довольно сложно. Поэтому для оценки указанных значений метеовеличин при отсутствии их измерений необходимо использовать дополнительные материалы о метеоусловиях в районе авиационного происшествия.

Наибольшую опасность при заходе на посадку воздушных судов (ВС) представляют радиационные туманы. Они образуются в ясные, тихие ночи вследствие отдачи тепла подстилающей поверхностью и охлаждению ее и прилегающих к ней слоев воздуха. Толщина

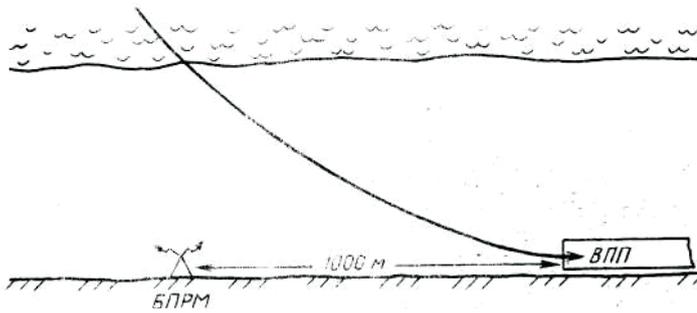


Рис. 7.7. Условия посадки с четкой нижней границей облаков: БПРМ — ближний приводной радиомаркер; ВПП — взлетно-посадочная полоса

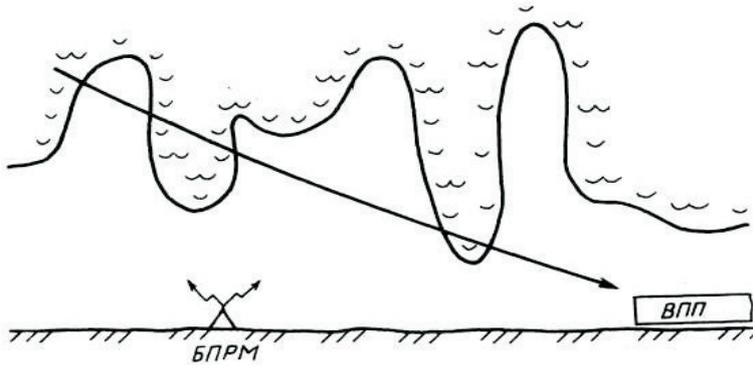


Рис. 7.8. Условия посадки при сложной структуре высоты нижней границы облаков

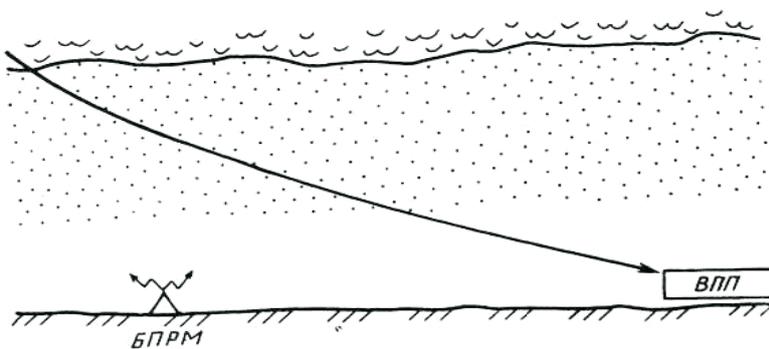


Рис. 7.9. Условия посадки при наличии подоблачной дымки

слоя воздуха, в котором образуется радиационные туманы, колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров, а иногда до 100-200 м.

Разновидностью радиационного тумана является поземный туман, простирающейся на сравнительно небольшую высоту (метры, десятки метров) и являющейся результатом радиационного выхолаживания поверхности почвы в ночную часть суток (рис. 7.10.). Радиационные туманы могут представлять отдельные клочки (туман клочьями). Вертикальная видимость при радиационных туманах хорошая, но при посадке воздушного судна на этапе выравнивания ВС может попасть в плотные слой тумана с ухудшенной видимостью до 100-200 метров и менее.

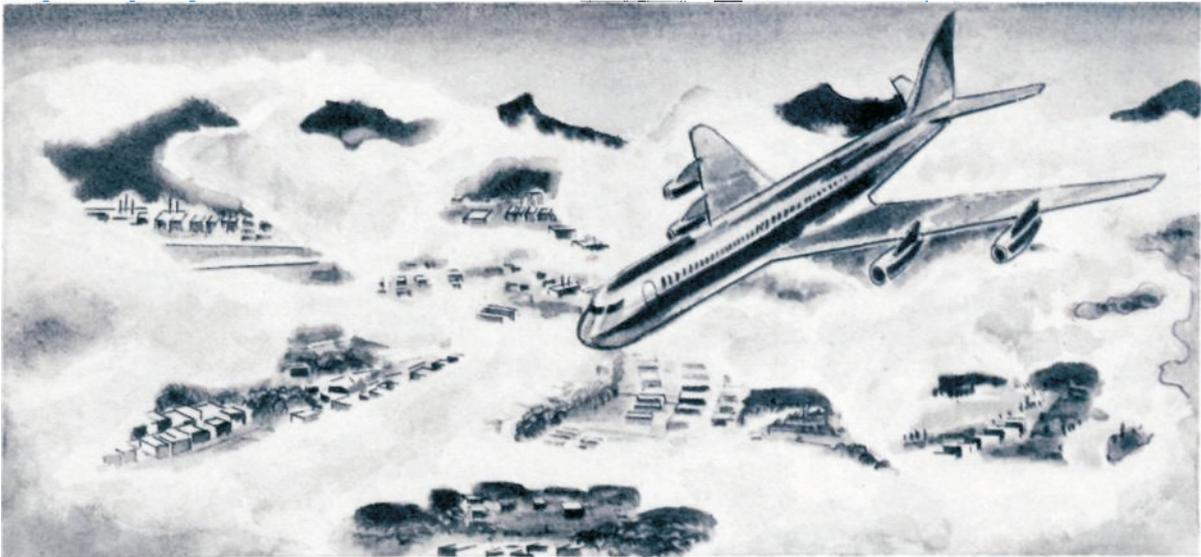


Рис. 7.10. Поземный туман как он видится с самолета

## Глава 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА

В реальной атмосфере ветер не представляет собой устойчивого течения, т. е., не является постоянным во времени и в пространстве. Ветру свойственна порывистость, вызываемая турбулентностью. Скорость и направление ветра с течением времени изменяются особенно резко вблизи земной поверхности за счет повышенной турбулентности. С увеличением высоты скорость ветра обычно возрастает, достигая максимального значения под тропопаузой. Выше указанного уровня скорость ветра убывает. Под тропопаузой, в верхней тропосфере, зачастую имеются очень сильные ветровые потоки однородного направления, скорость которых превышает 30 м/с (100 км/ч). Такие ветры называются струйными течениями.

На материке летом при безоблачной погоде, особенно в южной и западной частях антициклона, наблюдается резко выраженный суточный ход скорости ветра. При этом барические градиенты могут быть весьма небольшими и не претерпевать существенных изменений от ночи ко дню.

Суточная амплитуда скорости ветра у земной поверхности прямо пропорциональна суточной амплитуде температуры воздуха. При амплитуде температуры 15° и больше скорость ветра (при одних и тех же барических градиентах в течение суток) от ночи к середине дня нередко может увеличиваться на 10 м/с и более.

Зимой и ранней весной, когда приземные инверсии имеют большую вертикальную протяженность или переходят непосредственно в инверсию оседания и почти не разрушаются в дневное время, скорость ветра, как ночью, так и днем приблизительно в 2 раза меньше градиентной скорости. Суточная амплитуда скорости ветра минимальна, когда имеется подинверсионная облачность и вследствие этого суточный ход температуры оказывается весьма малым. В циклоне при наличии облачности и более значительных барических градиентах, чем в антициклоне, суточный ход скорости ветра трудно обнаружить и при расчетах его можно не учитывать. При небольших барических градиентах и

значительных разрывах облачности суточный ход скорости ветра увеличивается и должен учитываться при расчетах.

Для оценки степени соответствия скорости и направления ветра в пункте наблюдения и в месте авиационного происшествия важно оценить как общую синоптическую обстановку, так и местные орографические особенности. При этом необходимо учитывать усиление ветра за счет бризов и горно-долинной циркуляции, а также у отдельных препятствий (холмов, возвышенностей, строений). Если не учитывать местные особенности, то ошибка интерполяции (экстраполяции) скорости ветра на расстоянии до 100 км может составить 5-7 м/с.

Скорость ветра оценивается в соответствии с прогнозом барического поля. В приземном слое учитывается отклонение ветра от изобары на угол  $30^\circ$  над сушей и  $15^\circ$  над морем. На основе этих общих правил оценивается направление ветра в месте авиационного происшествия.

Для ориентировочной оценки скорости ветра  $V$  можно использовать выражение,

$$V = kV_g,$$

где  $k$  — эмпирический коэффициент, равный 0,5-0,6 для скорости ветра до 10-15 м/с;  $V_g$  — скорость геострофического ветра.

При оценке возможной скорости ветра необходимо учитывать:

- сезон года и время суток;
- стратификацию воздушной массы;
- суточный ход температуры;
- местные особенности подстилающей поверхности;
- орографию.

Таким образом, скорость и направление ветра у земной поверхности могут быть определены с достаточной точностью по данным окружающих гидрометеостанций при отсутствии наблюдений в месте авиационного происшествия. При этом необходимо всегда учитывать местные особенности, которые существенно искажают структуру ветрового потока.

Экстраполяция в пространстве по вертикали данных измерений ветра от земной поверхности на стандартные высоты (восстановление профиля ветра по его текущим измерениям у земной поверхности) может использоваться при отсутствии измерений ветра в нижних слоях атмосферы вблизи аэродрома, а также между сроками измерений ветра над аэродромом. Предлагается способ оценки ветра на стандартных высотах по сведениям о ветре у земной поверхности с привлечением данных о температурной стратификации (по Л. Р. Орленко и В. М. Степановой — рис. 8.2). Способ применим для квазистационарных условий.

Для расчета ветра на высотах ( $V_h$ ) по его данным у земной поверхности ( $V_{10}$ ) используются таблицы коэффициентов нарастания ветра с высотой ( $V_h / V_{10}$ ) при различных значениях  $V_{10}$  и  $T_2 - T_{850}$  для заданного характера подстилающей поверхности [14].

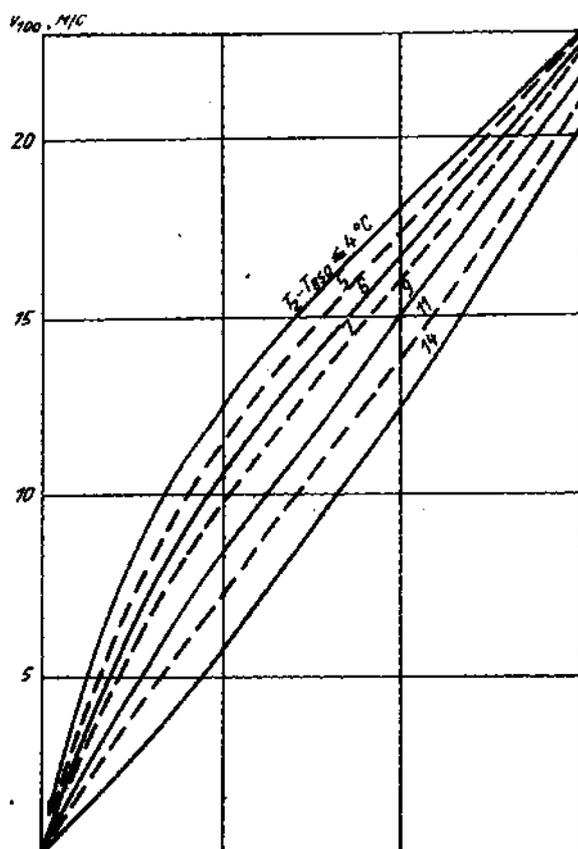


Рис. 8.2. Номограмма связи скорости ветра на уровне флюгера ( $V_{10}$ ) и на высоте 100 м ( $V_{100}$ ) при различных значениях разности температур у земной поверхности и на  $AT_{850}$  (по Л. Р. Орленко и В. М. Степановой); 4, 5, 6, 7, 9, 11, 14 — значения  $T_2 - T_{850}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

## Глава 9. ОЦЕНКА СДВИГА ВЕТРА

### 9.1. Общие положения

Сдвиг ветра — это изменение направления и/или скорости ветра в пространстве в районе аэродрома, включая восходящие и нисходящие воздушные потоки. В зависимости от расположения в пространстве двух точек, между которыми определяется сдвиг ветра, различают вертикальный сдвиг ветра, описывающий изменение горизонтального движения воздуха (ветра) по вертикали (например, по данным датчиков ветра, установленных на разных высотах на мачте, башне и т.п., шаропилотным данным и т.п.), горизонтальный сдвиг ветра — изменение движения воздуха по горизонтали (между различными концами ВПП, разными точкам измерений ветра на аэродроме и т.п.). Кроме того, могут наблюдаться вертикальные восходящие и нисходящие потоки, представляющие собой движение воздуха в вертикальном направлении.

При расследовании авиационных происшествий и инцидентов нередко возникает вопрос о возможном влиянии сдвига ветра на развитие аварийной ситуации, а также проявляются противоречия между показаниями экипажей и данными наземных наблюдений. Поэтому важно знать метеорологические условия, при которых могут возникать сдвиги ветра, опасные для полетов воздушных судов, а при их оценке учитывать, что вертикальные, горизонтальные сдвиги и турбулентность в нижних слоях атмосферы, оказывающие воздействие на полет воздушного судна, в зависимости от метеорологических

условий могут встречаться в различных сочетаниях. Случаи, при которых характер воздействия на воздушное судно сдвигов или потоков воздуха складывается (направлен в ту же сторону), например, из сочетания нисходящего потока и резкого ослабления встречного ветра (большая суммарная потеря высоты), являются наиболее опасными. Кроме того, трудными для пилотирования (с учетом времени запаздывания действий пилота и инерции управления) являются случаи резкой смены характера воздействия сдвига ветра. Так, увеличение скорости встречного ветра может смениться резким уменьшением его скорости (ветер даже может измениться на попутный, восходящий поток на нисходящий и т.п.). Неудачное сочетание запаздывания действий по парированию сдвига ветра с новым характером влияния сдвига ветра на воздушное судно (действия по уменьшению скорости воздушного судна и ослаблению встречной скорости ветра) может привести к большому суммарному отклонению его от траектории полета. Сильные сдвиги ветра особенно опасны, когда они встречаются в условиях ухудшения видимости, низкой облачности, при осадках и в темное время суток.

Следует заметить, что после пролета крупного самолета (особенно реактивного) или вертолета в атмосфере несколько ниже траектории его движения в течение 1-2 мин сохраняется узкая зона интенсивной турбулентности и сильных сдвигов ветра, вызванная возмущением потока при обтекании ВС и воздушными струями от двигателей. Такая зона, называемая спутным следом, может смещаться по ветру, и положение ее центральной части можно оценить визуально в светлое время по следу загрязнения, оставляемому в воздухе двигателями воздушного судна. Известно, что при пересечении спутного следа во время набора высоты или снижения воздушное судно (особенно легкомоторное) может испытать сильные броски или болтанку. Такие случаи могут быть ошибочно приняты экипажем за явления сильного сдвига ветра и турбулентности атмосферы, что следует иметь в виду при использовании информации, поступившей от экипажей воздушных судов.

С точки зрения синоптической ситуации, наиболее благоприятными для усиления сдвига ветра в слое инверсии являются условия ночной приземной радиационной инверсии температуры при безоблачной (или малооблачной) погоде на периферии антициклона (или циклона) при наблюдающемся в течение ночи увеличении горизонтального барического градиента в связи с приближением ложбины или фронта к району аэродрома, особенно при адвекции тепла на верхней границе пограничного слоя атмосферы (например, на карте АТ<sub>850</sub>). В таких условиях во второй половине ночи могут сформироваться очень резкие вертикальные профили ветра в инверсионном слое и наиболее сильные вертикальные сдвиги ветра обычно наблюдаются в верхнем слое инверсии (выше 50-60 м от земной поверхности). Если усиление ветра (на высоте и у земной поверхности) наблюдается вечером (до захода солнца), то вследствие сильной турбулентности не происходит инверсии температуры, и в этом случае резких вертикальных сдвигов ветра не возникает.

При одинаковых метеорологических условиях сдвиги ветра всегда несколько больше в условиях пересеченной местности, чем над равниной. С увеличением скорости ветра влияние рельефа возрастает. При обтекании препятствия воздушным потоком, имеющим значительную скорость, на наветренной стороне (перед препятствием) формируется восходящий поток, увеличиваются горизонтальные и вертикальные сдвиги ветра и турбулентность. Над вершиной скорость и сдвиги ветра еще более возрастают, а на подветренной стороне (за препятствием) воздушный поток испытывает наибольшую деформацию — здесь встречаются самые сильные сдвиги ветра и турбулентность, причем размеры (протяженность по горизонтали) возмущенной зоны могут во много раз превышать протяженность самого препятствия. Особую опасность для воздушного судна в этой зоне представляют возникающие иногда «ротаторные» вихри с горизонтальной осью, имеющие

радиус 100 м и более, в которых могут встретиться чрезвычайно сильные (более 10 м/с) вертикальные потоки и отдельные порывы.

Выпадающие из кучево-дождевого (грозового) облака ливневые осадки вызывают сильный нисходящий поток воздуха, который при достижении земной поверхности растекается в стороны от очага, особенно в направлении его движения, где перед очагом формируется зона резкого усиления ветра, называемая зоной шквала, или фронтом порывистости. Эта зона чрезвычайно опасна для воздушных судов, поскольку в ней наблюдаются не только сильные, но и очень сильные сдвиги ветра (вертикальные, горизонтальные, вертикальные потоки) и турбулентность. Фронт порывистости может выдвинуться вперед от очага на расстояние до 30 км, но он существует не постоянно, а как «пульсирующий процесс». Поэтому весьма опасен полет на малой высоте навстречу движущемуся грозовому очагу или пересечение его передней части. Зоны сильных сдвигов ветра чаще возникают в передней части грозовых очагов, имеющих дугообразную, серповидную или крючкообразную форму, и реже — у очагов округлой формы. Приближение фронтальной зоны у земной поверхности часто сопровождается существенным увеличением скорости ветра (иногда до шквала), вследствие чего могут возникать сильные сдвиги ветра.

При оценке сдвига ветра весьма важно ориентироваться на критерии интенсивности сдвига ветра (табл. 9.1).

Таблица 9.1

**Критерии интенсивности сдвига ветра**

Интенсивность сдвига ветра (качественный термин)	Влияние на управление ВС	Вертикальный сдвиг ветра, м/с на 30 м высоты	Горизонтальный сдвиг ветра на 600 м	Скорость восходящего или нисходящего потока, м/с
Слабый	Незначительное	0-2,0	0-2,0	0-2,0
Умеренный	Значимое	2,1-4,0	2,1-4,0	2,1-4,0
Сильный	Существенные трудности	4,1-6,0	4,1-6,0	4,1-6,0
Очень сильный	Опасное	> 6	> 6	> 6

Эти промежуточные критерии были рекомендованы пятой Аэронавигационной конференцией, проходившей в Монреале в 1967 г. В тот период полагали, что преобладающая угроза сдвига ветра связана с фронтами, включая фронты порывов при грозах и профили сильных ветров вблизи земли, которые легко выразить в виде градиентов скорости ветра. Однако впоследствии стало очевидным, что такой относительно простой подход к классификации интенсивности сдвига ветра не является полностью удовлетворительным в силу следующих причин:

— сдвиг ветра одной и той же интенсивности (согласно табл. 9.1) может по-разному воздействовать на воздушные суда различных типов; то, что для воздушного судна одного типа может расцениваться как очень сильный сдвиг ветра, для другого будет лишь умеренным; это особенно справедливо в отношении воздушных судов крайне различной категории массы;

— воздействие, оказываемое сдвигом ветра на воздушное судно, зависит, помимо прочего, от скорости прохождения через зону сдвига ветра и, следовательно, от длительности подверженности его воздействию;

— информация об интенсивности сдвига ветра в единицах скорость/расстояние не является в прямом смысле полезной для пилота воздушного судна, летящего по глиссаде с углом наклона  $3^\circ$ , поскольку пилот не мыслит такими категориями и они не связаны ни с одним из обычных бортовых приборов; пилот мыслит категориями воздушной скорости, и, таким образом, изменения скорости — это ускорение либо торможение в узлах (метрах) в секунду или в единицах  $g$ ;

— наиболее опасен сдвиг ветра, связанный с грозами, например при микропорывах, при которых все три составляющие ветра меняются одновременно.

По практике ИКАО, требуется представлять донесения, сообщения, прогнозы и предупреждения о сдвиге ветра без определения его интенсивности. Вместе с тем пилоты в сообщениях о сдвиге ветра могут использовать такие классифицирующие термины, как «умеренный», «сильный» или «очень сильный», основанные в значительной степени на их субъективной оценке интенсивности имеющегося сдвига ветра [8].

Исходя из вышеизложенного, промежуточные критерии, указанные в табл. 9.1, следует считать условными.

## 9.2. Общие сведения о влиянии сдвига ветра на малых высотах на летные характеристики воздушных судов

Для понимания того воздействия, которое оказывает сдвиг ветра на летные характеристики воздушного судна, полезно рассмотреть несколько основных принципов полета [16].

На рис. 9.1 показаны главные силы, действующие на воздушное судно в полете. Это тяга, обеспечиваемая одним или несколькими двигателями, вес воздушного судна, подъемная сила, обеспечиваемая главным образом плоскостями крыла, и лобовое сопротивление. Эти рассуждения несколько упрощены. Например, предполагается, что сила тяги действует в точном соответствии с направлением траектории полета. Такое упрощение способствует большему пониманию приводимых доводов, не влияя на существо выводов.

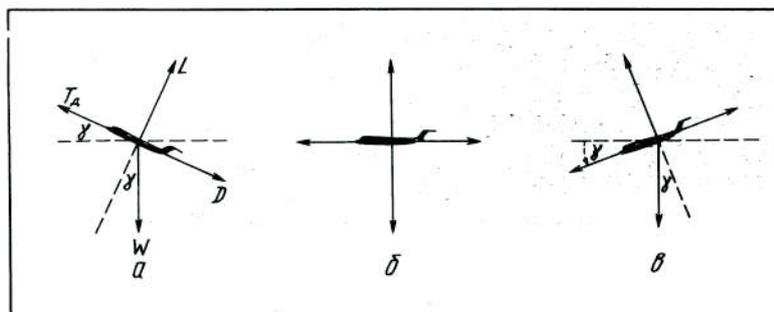


Рис. 9.1. Силы, действующие на воздушное судно в полете:

а — набор высоты; б — горизонтальный полет; в — снижение;  $T_d$  — тяга двигателя;  
 $L$  — подъемная сила;  $D$  — лобовое сопротивление;  $W$  — вес

**Примечания:** 1. Предполагается, что полет является устойчивым и проходит без ускорений, а сила тяги действует вдоль траектории полета.

2. Предполагается, что угол набора высоты или снижения равен  $\gamma$ .

3. Составляем уравнения сил, действующих перпендикулярно или параллельно траектории полета:

$$T_D = Fx + \sin \gamma \quad (1) \quad T_D = Fx \quad (3) \quad T_D = \sin \gamma = Fx \quad (5)$$

$$F_z = P \cos \gamma \quad (2) \quad F_z = P \quad (4) \quad F_z = P \cos \gamma \quad (6)$$

Когда силы, действующие на воздушное судно, взаимно уравновешены, в устойчивом полете без ускорения результирующая сила отсутствует и, следовательно, сумма всех сил, направленных вверх перпендикулярно к направлению полета, должна быть равной сумме всех сил, направленных вниз перпендикулярно к направлению полета. Подобным же образом сумма всех сил, действующих в направлении полета, должна быть равна сумме всех сил, действующих в противоположном направлении. Воздушное судно в этом случае находится в уравновешенном состоянии и, согласно первому закону Ньютона, будет сохранять это состояние, будь то при наборе высоты, снижении или горизонтальном полете, до тех пор, пока равновесие сил не будет нарушено.

Несмотря на простоту формул, поясняющих рис. 9.1, по ним можно сделать важные выводы. В горизонтальном полете без ускорения лобовое сопротивление должно уравновешиваться тягой, а вес — подъемной силой (рис. 9.1). В полете с набором высоты без ускорения тяга должна уравновешивать еще и часть веса ( $W \sin \gamma$ ), и, следовательно, при таком полете требуется больше тяги, чем при горизонтальном полете. Причем потребная тяга прямо пропорциональна углу набора высоты. Возможные углы набора высоты можно оценить, упростив формулу (1) (см. текст к рис. 9.1). Для присущих набору высоты малых углов  $\sin \gamma \approx \gamma$  формула (1) приобретает следующий вид:

$$T_D = D + W\gamma,$$

откуда

$$\gamma = \frac{T_D - D}{W}.$$

Таким образом, угол набора высоты находится в прямой зависимости от того, насколько тяга преобладает над лобовым сопротивлением, и в обратной зависимости от веса. Применительно к полету со снижением без ускорения из формулы (5) (см. текст к рис. 9.1) следует, что потребная тяга меньше, чем в горизонтальном полете, поскольку часть веса ( $W \sin \gamma$ ) в данном случае действует так же, как и тяга.

Здесь может оказаться уместным вопрос: какое отношение все это имеет к сдвигу ветра? Ответ на него заключается в подробном рассмотрении того, что составляет каждую из четырех основных сил, действующих на воздушное судно. Вес — это не что иное, как  $W = mg$  (масса воздушного судна  $X$  на ускорение силы тяжести), тяга  $T_D$  — сила, непосредственно производимая двигателем (двигателями), подъемная сила  $L$  и лобовое сопротивление  $D$ , как установлено, прямо пропорциональны плотности воздуха  $\rho$ , площади крыла  $s$  и квадрату скорости воздушного потока над крылом ( $V$ ), т. е.  $L$  и  $D$  пропорциональны  $\rho$ ,  $s$  и  $V^2$ . Константы пропорциональности  $C_L$  и  $C_D$ , называемые соответственно коэффициентами подъемной силы и лобового сопротивления, по которым

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho s V^2 \quad \text{и} \quad D = \frac{1}{2} C_D \rho s V^2$$

зависят, среди прочего, от угла атаки крыла. Из этих формул следует, что подъемная сила и лобовое сопротивление зависят от угла атаки (через  $C_L$ ) и квадрата воздушной скорости. Далее показано, что сдвиг ветра влияет как на угол атаки, так и на воздушную скорость, а это в свою очередь влияет на подъемную силу и лобовое сопротивление и, в конечном счете, нарушает состояние равновесия воздушного судна.

### 9.3. Влияние сдвига ветра на воздушную скорость

Утверждение «ветер влияет на воздушную скорость», на первый взгляд как бы противоречит основному правилу начальной подготовки пилотов, гласящему, что «ветер влияет только на путевую скорость и снос». Такое явное противоречие, возможно, смутило некоторых пилотов и затруднило понимание ими серьезности воздействия, которое сдвиг ветра может оказывать на летные характеристики воздушного судна. Противоречие между этими двумя утверждениями можно устранить, если ввести в первую фразу слово «кратковременное», чтобы она читалась: «ветер (т.е. изменение ветра) оказывает кратковременное влияние на воздушную скорость», и принимать во внимание продольную устойчивость воздушного судна, обеспечивающую его стремление восстановить исходную балансировочную воздушную скорость. Это значит, что любой устойчивый ветер или постепенно изменяющийся горизонтальный ветер не оказывает влияния на воздушную скорость и остается справедливой хорошо известная формула:

*Путевая скорость (GS) равна истинной (воздушной) скорости (TAS) + скорость ветра вдоль линии пути (WIND)*

Однако в условиях сдвига ветра горизонтальный ветер, конечно же, неустойчив (в этой ситуации ветер вдоль линии пути является важным фактором, как при наличии, например, встречного или попутного ветра на посадке/взлете) и может изменяться резко на сравнительно коротком отрезке пути. Если воздушное судно попадает в условия быстро меняющегося встречного попутного ветра, ясно, что вследствие действия силы инерции оно не может мгновенно ускорить или замедлить движение для восстановления исходной воздушной скорости, и в течение короткого, но определенного периода времени воздушная скорость меняется соответственно с изменением ветра. Такое «кратковременное» изменение воздушной скорости приводит к изменению подъемной силы и лобового сопротивления и нарушает равновесие сил, действующих на воздушное судно. Это приводит к появлению результирующей силы, и тогда вместо формулы (1) (см. рис. 9.1), в которой результирующая сила отсутствует, необходимо записать формулу  $T_D - D - W \sin \gamma = F$ , отражающую наличие результирующей силы. При этом необходимо помнить, что приложение результирующей силы к воздушному судну немедленно вызывает ускорение. Это обусловлено вторым законом Ньютона, гласящим, что «скорость изменения количества движения тела пропорциональна силе, действующей на тело, и направлена в ту же сторону, что и приложенная сила». Этот закон чаще выражается как  $F = ma$  (масса  $\times$  ускорение), или  $F = W / g \cdot a$  условиях кратковременного воздействия сдвига ветра, когда равновесие нарушено, формулы с (1) по (6) выглядели бы так:

(набор высоты)	$T_D - D - W \sin \gamma$	
(горизонтальный полет)	$T_D - D$	$= \frac{W}{g}$ ускорение вдоль траектории полета

(снижение)	$T_d + W \sin \gamma - D$	
(набор высоты)	$L - W \sin \gamma$	
(горизонтальный полет)	$L - W$	$= \frac{W}{g}$ ускорение перпендикулярно к траектории полета

Воздушное судно движется с ускорением в том направлении, в котором действует нарушающая равновесие (результатирующая) сила, и до тех пор, пока не будет снова достигнуто равновесие сил. При восстановлении равновесия воздушное судно неизбежно следует по новой траектории полета и, в соответствии с первым законом Ньютона, будет оставаться на ней до тех пор, пока равновесие вновь не будет нарушено. Воздушное судно всегда стремится занять такую траекторию полета, на которой будет достигнуто равновесие между действующими на него силами. Другими словами, сдвиг ветра изменяет траекторию полета воздушного судна и, чтобы оно вернулось на заданную траекторию полета, требуется вмешательство пилота. Начальные изменения траектории полета из-за кратковременных изменений воздушной скорости, вызываемых сдвигом ветра, показаны на рис. 9.2. Это воздействие вызывается горизонтальным сдвигом ветра и наблюдается в профилях сильного ветра вблизи земли (особенно в струйных течениях на малых высотах), во фронтальных системах и т. п. Говоря о кратковременном воздействии сдвига ветра на воздушную скорость, следует отметить, что ослабление встречного ветра оказывает точно такое же кратковременное воздействие на воздушную скорость, как и усиление (уменьшение) попутного. Подобным же образом усиливающийся встречный ветер оказывает точно такое же кратковременное воздействие на воздушную скорость, как и ослабевающий попутный ветер (увеличение).

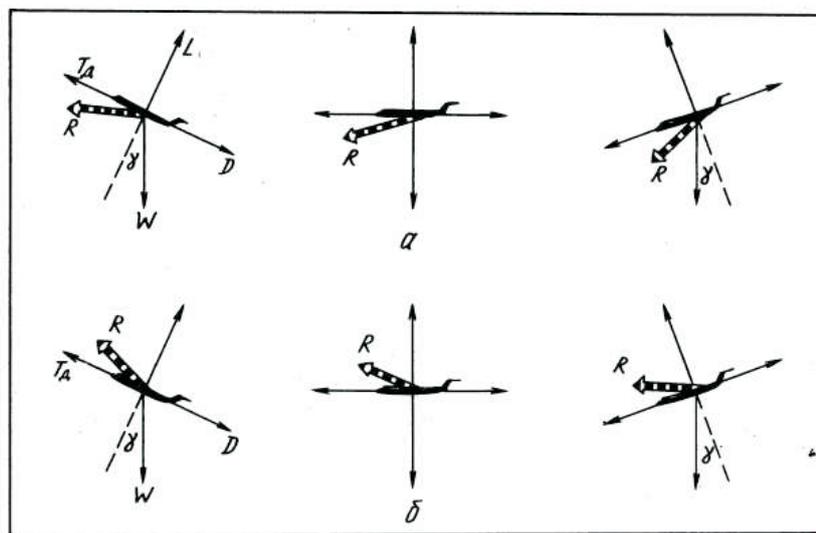


Рис. 9.2. Результирующий вектор траектории полета, связанный с горизонтальным сдвигом ветра:

а — результирующий вектор траектории полета после кратковременного уменьшения воздушной скорости вследствие ослабления встречного ветра или усиления попутного ветра ( $L$  — уменьшенная); б — результирующий вектор траектории полета после кратковременного увеличения воздушной скорости вследствие усиления встречного ветра или ослабления попутного ветра ( $L$  — увеличенная);  $R$  — результирующий вектор;  $L$  — подъемная сила;  $T_d$  — тяга двигателя;  $D$  — лобовое сопротивление

В горизонтальном (без разворотов) полете воздушное судно занимает положение по тангажу, обеспечивающее угол атаки крыла, соответствующий воздушной скорости. Соотношение между углом атаки и воздушной скоростью предполагает, что воздушный поток ударяет в переднюю кромку крыла горизонтально, т.е. составляющими, направленными, вверх или вниз, можно пренебречь. Если, однако, воздушное судно летит в нисходящем или восходящем потоке, воздух ударяет в крыло уже не горизонтально, а под небольшим углом к горизонтальной плоскости (он зависит от относительных величин воздушной скорости и вертикальной составляющей ветра — нисходящего или восходящего потока).

Как и в случае изменения воздушной скорости вследствие сдвига ветра, изменение угла атаки, вызываемое нисходящим/восходящим потоком, является кратковременным с последующим восстановлением первоначального угла атаки благодаря продольной устойчивости воздушного судна. Нисходящий поток вызывает кратковременное уменьшение угла атаки, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента подъемной силы и нарушает равновесие сил, действующих на воздушное судно, вызывая тем самым результирующую силу, действующую книзу от заданной траектории полета (рис.9.3). Действие восходящего потока имеет противоположную направленность. Нисходящий поток, таким образом, оказывает на воздушное судно то же начальное воздействие, что и усиливающийся встречный или уменьшающийся попутный. Однако воздействие нисходящего/восходящего потока связано с кратковременным изменением угла атаки, тогда как воздействие встречного/попутного ветра связано с изменением воздушной скорости. Равновесие, будучи нарушенным, восстанавливается благодаря продольной устойчивости, но воздушное судно будет лететь уже по новой траектории.

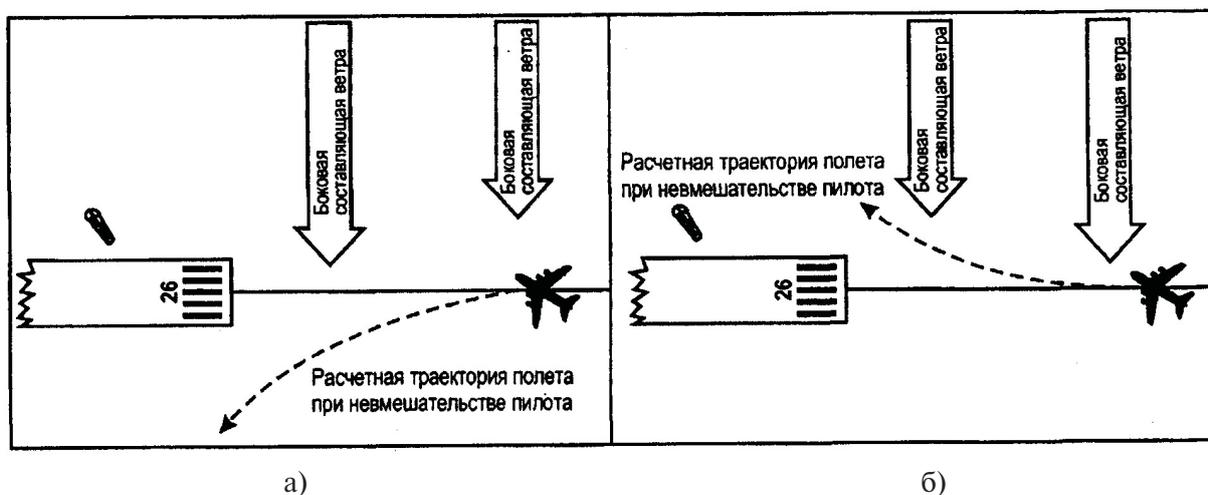


Рис. 9.3. Воздействие бокового сдвига ветра на воздушное судно при предполагаемом невмешательстве пилота

- а — усиливающаяся боковая составляющая ветра справа налево;
- б — ослабевающая боковая составляющая ветра справа налево

#### 9.4. Влияние бокового сдвига ветра

Поскольку воздушное судно обычно приземляется и взлетает против ветра, выбрав ВПП (курс взлета или посадки) с подходящим направлением, встречная/попутная или продольная составляющая ветра в подавляющем большинстве случаев преобладает над боковой, или поперечной составляющей. Однако это не означает, что сдвига в боковой

составляющей ветра не существует или что подобный сдвиг не оказывает воздействия на воздушное судно. Фактически некоторый сдвиг в составляющей бокового ветра имеется почти всегда, но это, вообще говоря, не влияет на воздушную скорость и угол атаки и, следовательно, не изменяет состояния равновесия сил, действующих на воздушное судно в вертикальной плоскости. Влияет это на углы сноса и скольжения, создавая дополнительные затруднения для пилота. Оказывая влияние на углы сноса и скольжения, сдвиг бокового ветра заставляет воздушное судно разворачиваться по курсу и крениться, но не оказывает вначале влияния на воздушную скорость и высоту. Воздушное судно кренится и разворачивается по курсу в сторону сдвига и испытывает боковой снос в сторону от заданной траектории полета, как показано на рис. 9.3.

### **9.5. Сдвиг встречного/попутного ветра**

Сдвиги встречного/попутного ветра (т.е. составляющие встречного/попутного ветра, обычно определяемые по отношению к направлению ВПП) могут возникать вблизи земли, на посадке/ взлете при градиентах, характерных для сильного ветра (особенно при струйных течениях на малых высотах), а также при полетах через фронтальные поверхности и в непосредственной близости от зон грозовой деятельности.

Продолжительность воздействия сдвига ветра зависит от того, насколько быстро воздушное судно пройдет через слой сдвига ветра при взлете/посадке, т. е. от скорости полета при встрече с этим слоем.

Для воздушного судна, производящего посадку при быстро уменьшающемся встречном или усиливающимся попутном ветре, воздушная скорость уменьшается приблизительно с таким же темпом, с каким уменьшается встречный ветер или нарастает попутный. Как видно из рис. 9.4а, это вынуждает воздушное судно лететь ниже глиссады. Новый угол снижения, образующийся вследствие кратковременного отсутствия равновесия сил, действующих на воздушное судно, будет сохраняться, пока будет продолжаться сдвиг, пока будет оставаться неизменной вертикальная скорость снижения и пока будет иметь место невмешательство пилота. Посадка при усиливающимся встречном или уменьшающемся попутном ветре приводит к возрастанию воздушной скорости, эквивалентному быстроте сдвига (общей величине изменения скорости ветра), в результате чего воздушное судно летит выше глиссады. Эти два вида воздействия схожи с тем, что произошло бы в случае внезапного падения или возрастания тяги двигателей соответственно на эквивалентную величину, достаточную для образования нового угла снижения ниже или выше глиссады.

Воздействие встречного/попутного ветра на воздушное судно показано на рис. 9.4.

### **9.6. Сдвиг вертикальных составляющих ветра (восходящие и нисходящие потоки)**

Сдвиг ветра вследствие значительного и быстрого изменения его вертикальных составляющих (восходящих/нисходящих потоков) создает наиболее опасные для воздушного судна условия. Главными причинами опасности являются нисходящие порывы/микрорывы (микрорыв — это концентрированная форма нисходящего порыва). При нисходящем порыве сильные нисходящие потоки проникают сквозь нижнюю границу облачности и достигают непосредственной близости уровня земли, распространяясь затем в радиальных направлениях вдоль земной поверхности. Как полагают, интенсивные микрорывы образуют кольцевые вихри вокруг нижней части нисходящего потока у самой земли. Воздействие нисходящего порыва на воздушное судно зависит от

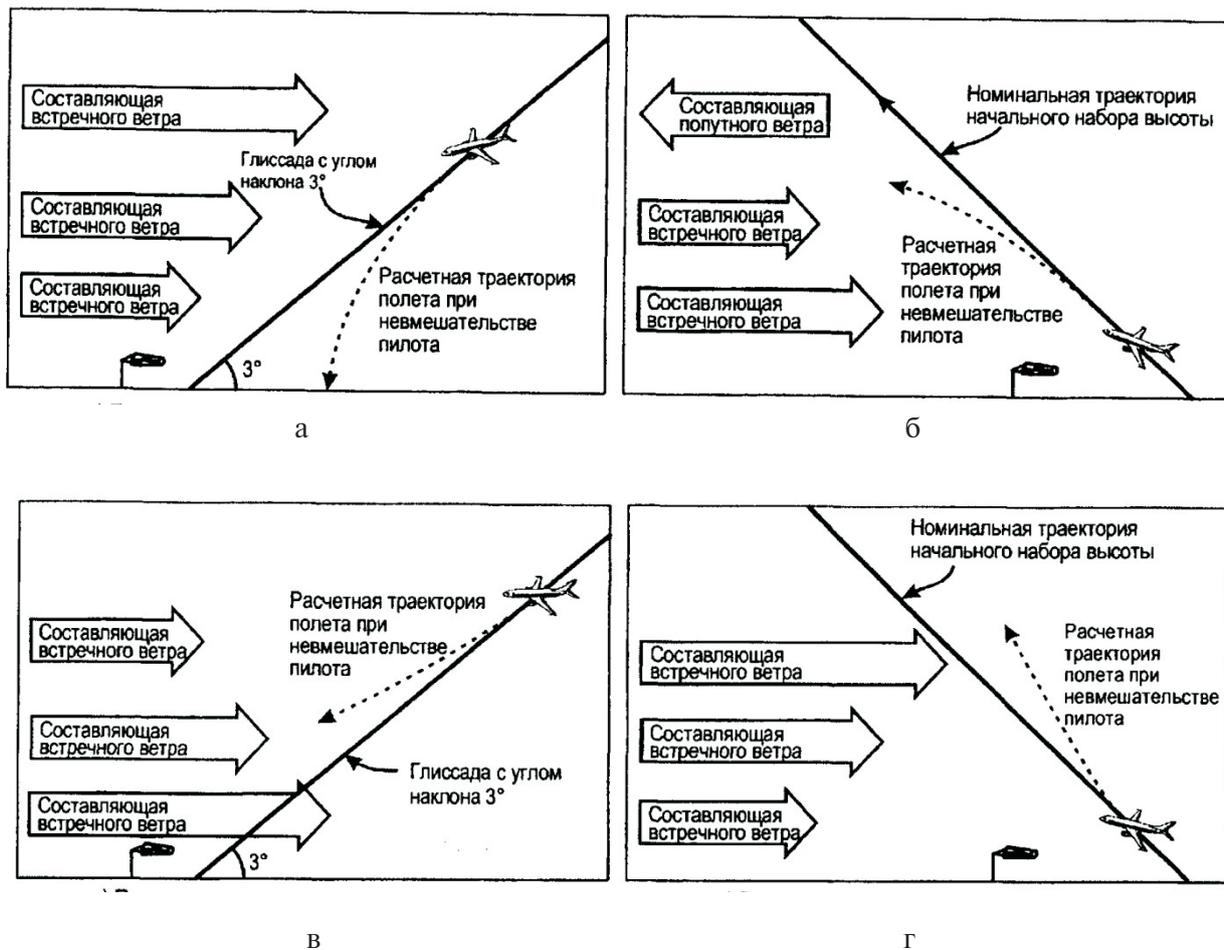


Рис. 9.4. Воздействие встречного (попутного) ветра на воздушное судно при предполагаемом невмешательстве пилота:  
а — посадка при ослабевающем встречном ветре; б — взлет при ослабевающем встречном ветре; в — посадка при усиливающемся встречном ветре; г — взлет при усиливающемся встречном ветре

конфигурации воздушного судна, интенсивности нисходящего порыва и места, где располагается нисходящий порыв (сбоку или вертикально) относительно траектории полета. При встрече с нисходящим порывом воздушное судно обычно вначале сталкивается с усиливающимся встречным ветром и, возможно, с завихрениями в нисходящем потоке. Наблюдаются и такие случаи, когда стержень нисходящего порыва располагается не вертикально, и тогда в зависимости от наклона это может усилить воздушный поток с одной стороны нисходящего порыва и ослабить его с противоположной стороны. Это значит, что усиливающийся встречный ветер может быть не всегда. Усиливающийся встречный ветер вызывает увеличение воздушной скорости, воздушное судно кабрирует и летит выше глиссады или траектории набора высоты.

По достижении воздушным судном центра нисходящего порыва встречный ветер прекращается и сменяется нисходящим потоком (вертикальной составляющей), угол атаки уменьшается с изменением набегающего потока в результате замены встречного ветра нисходящим потоком и продолжает уменьшаться по мере нарастания скорости нисходящего потока. Это вызывает пикирование воздушного судна, которое в обратном порядке проходит через заданную глиссаду или траекторию набора высоты и летит ниже нее. При

выходе воздушного судна из нисходящего порыва нисходящий поток сменяется усиливающимся попутным ветром, приводящим к уменьшению воздушной скорости и дальнейшему ухудшению траектории полета. Находясь внутри вертикального стержня сердцевины нисходящего порыва, воздушное судно снижается со скоростью нисходящего потока (т. е. «сносится» вниз в новом вертикальном режиме ветра аналогично сносу при боковом ветре, хотя нисходящий поток представляет, конечно, более серьезную опасность). Чтобы противостоять устойчивому нисходящему потоку, необходимо создать эквивалентную скороподъемность путем увеличения тяги и угла тангажа. Последовательность событий при предполагаемом невмешательстве пилота показана на рис. 9.5.

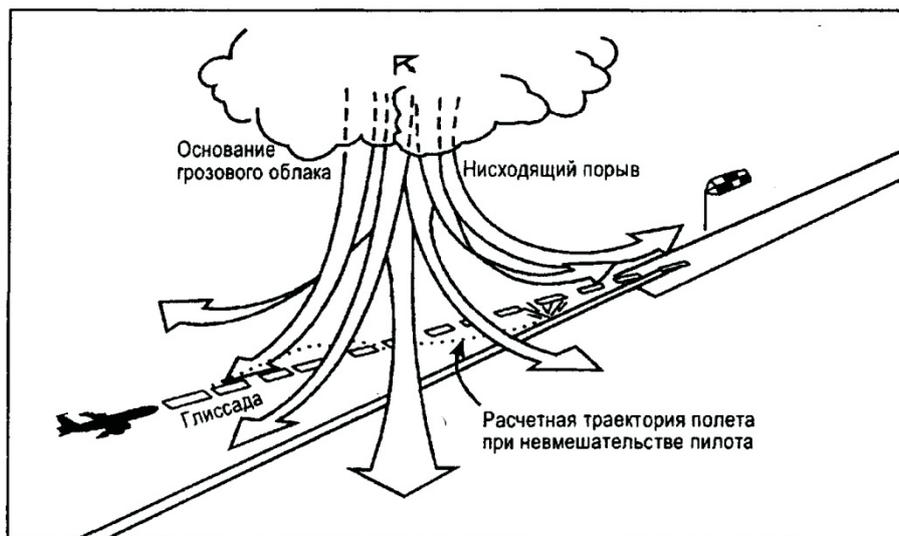


Рис. 9.5. При посадке с прохождением через нисходящий порыв происходит изменение траектории полета (по Мелвину)

Если нисходящий порыв находится в стороне от траектории полета, прямое воздействие на воздушное судно, будучи по-прежнему потенциально серьезным, обычно не бывает настолько сильным, как при прохождении воздушного судна более или менее непосредственно под нисходящим порывом, поскольку в первом случае придется иметь дело в меньшей степени с вертикальной составляющей, а в большей степени — с боковой составляющей ветра. Однако в силу того, что нисходящие порывы/микрпорывы часто встречаются «семействами», то если даже воздушное судно сможет обойти кромку нисходящего порыва, рекомендуется все же уйти на второй круг, чтобы избежать других нисходящих порывов, вполне могущих оказаться на пути воздушного судна. Такие последовательные события в зоне нисходящего порыва, как увеличение воздушной скорости, уменьшение и изменчивость угла атаки и уменьшение воздушной скорости, каждое из которых может происходить в течение всего лишь 30 секунд, создают для пилота чрезвычайно сложную и опасную ситуацию. Воздушное судно может встретиться с нисходящим порывом еще на ВПП в процессе разбега перед отрывом. При таких обстоятельствах вряд ли важно, где именно нисходящий порыв появляется на ВПП, поскольку во всех случаях он создает для пилота серьезные проблемы. Если нисходящий порыв появляется впереди воздушного судна, то, хотя вначале воздушная скорость будет нарастать быстрее нормы в силу воздействия встречного ветра от истечения потока, после отрыва воздушному судну придется пересечь последовательно зону нисходящего потока и попутного ветра от истечения потока. Это — наихудшее из возможных стечений обстоятельств,

так как на взлете режим тяги воздушного судна уже является близким к максимальному уровню или равным ему и скорее всего оно обладает сравнительно большой массой. Пилоту предстоит решать, достаточной ли будет длина полосы для прерванного взлета или же лучше продолжать взлет. Подобная ситуация может складываться, если нисходящий порыв находится позади воздушного судна перед его отрывом. В этом случае внезапный попутный ветер может не позволить воздушному судну развить необходимую для взлета воздушную скорость на располагаемой длине ВПП.

### 9.7. Сдвиг ветра в области фронта порывов

Несмотря на то, что общее воздействие фронта порывов известно метеорологам и пилотам с давних пор, а сам термин применяется уже по крайней мере с начала 60-х годов, подробная информация о структуре этой системы была накоплена сравнительно недавно. Фронт порывов — это передняя кромка холодного плотного воздуха из грозовых нисходящих потоков, который достигает земной поверхности и распространяется во всех направлениях, подрезая более теплый и менее плотный окружающий воздух (рис. 9.6). В этом отношении он напоминает пологий холодный фронт, только характерные скорости ветра, сдвиг ветра и турбулентность фронта порывов обычно намного выше. Вначале фронт порывов продвигается вдоль земной поверхности равномерно во всех направлениях, но так как обычно движется сам грозовой очаг, то фронт порывов движется с опережением грозы в направлении ее перемещения. Этот эффект может быть усилен, если, как это часто происходит, холодный нисходящий поток ударяет в земную поверхность не вертикально, а под углом, в результате чего холодному течению придается определенное направление. Вслед за прохождением передней кромки фронта отмечается заметный горизонтальный сдвиг ветра на уровне земной поверхности, и поскольку фронт может двигаться впереди исходного грозового очага на удалении до 20 км, такое внезапное изменение приземного ветра может застать пилотов врасплох. Изменение направления приземного ветра часто достигает  $180^\circ$ , а скорость порывов ветра после прохождения фронта может превышать 100 км/ч.

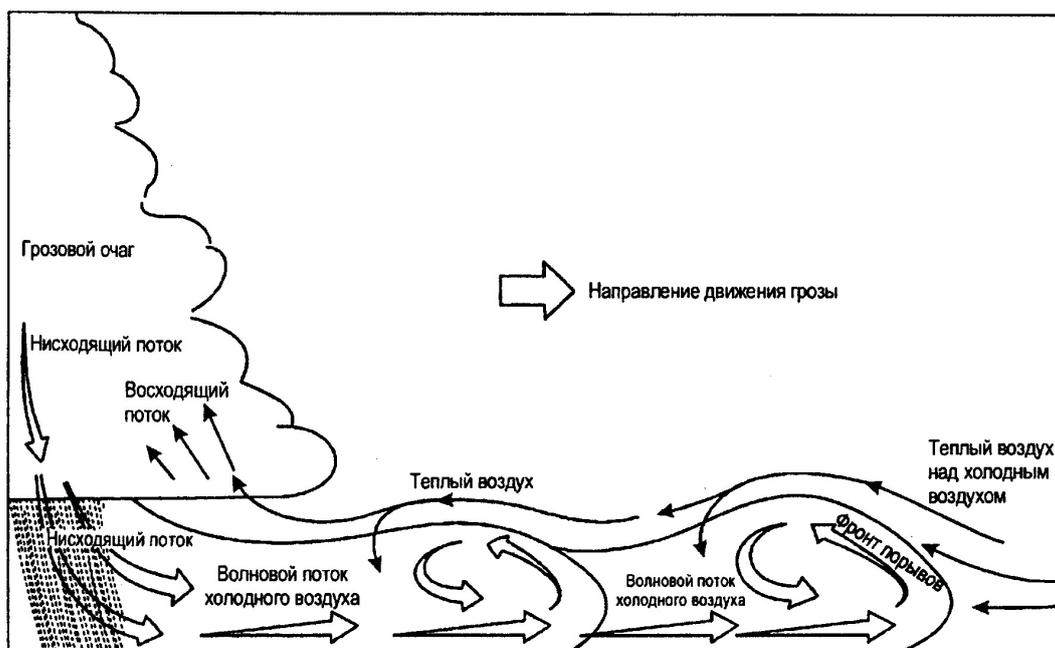


Рис. 9.6. Разрез типичного фронта порывов

## 9.8. Внешние метеорологические признаки для распознавания сдвига ветра

Распознавание по внешним метеорологическим признакам возможного наличия сдвига ветра вблизи аэропорта позволяет пилоту заблаговременно принять соответствующее решение для того, чтобы избежать попадания в зону его местонахождения посредством ухода на второй круг или задержки захода на посадку либо взлета до улучшения условий. И даже при принятии решения продолжать соответствующий этап полета распознавание по внешним признакам сдвига ветра вынуждает пилота заострить внимание на ходе выполнения посадки/взлета и более тщательно следить за показаниями бортовых приборов. Внешними признаками наличия сдвига ветра, непосредственно наблюдаемыми пилотом, являются:

- «вирга», т. е. осадки, выпадающие из основания облаков (особенно — конвективных), но испаряющиеся, не достигнув земной поверхности; при этом нисходящие потоки могут сохраняться и достигать земной поверхности, хотя сами осадки испарились;
- чечевицеобразное облако (ровное высоко-слоистое облако в форме линзы), указывающее на наличие стоячих волн, обычно в наветренной стороне от горы;
- шквалистое облако, окаймляющее основание грозы, движущееся впереди пояса дождя и указывающее на наличие фронта порывов;
- сильный порывистый приземный ветер, особенно при расположении аэродрома вблизи холмов или наличии сравнительно больших построек вблизи ВПП, указывающий на возможность местного сдвига ветра и турбулентности;
- участки вздымаемой ветром пыли, особенно — кольцеобразной формы, расположенные под конвективными облаками и указывающие на присутствие нисходящего порыва;
- реакция ветровых конусов на ветер различных направлений;
- шлейфы дыма, срезанные так, что верхние и нижние части движутся в различных направлениях;
- грозы (при грозах всегда следует считать возможным присутствие опасного сдвига ветра).

Значение какого-либо из вышеприведенных признаков для выполнения взлетно-посадочных операций на аэродроме должно в каждом конкретном случае оцениваться в зависимости от близости рассматриваемого явления к коридорам взлета и посадки.

## 9.9. Ветер, обтекающий препятствия

Сильные приземные ветры, взаимодействуя с препятствиями на пути преобладающего потока, расположенными с наветренной стороны траектории захода на посадку или взлета, такими, как большие здания, невысокие холмы или тесно расположенные группы высоких деревьев, могут создавать местные области сдвига ветра. В подобных обстоятельствах сдвиг ветра обычно сопровождается турбулентностью при ясном небе. Влияние препятствий на преобладающий поток воздуха зависит от многих факторов, самыми важными из которых являются скорость ветра и его направление относительно препятствия, а также масштаб препятствия по отношению к размерам ВПП.

Чаще всего сдвиг ветра подобного рода создается строениями вблизи ВПП, особенно на небольших аэродромах. Высота этих строений ограничивается в зависимости от их удаленности от кромки летной полосы, чтобы они не создавали помех для воздушных судов, но ширина их бывает значительной и по разным причинам они группируются в одном районе. Это означает, что при сравнительно небольшой высоте строения (например, ангары, емкости для хранения топлива и т. п.) представляют собой широкий и прочный барьер на пути преобладающего приземного ветра. Потоки воздуха обтекают строения сбоку и

сверху (рис. 9.7 а), что приводит к изменению параметров ветра вдоль ВПП. Горизонтальный сдвиг ветра, который обычно носит местный характер и является пологим и турбулентным, создает особые трудности для легких воздушных судов, производящих полеты на небольших аэродромах, однако отмечалось его воздействие и на более тяжелые воздушные суда.

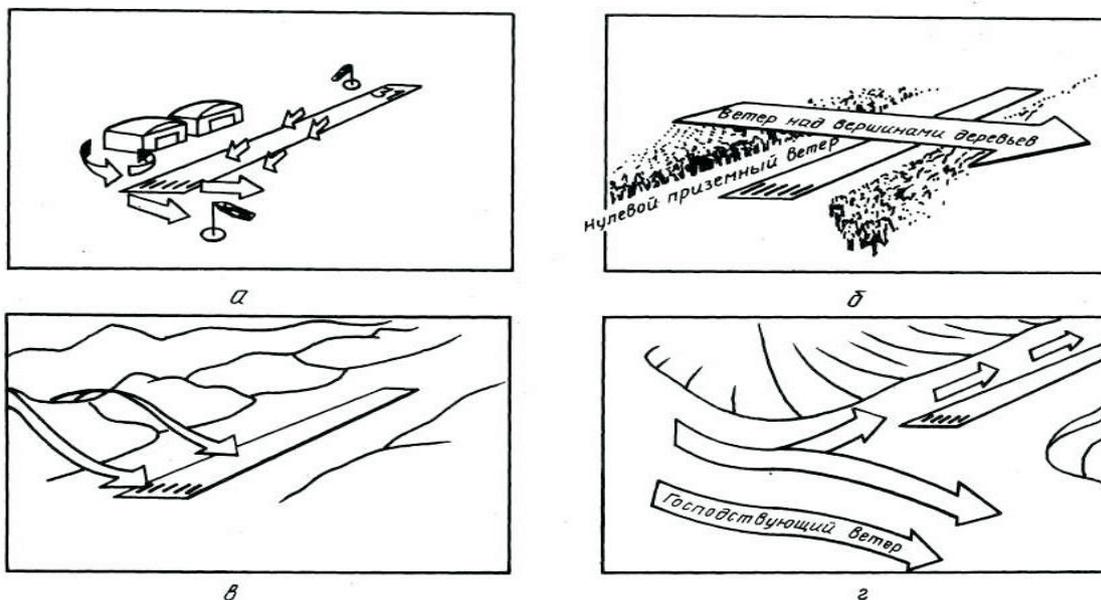


Рис. 9.7. Ветер, обтекающий препятствия

Для летных полей иногда буквально вырубают обширные участки лесов, в результате чего ВПП оказывается фактически внутри тоннеля из деревьев. И даже если граница деревьев находится в стороне от летной полосы и деревья не являются помехой для воздушных судов, поскольку высота лесного или плантационного полога достигает лишь 30 м (100 футов), приземный ветер вдоль ВПП нередко почти не связан с направлением ветра, преобладающего над пологом леса. Чаще всего приземный ветер бывает слабым и переменным либо наблюдается полный штиль вне всякой зависимости от параметров преобладающего ветра (рис. 9.7 б).

Еще больший интерес представляют ВПП, которые в силу необходимости сооружаются в узких долинах или вдоль гряды низких холмов. В этом случае масштаб препятствия таков, что оно может повлиять на воздушные потоки на малой высоте в обширном районе.

Там, где гряда низких холмов простирается рядом с ВПП, высота гряды может оказаться недостаточной для отклонения потока, но при преодолении потоком холмов он приобретает вертикальную (нисходящую) составляющую, которая в зависимости от близости холмов к ВПП может приводить к возникновению вдоль ВПП местных нисходящих потоков (рис. 9.7 в). В тех случаях, когда холмы или горы достаточно высоки, чтобы отклонять ветер на малых высотах, приземный ветер может втягиваться по сужающейся спирали вдоль ВПП (рис. 9.7 г).

Когда холмы располагаются по обе стороны от ВПП, втянутый по спирали поток может характеризоваться эффектом, сходным с эффектом трубки Вентури, что приводит к ускорению приземного ветра.

Сильные приземные ветры на аэродромах, где не имеется существенных препятствий на пути воздушных потоков, также могут приводить к возрастанию сдвига ветра. Это происходит потому, что в ближайших к земной поверхности слоях атмосферы сильный ветер

увеличивает механическую турбулентность, которая в свою очередь передает момент количества движения на всю область слоя и уменьшает сдвиг ветра у земной поверхности, но при этом соответственно возрастает сдвиг ветра на более высоких уровнях поверхностного пограничного слоя.

### 9.10. Расчет сдвига ветра

Сдвиг ветра, представляющий собой изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, выражается разностью между векторами ветра в двух точках, которая сама является вектором (так как обладает скоростью и направлением). Интенсивность сдвига ветра рассчитывается путем деления разности между векторами в двух точках на расстояние между ними.

Единицами измерения сдвига ветра являются: м/с на 30 м (метр в секунду на 30 метров) — для вертикального сдвига; м/с на 600 м (метр в секунду на 600 метров) — для горизонтального сдвига. В международной практике используются следующие единицы: км/ч на 30 м; м/с на 30 м; узл. на 100 фут и др.

Учитывая, что сдвиг ветра равен отношению единицы скорости к единице расстояния (высоты), т.е.  $\frac{\text{единица скорости}}{\text{единица расстояния}} = \frac{l/t}{l} = \frac{1}{t} = t^{-1}$ , где  $l$  — расстояние;  $t$  — время, то сдвиг ветра может выражаться  $s^{-1}$ . В физическом смысле эту единицу измерения трудно интерпретировать, однако она удобна для обозначения интенсивности сдвига ветра.

Для перевода одних единиц измерения сдвига ветра в другие можно использовать номограмму В. Г. Глазунова (рис. 9.8).

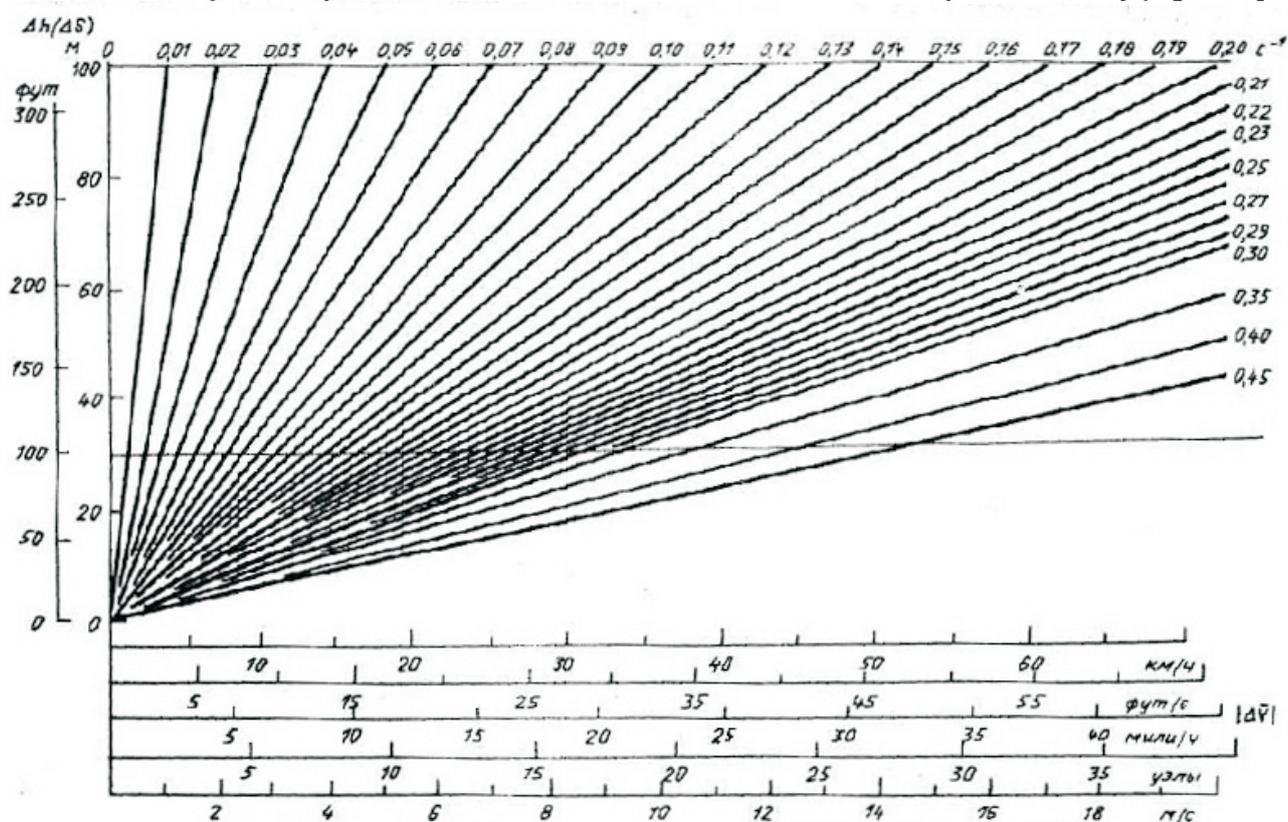


Рис. 9.8. Номограмма единиц измерения сдвига ветра (по В.Г. Глазунову).

$\Delta h$  ( $\Delta S$ ) м, фут — шкала расстояний по высоте (по горизонтали),  $|\Delta V|$  — шкала величины модуля векторной разностей скоростей ветра между точками измерений ветра.

Изолинии сдвига ветра  $s^{-1}$  надписаны на обрезе номограммы

При ее использовании необходимо от точки на номограмме, соответствующей определенным значениям расстояния между измерениями ветра ( $\Delta h$  для толщины слоя по вертикали или  $\Delta S$  для расстояния по горизонтали) и значениям разности ( $|\Delta \bar{V}|$ ), переместиться вдоль изолиний до точки, соответствующей другим значениям  $\Delta h$  ( $\Delta S$ ), а затем, опускаясь по вертикали вниз, произвести отсчет по шкале в требуемых единицах. Для определения значения сдвига ветра достаточно определить положение начальной точки относительно надписанных на верхнем или правом обрезе номограммы значений сдвига, ветра у изолиний  $\text{с}^{-1}$ .

Для того чтобы определить, к какой условной градации относится вертикальный сдвиг ветра в слое, толщина которого отличается от 30-метрового, необходимо воспользоваться эмпирической зависимостью вертикального сдвига ветра от толщины слоя. Такая зависимость, построенная по данным высотной метеорологической мачты в г. Обнинске (Калужская обл.), приведена на рис. 9.9. Найдя точку, соответствующую значениям входных параметров на графике ( $\Delta \bar{V}$  и  $\Delta h$ ), достаточно определить, в какую зону она попадает, чтобы оценить качественно термин величины сдвига ветра.

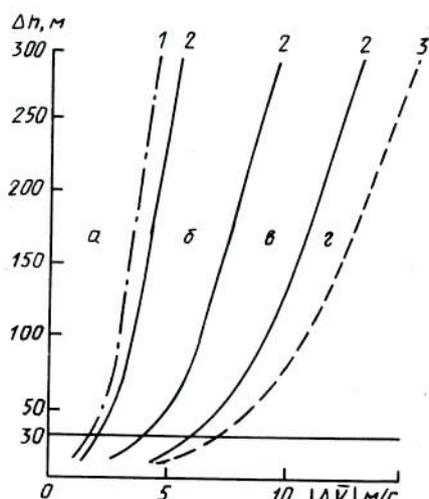


Рис. 9.9. Зависимость вертикального сдвига ветра  $\Delta \bar{V}$  от толщины слоя ( $\Delta h$ ) по данным высотной метеорологической мачты в г. Обнинске (по В.Г. Глазунову):

1 — средняя векторная разность скоростей ветра при различной толщине слоя; 2 — векторная разность скоростей ветра, соответствующая граничным значениям зон слабого (а), умеренного (б), сильного (в) и очень сильного (г) сдвига ветра для различной толщины слоя; 3 — максимальная векторная разность скоростей ветра для этих слоев

**Пример.** В слое  $\Delta h = 100$  м определена векторная разность скоростей ветра  $\Delta \bar{V} = 5$  м/с. По графику (рис. 9.9) видно, что соответствующая точка попадает в зону «б», т. е. в зону умеренного сдвига ветра [5].

Сдвиг ветра можно рассчитать графически. Для этого необходимо построить треугольник скоростей с помощью обычной линейки и транспортира, соблюдая масштаб. На рис. 9.10 в качестве примера взяты направление и скорость ветра на разных уровнях (где  $\bar{V}_1$  и  $\bar{V}_2$  — векторы ветра;  $\Delta \bar{V}$  — вектор сдвига ветра). Модуль сдвига ветра рассчитывается по формуле

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A},$$

где  $A$  — угол между векторами  $\bar{V}_1$  и  $\bar{V}_2$ .

Таким же образом можно рассчитать и горизонтальный сдвиг ветра, если имеются измерения у земной поверхности в двух точках, удаленных одна от другой на определенное расстояние. Вертикальный и горизонтальный сдвиги ветра показаны на рис. 9.11 и 9.12.

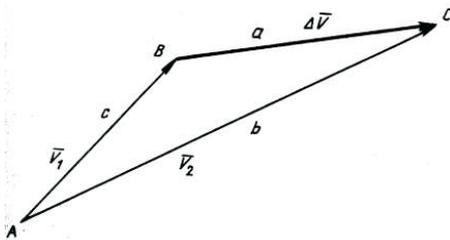


Рис. 9.10. К расчету сдвига ветра

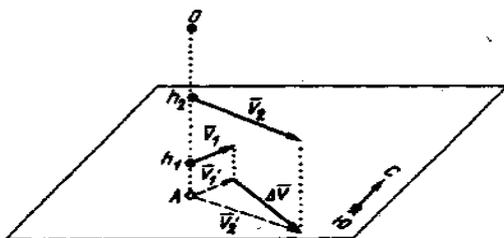


Рис. 9.11. Вертикальный сдвиг ветра: А — пункт измерения ветра; ОА — вертикаль в пункте измерения ветра;  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$  — векторы скорости ветра на высотах  $h_1$  и  $h_2$  соответственно;  $\Delta\vec{V}_1$  и  $\Delta\vec{V}_2$  — проекции векторов скорости ветра на горизонтальную плоскость;  $\Delta\vec{V}$  — векторная разность скоростей ветра в слое вертикального сдвига ветра.

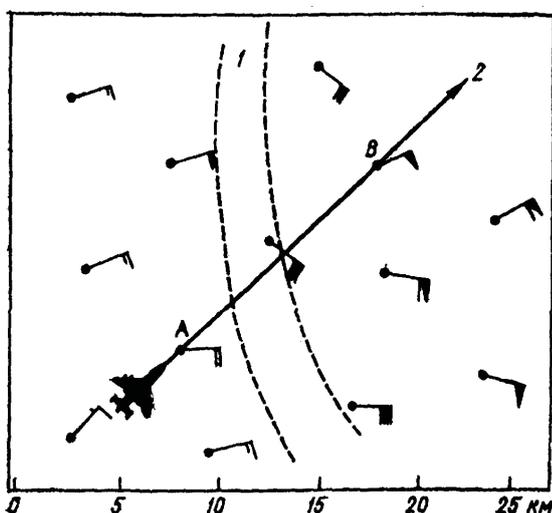


Рис. 9.12. Горизонтальный сдвиг ветра:  
1 — зона резкого изменения ветра по горизонтали;  
2 — траектория полета воздушного судна;  
А и В — точки измерения ветра вдоль траектории полета

Следует отметить, что сдвиг ветра нельзя рассчитать простым скалярным вычитанием скоростей ветра, за исключением случаев, когда два конкретных направления ветра точно совпадают или прямо противоположны. Расчет скалярных величин без учета векторов направления в большинстве случаев приводит к занижению фактического значения сдвига.

### 9.11. Ограничения при практическом применении методов расчета сдвига ветра

Методы расчета сдвига ветра могут применяться, если имеется информация о ветре в двух точках пространства, полученная, например, из донесения с борта снижающегося воздушного судна, из данных радиозонда или от двух разнесенных анемометров, установленных на разной высоте на мачтах или вдоль ВПП. Это в значительной мере ограничивает их практическое использование, так как информация о ветре в требуемых конкретных точках обычно не может быть получена. С эксплуатационной точки зрения существуют еще два ограничения:

1) расчет сдвига ветра по двум значениям ветра в точках, разделенных конкретным расстоянием, дает лишь обобщенное представление о сдвиге ветра между точками;

2) нет информации о том, является ли интенсивность сдвига линейной, или, если она не линейная, то является ли она по крайней мере постепенной между этими точками, или же большая часть сдвига приходится на короткий участок где-то между точками.

Следовательно, методы расчета сдвига ветра не всегда дают информацию о максимальной интенсивности сдвига ветра в интересующем слое. Помимо этого, расчет сдвига ветра с использованием данных радиозонда или шара-пилота уже представляет средние значения ветра в последовательных слоях атмосферы, а ветер на конкретных высотах определяется методом интерполяции, следовательно, может и не указывать на наличие фактического сдвига ветра между двумя отдельными высотами.

Интерполяция данных о сдвиге ветра представляет большую сложность, так как это явление носит локальный характер и значение сдвига ветра может меняться в течение малых промежутков времени. Экстраполировать данные о сдвиге ветра во времени более 30-60 мин нецелесообразно. Для получения более достоверных данных необходимо использовать всю имеющуюся информацию, и особенно сведения, полученные от экипажей воздушных судов.

## **Г л а в а 10. АНАЛИЗ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **10.1. Общие положения**

Гроза представляет собой комплексное явление, которое связано с развитием кучево-дождевых облаков и сопровождается электрическими разрядами в виде молнии и звуковым эффектом, называемым громом. Различают фронтальные и внутримассовые грозы. Фронтальные грозы по сравнению с внутримассовыми более интенсивны. Они наблюдаются на холодных фронтах, теплых участках атмосферных фронтов, фронтах окклюзии и в летнее время на холодных вторичных фронтах.

Внутримассовые грозы на суше обычно возникают в теплую половину года с максимумом развития во вторую половину дня. К вечеру над сушей они ослабевают и прекращаются, а над крупными водоемами ночью, как правило, усиливаются.

Основными факторами, определяющими условия развития грозовой деятельности, являются:

- неустойчивая стратификация атмосферы и прогрев нижних слоев воздуха;
- количество влаги в приземном слое и на высотах, необходимое для формирования грозового облака;
- характер адвекции температуры и влажности на различных высотах;
- региональные особенности;
- интенсивность и характер вертикальных движений.

Анализ исследований авиационных инцидентов, связанных с поражениями самолетов молниями при грозе, показал, что число поражений самолетов молниями на один день с грозой оказалось выше в холодный период (зима, ранняя весна, поздняя осень), чем в теплый период года. Проведенное в ГГО им. А. И. Воейкова сопоставление данных относительного распределения поражаемости самолетов молниями по сезонам с сезонным ходом грозовой активности для умеренных широт показывает, что в холодный период года относительная поражаемость самолетов на одну грозу в несколько десятков раз выше, чем в теплый.

Исследования условий поражения самолетов разрядами атмосферного электричества (молнией) зимой показали, что почти во всех случаях облака не имели характерных осо-

бенностей, присущих грозовым, по запасам энергии неустойчивости и по условиям вертикального развития.

Вертикальная мощность облаков в ряде случаев не превышала 2000 м, они давали слабые осадки, которые на экранах бортовых и наземных радиолокационных станций (РЛС) не отмечались вообще или отмечались в виде слабых засветок, возникающих при морозящих дождях. При этом не наблюдалось заметной болтанки.

Следует отметить, что существующие критерии диагноза и прогноза грозовых облаков, по данным МРЛ, основаны на ряде косвенных признаков, по которым установлено, что вероятность появления грозового процесса увеличивается с ростом толщины облаков, энергии неустойчивости, концентрации и размеров частиц осадков.

Грозовые явления прогнозируются, когда эти параметры достигают определенных критических значений. Однако в ряде случаев грозовые явления, в частности электрические разряды, возникают в облаках, характеристики которых не достигают критических значений. Тип воздушного судна, его геометрические размеры, скорость полета существенно влияют на вероятность поражения молнией. Чем больше размер воздушного судна и его скорость, тем выше вероятность поражения электрическим разрядом, если характеристики разрядных устройств одинаковы. Интенсивность воздействия электрического разряда пропорциональна силе тока, которая меняется в широких пределах. Поэтому последствия поражения могут быть различными.

Наиболее часто электрические разряды поражают выступающие части конструкции: носовую часть, концы крыла и стабилизатора, верхнюю часть крыла, носовой обтекатель РЛС.

Для оценки воздействия атмосферного электричества условно принята следующая градация повреждений:

1) значительные повреждения:

- разрушение антенно-фидерных систем;
- выход из строя или существенное нарушение работы радионавигационного оборудования и приборов;
- нарушение работы двигателей (помпажные явления, самовыключение, рост температуры газов и др.);
- нарушение работы энергосистем (высотное оборудование, электрогенераторы и др.);
- пробоины, прожоги и повреждения диэлектрических обтекателей и металлической обшивки;

2) слабые повреждения:

- оплавление металлической обшивки, заклепок, винтов и других элементов конструкции;
- вмятины обшивки и повреждения лакокрасочного покрытия;
- намагничивание металлических деталей и приборов;
- разрушение элементов молниезащиты;
- небольшие нарушения в работе оборудования.

По современным представлениям, условия, при которых зимой возникают поражения самолетов молниями, характеризуются следующими признаками:

- поражение молнией происходит на слабо выраженных холодных фронтах, в облаках, дающих слабые или умеренные осадки;
- температура воздуха на уровне поражения  $-10 \dots +10^{\circ}\text{C}$ ; максимум повторяемости приходится на интервал температур  $-10 \dots -2^{\circ}\text{C}$ ;
- малые вертикальные градиенты скорости ветра, наличие слабой болтанки;

— сильная статическая электризация, обычно предшествующая электрическому разряду и проявляющаяся в шумовом фоне радиоприемников, появлении искр на стеклах пилотской кабины, свечении концов плоскостей или носового обтекателя.

Характерно, что при поражении воздушных судов электрическими разрядами засветки на экранах бортовых РЛС не наблюдались в 46 и наблюдались только в 4% случаев.

Экспериментальные исследования показывают, что одной из возможных причин поражения молнией в холодный период года является формирование сильного электрического поля в слоисто-дождевых облаках, которые при определенных условиях можно считать облаками малой грозовой активности. Появление воздушного судна в таком облаке может вызвать разряд, если в его зоне создается напряженность электрического поля выше критической. Вероятность поражения возрастает, если на воздушном судне имеется заметный электрический разряд. В этих случаях разряд молнии, как правило, проходит через воздушное судно, вызывая поражения деталей конструкции или оборудования.

Сложение напряженности электрических полей от зарядов, индуцированных полем атмосферы на самолете, и собственного заряда самолета может привести к тому, что экстремумы напряженности поля возникнут не на концах крыла, стабилизатора, фюзеляжа и т.д., а ближе к центру самолета. В этом случае сложение внешнего и собственного полей приводит к рассеянию точек поражения на поверхности самолета и увеличивает опасность последствий поражения его разрядом.

Исследования показывают, что только полет в непосредственной близости к кучево-дождевому облаку может привести к аварийной ситуации. При удалении более 10 км перегрузки в очень редких случаях могут достигать критических значений. Исходя из этих соображений и учитывая, что средний диаметр кучево-дождевого облака равен 20 км, радиус зоны, где возможны грозовые явления, нужно принять равным 30 км. При этом следует учитывать, что внешний край облака отстоит от центра засветки на расстояние около 10 км.

Поскольку гроза, особенно внутримассовая, имеет локальный характер, то установить ее наличие при отсутствии наблюдений в районе авиационного происшествия крайне трудно, так как наблюдатель может фиксировать грозы на удалении не более 10-20 км.

Примеры разрядов атмосферного электричества показаны на рис. 10.1 и 10.2.



Рис. 10.1. Разряд атмосферного электричества между облаком и землей



Рис. 10.2. Разряды атмосферного электричества между облаком и землей

## 10.2. Оценка развития кучево-дождевых облаков

При расследовании авиационных происшествий, связанных с поражением воздушных судов атмосферным электрическим разрядом, возникает необходимость оценить вероятность наличия кучево-дождевых облаков в районе события. Для оценки возможности развития кучево-дождевых облаков необходимо проанализировать:

1) синоптические материалы:

- приземные синоптические карты (основные и кольцевые); карты барической топографии; карты особых явлений погоды;
- аэрологические диаграммы, а при необходимости и комплексные карты погоды для авиации;

2) информацию штормового кольца аэродрома (телеграммы «АВИА» и «ШТОРМ» с сообщениями о грозах, граде, ливнях и т. п.), включая и телеграммы, переданные кодами METAR, KN-01;

3) донесения и опрос экипажей воздушных судов (о болтанке, обледенении, электрической активности атмосферы);

4) радиолокационную информацию;

5) спутниковую информацию;

6) климатические материалы.

При оценке материалов о возможности наличия кучево-дождевых облаков в момент события необходимо также учитывать, что чаще всего эти облака бывают в сочетании с облаками других форм, могут маскироваться ими и не отмечаться метеонаблюдателями при отсутствии МРЛ. Использование в авиации синоптических карт (особенно кольцевых) и радиолокационной информации, а также комплексных карт характеристик погоды позволяет уточнить сведения о возможности развития кучево-дождевой облачности не только на отдельной метеостанции, но и на определенной территории.

С помощью информации штормового кольца можно рассчитать вероятность наличия кучево-дождевых облаков на территории вокруг пункта, где они наблюдались, для чего необходимо использовать климатические данные повторяемости кучево-дождевых облаков в данном пункте.

Для периода развития аварийной ситуации можно построить таблицу расчета суммарного числа наблюдений кучево-дождевых облаков (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Расчет суммарного числа наблюдений  $C_b$

Пункт наблюдений	Расстояние от места АП, км	Сроки наблюдений					Всего	
		$t_0-60$	$t_0-30$	$t_0$	$t_0+30$	$t_0+60$	случаев	сроков наблюдений
1	20	+	+			+	1	3
2	40		+	+	+	+	2	4
3	50	+		+		+	3	3
4	60		+		+		4	2

В таблице 10.1  $t_0$  — время авиационного происшествия, а за случай с  $C_b$  принимается срок наблюдения, в который хотя бы на одной из станций отмечались эти облака. При построении данной таблицы исходными материалами могут быть приземные карты погоды (особенно микрокольцевые), телеграммы «АВИА» и «ШТОРМ», в которых учитывается наличие гроз и выпадение осадков.

Сведения, полученные от экипажей воздушных судов (бортовая погода), о наличии болтанки, облечения и электрической активности атмосферы также служат подтверждением наличия кучево-дождевых облаков в районе полета. При этом весьма уместно использовать и радиолокационную информацию от РЛС, просматривающих район полета.

Для оценки возможности развития кучево-дождевых облаков необходимо также знать закономерности их пространственного распределения на большой территории. Фоновыми характеристиками крупномасштабных полей Св могут служить карты среднегодового и сезонного распределения их повторяемости и особенностей годового хода на территории Европы.

При анализе возможного развития кучево-дождевых облаков необходимо иметь в виду, что в районах штормовых колец аэродромов также существует большая неоднородность полей повторяемости таких облаков, обусловленная влиянием местных физико-географических особенностей. Учет этих обстоятельств обязателен при расследовании авиационных происшествий.

Оценить наличие кучево-дождевых облаков с большей степенью вероятности в районе авиационного происшествия поможет знание характеристик этой формы облаков и связанных с ней опасных для авиации явлений погоды.

В табл. 10.2 приведена краткая характеристика кучево-дождевых облаков в соответствии с классификацией, принятой Всемирной метеорологической организацией. В ней выделено 3 типа очагов интенсивной конвекции по основным признакам и параметрам.

Таблица 10.2

**Краткая характеристика кучево-дождевых облаков**

Параметр	Одноячейковые	Многаячейковые	Суперячейковые
Продолжительность существования, ч	До 1	До 1,5	До 4
Высота верхней границы, км	8-12	10-14	12-16
Размер (в поперечнике), км	5-20	20-40	20-40
Метеоявления	Ливни, грозы, град	Сильные ливни, грозы, град	Катастрофическиел ивни, град, торнадо, сдвиг ветра
Синоптическая ситуация	Малоградиентное барическое поле	Холодные фронты (основные и вторичные)	Холодный фронт, фронт окклюзии

В большинстве случаев можно уверенно классифицировать конвективные очаги по указанным критериям. Но в ряде случаев приведенные параметры могут и не соответствовать этим критериям, что зависит от конкретной синоптической обстановки.

Для определения возможного наличия кучево-дождевых облаков в момент авиационного происшествия целесообразно использовать различные методы:

- термодинамический;
- синоптический;
- радиолокационный;
- климатический.

Так, возможность развития атмосферной конвекции оценивается с помощью метода, основанного на определении запасов энергии статической неустойчивости. Пороговые значения энергии неустойчивости, начиная с которых вероятность развития становится значительной, зависят от местных условий.

Расчетные методы конвекции и конвективных явлений рассмотрены в Руководстве по прогнозированию метеорологических условий для авиации.[14].

Оценивая возможность развития кучево-дождевых облаков в районе события, необходимо иметь в виду, что в большинстве случаев облака рассматриваемой формы наблюдаются, как упоминалось ранее, в сочетании с другими облаками, чаще всего со слоисто-кучевыми. Из табл. 10.3 видно, что с увеличением ВНГО возрастает повторяемость сочетания кучево-дождевых облаков со слоисто-кучевыми облаками.

Таблица 10.3

**Повторяемость, %, кучево-дождевых облаков и их сочетаний с облаками других форм (на примере аэродрома Пулково)**

ВНГО, м	Форма облаков		
	<i>Cb</i>	<i>Cb; Sc</i>	<i>Cb; Frnb</i>
100-199	22	41	37
200-249	8	45	47
250-299	5	68	27
300-349	7	82	11

Наиболее часто конвективные явления наблюдаются в зонах атмосферных фронтов, где действует вынужденный эффект восходящих движений и значительно реже отмечается интенсивная внутримассовая конвекция. При фронтальной конвекции одновременно с кучево-дождевыми облаками развиваются системы облаков *Ns - As*, которые маскируют кучево-дождевую облачность. В таких случаях обнаружить кучево-дождевые облака помогают радиолокационные наблюдения, а также тщательный анализ синоптических карт за последовательные 3-4 срока.

При расследовании авиационных происшествий (инцидентов) важно тщательным образом проанализировать положение фронта, определявшего характер погоды в период развития аварийной ситуации.

### 10.3. Шаровые молнии

Авиационных происшествий, связанных с попаданием шаровых молний в самолеты и вертолеты в отечественной практике не зафиксировано. Тем не менее они могут представлять угрозу безопасности полетов гражданской авиации.

Шаровая молния, как правило, связана с грозой, но она нередко наблюдается и в отсутствие грозы. Хотя прямыми измерениями и не удалось установить, из какого вещества состоит шаровая молния, но тот факт, что она возникает благодаря какому-то действию естественного электричества, а также ее сложные траектории, часто наблюдающиеся у самой поверхности земли при очень малой скорости передвижения, указывают на то, что наличие в ней твердого ядра весьма мало вероятно.

Пример поражения лопасти пропеллера показан на рис. 10.3.

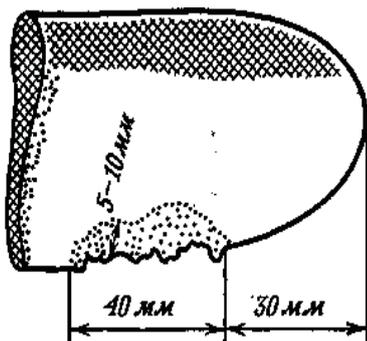


Рис. 10.3. Лопасть пропеллера, поврежденная шаровой молнией

Самолет только что прошел через холодный грозовой фронт и сильно обледенел. Высота облаков достигала 5,5-6 км, температура воздуха на высоте полета была 2-4° ниже нуля, и самолет сильно болтало. Оранжево-красный огненный шар диаметром 25-30 см быстро приблизился к самолету спереди. В 30-40 см от его носа шар свернул влево и пролетел мимо кабины летчика. В этот момент он задел сверху правый пропеллер и взорвался. Вслед за ослепительно белой вспышкой послышался громкий взрыв, заглушивший даже шум мотора. Справа вдоль фюзеляжа пронесся огненный поток, а самолет резко рванулся вверх. Во время полета через грозовую тучу отмечались сильные радиопомехи. Когда радист после разряда молнии хотел отключить антенну, его ударило током. Единственное повреждение, которое получил самолет, было обнаружено на лопасти пропеллера: ее край был оплавлен на участке 40 мм в длину и 5-10 мм в ширину на расстоянии 30 мм от конца лопасти. Оплавленный участок окружал слой сажи, которая легко стиралась рукой.

#### 10.4. Анализ радиолокационной информации

Радиолокационная информация обладает следующими достоинствами:

- дистанционность наблюдений;
- пространственная непрерывность засветок радиозахвата;
- независимость от времени суток;
- возможность определять горизонтальные и вертикальные размеры очагов;
- возможность определять наличие конвективных облаков и связанных с ними опасных для полетов явлений погоды в очаге радиозахвата;
- в сочетании с наблюдениями гидрометеостанций, включенных в штормовое кольцо аэродрома, — повышение эффективности метеообеспечения полетов и своевременности предупреждения экипажей воздушных судов о наличии опасных явлений погоды на участках набора высоты и снижения.

Вместе с тем радиолокационная информация имеет существенные недостатки, основными из которых являются:

- дискретность наблюдений;
- зависимость радиолокационной отражаемости метеообъекта от типа РЛС, протяженности зон с облаками и осадками на участке от РЛС до метеообъекта;
- зависимость от угла наклона антенны вероятности обнаружения верхней границы конвективных облаков.

Несмотря на это, метеорологические радиолокаторы (МРЛ) являются самым эффективным средством обнаружения опасных явлений погоды, связанных с грозовой деятельностью. Метеорологическая эффективность МРЛ определяется:

- вероятностью обнаружения облачности и осадков на различных расстояниях;
- вероятностью опознавания явления в очаге радиозахвата;

- точностью измерения горизонтальных размеров и вертикальной протяженности облачных систем, грозовых и ливневых очагов;
- точностью и диапазоном измерения интенсивности радиоэха (радиолокационной отражаемости).

Вероятность обнаружения облаков всех форм убывает с увеличением расстояния до них. В табл. 10.4 показана вероятность обнаружения грозовых очагов в зависимости от удаленности МРЛ.

Таблица 10.4

**Вероятность обнаружения грозовых очагов в зависимости от удаленности МРЛ**

Расстояние от грозовых очагов до МРЛ, км	Вероятность обнаружения, %	Расстояние от грозовых очагов до МРЛ, км	Вероятность обнаружения, %
10	100	150	70
50	98	200	40
100	95	300	5-8

Дальность обнаружения облачных систем с помощью МРЛ возрастает при увеличении:

- метеорологического потенциала Пм;
- радиолокационной отражаемости облака Z
- высоты облака H с отражаемостью  $Z > Z_{min}$ .

Таким образом, для определенного радиолокатора при заданном Пм вероятность обнаружения зависит от микроструктуры облачной системы или зоны осадков, которые в свою очередь зависят от физико-географических условий района наблюдений и сезона года.

Данные о вероятности обнаружения облаков с осадками с помощью МРЛ в центральных и северо-западных районах Европейской территории России (ЕТР) приведены в табл. 10.5.

Таблица 10.5

**Вероятность обнаружения облаков с осадками**

Явления и облака	Расстояние до облаков, км	Лето, %	Зима, %
Осадки из слоисто-кучевых облаков (Sc)	30-100	70	50
Обложные осадки из слоисто-дождевых облаков (Ns)	50-100	90	70
	100-150	70	40
	150-200	30	<5
Ливневые осадки из кучево-дождевых облаков (Cb) без грозы	30-100	100	70
	100-150	95	20
	150-200	70	< 5
Ливневые осадки из кучево-дождевых облаков (Cb) с грозой	200-300	20	
	50-100	100	-
	100-150	95	-
	150-200	80	-
	200-300	30	-

При анализе и оценке радиолокационной информации следует иметь, в виду, что наблюдения за облаками и осадками с помощью МРЛ относятся не к прямым, а к косвенным наблюдениям. На индикаторных устройствах оператор наблюдает не действительную картину расположения облаков и осадков, а лишь радиоэхо от них — совокупность отраженных электрических сигналов в виде засветки на экране электронно-лучевой трубки.

Объективная метеоинформация с помощью МРЛ может быть получена в том случае, если имеются устойчивые связи между радиолокационными и физическими характеристиками облаков и осадков и связанных с ними атмосферных явлений. В результате исследований установлено, что такие связи достаточно сложны и проявляются лишь в статистических зависимостях. Использование в качестве критериев распознавания отдельных радиолокационных признаков (например,  $IgZ$ ), как правило, не дает достаточной гарантии распознавания наблюдаемых метеобъектов. Поэтому методы объективного метеорологического анализа первичных радиолокационных данных основываются на использовании нескольких радиолокационных признаков, объединенных в один критерий.

Наиболее устойчивые статистические связи существуют между формами облачности и их радиолокационными характеристиками:

- геометрическими размерами радиоэха и его пространственным распределением;
- величиной радиолокационной отражаемости и ее изменением с высотой.

Облака на индикаторе кругового обзора имеют различные изображения. Однако среди них можно выделить несколько характерных типов радиоэха. Грозовые и ливневые очаги в кучево-дождевых облаках имеют наиболее яркие изображения в виде пятен неправильной формы (часто бывают овальные) с четко выраженными краями. Если эти пятна беспорядочно разбросаны по экрану, то грозы и ливни являются внутримассовыми. Если же они вытянуты в виде одной или двух-трех цепочек, то грозы и ливни связаны с атмосферными фронтами. Слоисто-дождевые, а также высокослоистые облака дают на центральной части экрана большое светлое пятно неправильной формы с сильно размытыми краями. Далее приведены основные радиолокационные признаки кучевообразных облаков и явлений, связанных с ними:

- максимальная высота верхней границы радиоэха;
- величина отражаемости;
- вертикальный профиль отражаемости.

Одна высота верхней границы радиоэха не является критерием распознавания. Так, в диапазоне высот от 2 до 10 км с различной степенью вероятности можно ожидать ливневые и обложные осадки, грозы.

Облака разных форм различаются по вертикальному профилю отражаемости. В слоисто-дождевых облаках отражаемость от нижней границы облаков возрастает до уровня нулевой изотермы, где достигает максимального значения, а затем уменьшается с высотой. В кучево-дождевых облаках интенсивность радиоэха незначительно изменяется с высотой. Максимальное значение отражаемости определяется высотой расположения ядра наиболее крупных облачных частиц. Высота этого уровня зависит от интенсивности вертикальных движений в облаке, т. е. от стадии его развития. В грозовых облаках  $Z_{max}$  располагается обычно выше, чем в ливневых облаках. При выпадении осадков радиоэхо опускается до земной поверхности.

В табл. 10.6 приведены средние радиолокационные характеристики различных метеоявлений для северо-запада ЕТР.

Средние радиолокационные характеристики

Вид явлений	H, км	$\lg Z_{\max}$	$y$ , км <sup>-1</sup>
Гроза	7,7	4,5	0,45
Ливень	5,0	3,3	0,94
Обложные осадки	4,0	2,3	2,30

Примечание. Через  $\gamma$  обозначен вертикальный градиент логарифма отражаемости.

Из данных табл. 10.6 видно, что грозовые очаги имеют наибольшую высоту, наибольшую отражаемость и наименьший вертикальный градиент логарифма отражаемости.

Для опознавания кучево-дождевых облаков и явлений, связанных с ними, применяется комплексный критерий

$$y = H_{\max} \lg Z_3,$$

где  $H_{\max}$  — максимальная высота радиоэха;  $Z_3$  — отражаемость на высоте выше уровня нулевой изотермы на 2-2,5 км.

Для ускорения расчетов критерия  $y$  используется график, представленный на рис. 10.4.

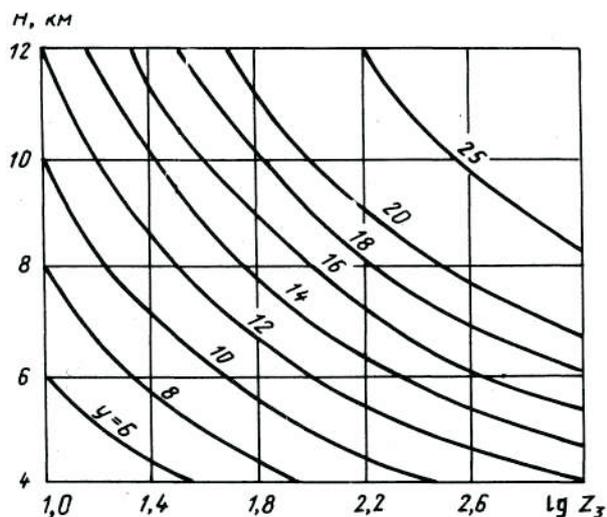


Рис. 10.4. График для расчета радиолокационного критерия грозоопасности

С целью повышения вероятности опознавания кучево-дождевых облаков и опасных явлений кроме радиолокационных характеристик используются аэрологические данные — такие, как высота изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$ . Это уровень массовой кристаллизации облачных элементов. Для образования грозового кучево-дождевого облака (по Н. В. Лебедевой) необходимо, чтобы его вершина развивалась выше этого уровня.

При радиолокационных наблюдениях облака вертикального развития и связанные с ними явления принято подразделять на три группы:

- I — градоопасные кучево-дождевые облака и грозовые облака с градом;
- II — грозоопасные кучево-дождевые облака и ливневый дождь с грозой;
- III — кучево-дождевые облака с ливнем и мощные кучевые облака.

Облака вертикального развития будут сопровождаться грозой и градом, если:

- 1)  $\lg Z_3 \geq 4,5$  или  $\lg Z_2 \geq 4,5$ ;
- 2) комплексный критерий  $y \geq 40$ ;
- 3) высота радиоэха равна высоте тропопаузы или превышает ее при  $\lg Z_3 \geq 3,5$ .

Для опознавания грозоопасных кучево-дождевых облаков и ливневого дождя с грозой используются следующие критерии:

1) в теплое время года:

а)  $\lg Z_2 \geq 3,5$ ;  $\lg Z_3 \geq 3,0$  при высоте радиоэха более 2-2,5 км над уровнем нулевой изотермы; вероятность грозы более 90%;

б)  $10 \leq y \leq 20$  — вероятность грозы менее 70%;  $20 \leq y < 25$  — вероятность грозы 75-80%;  $y > 25$  — вероятность грозы более 90%;

2) в холодное время года:

$\lg Z_3 > (2 - 2,5)$  при четко выраженном радиоэхе кучевообразных облаков (РКО) на высоте более 4-6 км.

Для опознавания кучево-дождевых облаков с ливнями и мощных кучевых облаков критериями являются:

1) в теплое время года:

а)  $6 \leq y < 10$ , ливневые осадки с вероятностью 70-90%;

б)  $\lg Z_1 \geq 0$  (при  $6 \leq y < 10$ ); вероятность ливневых осадков в радиусе до 90 км составляет 90-95%.

При наличии нижней границы РКО,  $\lg Z_1 < 0$ ,  $y < 6$  фиксируются кучевообразные облака без метеоявлений;

2) в холодное время года:

а) при  $\lg Z_1 \geq 1,3$  фиксируется ливневый снег в радиусе до 90 км с вероятностью более 90%;

б) при  $0,7 \leq \lg Z_1 \leq 1,3$  фиксируется ливневый снег с вероятностью 30-70%;

в) при  $-0,3 \leq \lg Z_1 \leq 0,7$  фиксируется обложной снег в радиусе до 90 км.

Надежность опознавания грозовых кучево-дождевых облаков при наблюдениях с помощью МРЛ может быть повышена в результате наблюдений за одними и теми же метеоцелями с помощью двух МРЛ, расположенных на расстоянии в несколько километров один от другого, или дополнительных наблюдений с помощью пеленгаторов гроз либо панорамных регистраторов, которые работают в метровом диапазоне радиоволн и позволяют обнаруживать непосредственно электрические разряды в грозовом облаке — молнии. Панорамные регистраторы гроз (ПРГ) могут использоваться вместе с обзорным диспетчерским радиолокатором.

Анализ метеообстановки по данным радиолокационных наблюдений будет полнее, если наряду с данными МРЛ используются результаты наблюдений обзорных РЛС, имеющих в распоряжении диспетчеров УВД. Сопоставление радиолокационных карт, построенных по данным наблюдений МРЛ и П-35, показывает в общем большое сходство картин радиоэха и вместе с тем некоторые существенные различия.

Расхождения в конфигурации радиоэха и интенсивности его отражения будут отмечаться в тех случаях, когда на пути зондирующего луча МРЛ располагаются облака и осадки:

$$Z = CR^2 \alpha^{-1} \cdot 10^{-0,1n},$$

где  $C$  — коэффициент, характеризующий потенциальную возможность РЛС обнаруживать метеоцель;  $R$  — удаление от метеоцели, км;  $\alpha$  — коэффициент ослабления;  $n = 10 \lg P_{\text{пр}} / P_{\text{пр min}}$ ;  $P_{\text{пр}}$  — средняя мощность принимаемого сигнала на расстоянии  $R$ ;  $P_{\text{пр min}}$  — минимальная мощность сигнала, которую может принимать МРЛ (мощность шума).

Анализ одновременных наблюдений за облаками и осадками с помощью МРЛ и П-35 показал, что разность  $\Delta \lg Z_{\text{max}} = \lg Z_{\text{max}} \text{ П-35} - \lg Z_{\text{max МРЛ}}$  близка к нулю, если в пространстве зондирующего луча нет фронтальных облаков, а кучево-дождевые облака расположены

на расстоянии не более 100 км от РЛС. Подмеченная закономерность позволяет определить значение отражаемости  $z$  от очагов радиоэха, которые будут обнаружены обзорным радиолокатором.

При анализе радиолокационной информации в период расследования авиационного происшествия или инцидента, связанных с поражением воздушных судов электрическими разрядами, необходимо:

– определить возможное ослабление отражаемости на пути распространения радиолуча от РЛС до интересующего нас района, используя связь между толщиной зоны с засветкой и значением возможного ослабления отражаемости; зная отражаемость от облака в интересующем районе  $\Delta \lg Z$ , (нанесена на радиолокационную карту) и прибавляя к ней возможное ослабление отражаемости  $\Delta \lg Z$  (указано в табл. 10.7), по графику, представленному на рис. 10.5, находим вероятность кучево-дождевых облаков с грозой, кучево-дождевых облаков и конвективных облаков в зависимости от суммарной отражаемости:

$$\lg Z_{\Sigma} = \lg Z_{\text{мрл}} + \Delta \lg Z;$$

Таблица 10.7

**Средняя разность радиолокационной отражаемости в очаге радиоэха в зависимости от толщины слоя засветки, проходимого радиолучом МРЛ**

$\Delta l$ , км	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Delta \lg Z$	0,2	0,4	0,6	1,1	1,6	2,1	2,6	3,3

– оценить возможное изменение отражаемости за период от времени наблюдения до времени, когда произошли расследуемое авиационное происшествие или инцидент, используя графики, приведенные на рис. 10.4;

– определить, если возникла необходимость, можно ли было «видеть» на экранах диспетчерского или бортового радиолокаторов засветки в облаках, где произошло поражение самолета разрядами атмосферного электричества или разрядами статического электричества.

Рассмотрим примеры анализа радиолокационной информации.

**Пример 1.** Допустим, что требуется оценить наличие кучево-дождевых облаков и гроз в районе, удаленном от МРЛ на 70 км.

Из табл. 10.7 следует, что до интересующего пункта радиолуч должен пройти зону засветки толщиной 70 км. В этом случае отражаемость от облаков в интересующем районе ослабевает в среднем на  $\Delta \lg Z = 2,6$ . Следовательно, суммарная отражаемость от облака должна быть равна той величине, которая указана на радиолокационной карте, т. е.  $\lg Z$  плюс ослабление в зоне облаков и осадков на пути прохождения радиолуча. В этом случае  $\lg Z = 0$ ,  $\lg Z_{\Sigma} = 2,6$ .

Из графика (рис. 10.5) видно, что при отражаемости, равной  $\lg Z_{\Sigma} = 2,6$ , вероятность наличия в очаге радиоэха гроз, кучево-дождевых и конвективных облаков в среднем близка к 22, 70 и 90% соответственно.

**Пример 2.** Допустим, что во время расследования инцидента потребовалось установить факт обнаружения бортовой РЛС того или иного очага, в котором зарегистрировано поражение самолета электрическими разрядами. В качестве исходных материалов в этом случае необходимо использовать как приземные карты, особенно микрокольцовки, так и радиолокационные карты за срок, близкий ко времени события.

Для того чтобы установить, действительно ли экипаж не видел на экране бортовой РЛС засветок, целесообразно прежде всего оценить, какое затухание следовало бы ввести в приземный

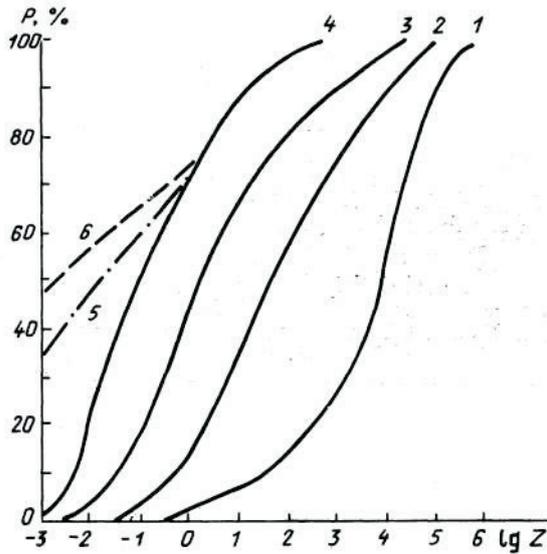


Рис. 10.5. Суммарная повторяемость форм облаков в зависимости от радиолокационной отражаемости:  
 1 — CbR; 2 — Cb R + Cb;  
 3 — Cb R, + Cb + Cu cong; 4 = 3 + Ns;  
 5 = 4 + Sc; 6 = 5 + St

тракт МРЛ, чтобы установить факт обнаружения засветки экипажем самолета. Для этого достаточно решить уравнения:

$$Z_1 = 1,3 \cdot 10^{-4} R_1^2 \cdot 10^{0,1n_1},$$

$$Z_2 = \Pi_{БРЛС} R_2^2 \cdot 10^{0,1n_2},$$

где индексами 1 и 2 обозначены соответственно данные для МРЛ и бортовой РЛС.

Считая  $Z_1 = Z_2$ ,  $R_1 = R_2$  и  $n_2 = 0$ , находим, что

$$n_1 = 10 \lg \cdot \frac{\Pi_{БРЛС}}{1,3 \cdot 10^{-4}} \quad (\text{для РЛС «Гроза» } n_1 = 22 \text{ дБ}).$$

После того как рассчитали  $n_1$ , определим отражаемость от облака, используя выражение

$$Z_1 = 1,3 \cdot 10^{-4} R_1^2 \cdot 10^{2,2},$$

или расстояние, на котором экипаж мог «видеть» засветку:

$$R_2 = \sqrt{\frac{Z_1}{\Pi_{БРЛС} \cdot 10^{2,2}}}.$$

В нашем случае на экране РЛС «Гроза» засветка «видна» на расстоянии

$$R_1 = \sqrt{\frac{Z_1}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{2,2}}} = 40 \text{ км}.$$

При расследовании авиационных происшествий или инцидентов в ряде случаев требуется оценить видимость в ливневых осадках. Для этих целей можно использовать табл. 10.8.

**МДВ в зависимости от интенсивности ливней и радиолокационной отражаемости в момент их выпадения из кучево-дождевых облаков**

Параметры	Интенсивность ливней $L$ , мм/мин							
	3,5	1,75	1,35	1,09	0,76	0,66	0,59	0,41
$\lg Z$	5,7	5,70	5,55	5,39	5,26	5,13	5,02	4,83
МДВ, м	300	500	600	780	800	900	1000	1200

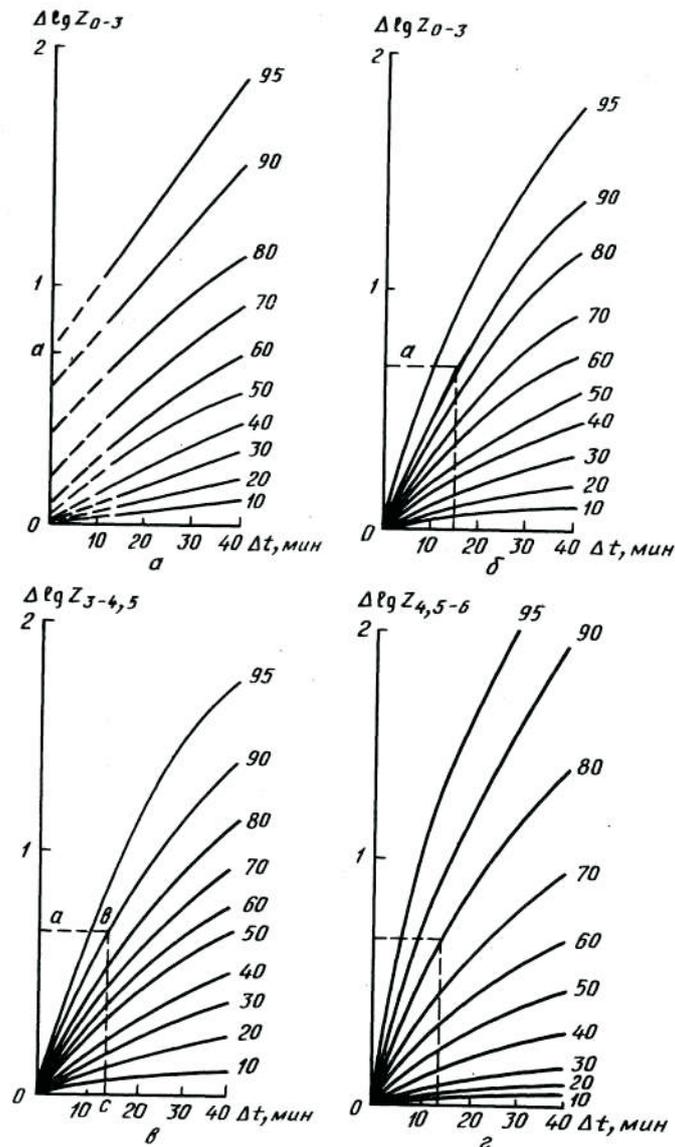


Рис. 10.6. Изменчивость разности  $\lg Z$  от кучево-дождевых облаков:  
 а — неисправленная; б, в, г — исправленная на ошибку метода наблюдения

## **10.5. Использование дополнительной информации для определения метеоусловий в районе авиационного происшествия (по материалам ГУ «НИЦ «Планета»)**

В зависимости от обстоятельств авиационного происшествия и при отсутствии или недостаточности сведений о фактической погоде в районе авиационного происшествия могут использоваться материалы ГУ «Научно-исследовательский центр» (НИЦ) «Планета».

В ГУ «НИЦ «Планета» разработаны и успешно апробированы инновационные (запатентованные в РФ) методы автоматизированной гидрометеорологической дешифровки результатов измерений уходящего теплового излучения, регистрируемого через каждые 15, 30 и 180 минут с помощью геостационарных спутников земли Meteosat-9, Meteosat-7 и MTSAT-1R соответственно.

В процессе метеорологической дешифровки распознается облачность, осадки, грозы, град в облаках, шквалы при грозе, делается оценка значений максимальной скорости вертикальных восходящих движений в облаках, высоты их верхней и нижней границы, фазы осадков, высотных границ обледенения в облачности, максимальной скорости и направления ветра у земли и на разных изобарических уровнях, а также значений ряда других метеорологических параметров.

Дистанционный обзор метеорологических условий с помощью новых карт проводится по всей территории России и сопредельных стран, расположенных по широте от 30 до 74° с.ш. и по долготе от 20° з.д. до 60° в.д., 10-110° в.д. и от 90° в.д. до 170° з.д. соответственно. Пространственная детальность карт (размер одного пикселя) составляет 0.1° географической долготы и широты, т.е. примерно 5-11 км на земной поверхности.

При распознавании метеорологических явлений учитываются не только значения радиационной температуры на верхней границы облачности, но и ее пространственная изменчивость, а также данные гидродинамической модели регионального прогноза (ГМРП) о температуре, влажности и давлении воздуха в нижнем слое атмосферы [1].

Первая версия карт метеорологической дешифровки спутниковой информации, проведенной 22 августа 2006 г., существенно дополнила другие виды наблюдений. Новые карты позволили детально (через каждые 15 минут) проанализировать динамику быстрого (в течение 1 часа) развития не прогнозировавшейся высокой (до 14 км) кучево-дождевой облачности с грозой и шквалом над Донецким краем, что привело к катастрофе самолета Ту-154.

Перечень карт, которые по запросу могут быть выпущены в ГУ «НИЦ «Планета» с дискретностью по времени, например, через каждые 15 минут для любой территории, расположенной по широте от 30 до 74° с.ш. и по долготе от 20° з.д. до 60° в.д. Причем, чем меньше площадь интересующего района, тем детальнее будут представлены на картах результаты метеорологической дешифровки.

Карта радиационной температуры (измеряется в °С) теплового излучения на верхней границы облачности, а при ее отсутствии, от самого верхнего слоя земной поверхности (вода, суша, растительность). Тепловое излучение регистрируется по измерениям с геостационарного спутника Meteosat-9 в диапазоне длин волн 10-11 мкм. На выпускаемых картах устранены искажения географической привязки облачности разной высоты, возникающие при спутниковой съемке вдали от подспутниковой точки. На каждую карту нанесены изобары приземного давления, рассчитанного по данным ГМРП на момент спутниковой съемки.

Время на карте соответствует моменту окончания спутниковой съемки интересующей территории;

- Карта метеорологических явлений (облака без осадков, осадки разной интенсивности, грозы разной вероятности (интенсивности), град в облаках и шквалы при грозе), автоматизировано распознанных по значениям радиационной температуры с учетом дополнительной прогностической информации о температуре и влажности атмосферы. На каждую карту нанесены изобары приземного давления, рассчитанного по данным ГМРП на момент спутниковой съемки;

- Карта высоты верхней границы кучево-дождевой облачности (от 7 до 15 км) и облаков других типов (от 1 до 15 км), автоматизировано распознанных по значениям радиационной температуры с учетом дополнительной прогностической информации о температуре и влажности атмосферы. На каждую карту нанесены изобары приземного давления, рассчитанного по данным ГМРП на момент спутниковой съемки;

- Карта высоты нижней границы облаков разных типов (от 0 до 5 км с дискретностью 0.25 км), автоматизировано распознанных по значениям радиационной температуры с учетом синхронных данных ГМРП о температуре и влажности атмосферы, а также высоты уровня конденсации водяного пара. Высоты более 5 км обозначены цветом, соответствующим в легенде 5 км. На каждую карту нанесены изобары приземного давления, рассчитанного по данным ГМРП на момент спутниковой съемки;

- Карта высотных границ обледенения в облачности (высоты изотерм 0 и -10°C), автоматизировано распознанных по значениям радиационной температуры с учетом синхронных данных ГМРП о температуре и влажности атмосферы, а также высот верхней и нижней границ облаков. Высоты более 6 км обозначены цветом, соответствующим в легенде 6 км.

- Карта максимальной скорости и направления ветра у земли, значения которых оцениваются по данным ГМРП и вводятся поправки на дополнительное усиление ветра нисходящими воздушными потоками в районах с конвективной облачностью. Расчет поправок осуществляется по результатам дешифровки спутниковой информации. Для упрощения анализа на каждую карту нанесены изобары приземного давления, рассчитанного по данным ГМРП на момент спутниковой съемки;

- Карта скорости и направления ветра, температуры и высот изобарического уровня, например 300 гПа, значения которых рассчитываются на момент спутниковой съемки по данным ГМРП;

- Карта значений температуры воздуха у поверхности земли по данным ГМРП. Время на карте соответствует моменту спутниковой съемки, для которого рассчитана информация ГМРП.

Образцы некоторых карт НИЦ «Планета» приведены на рисунках 10.7, 10.8, 10.9.

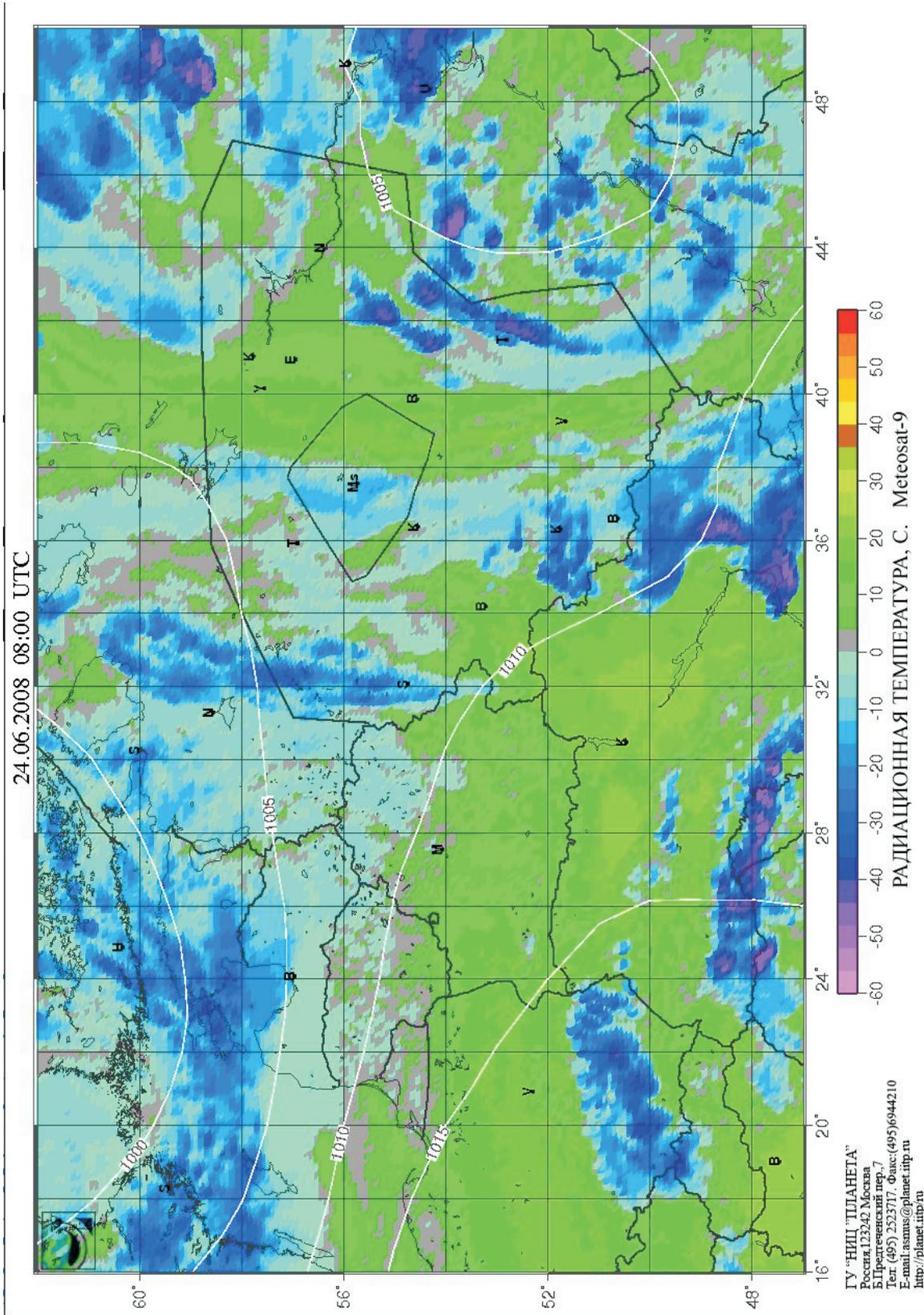
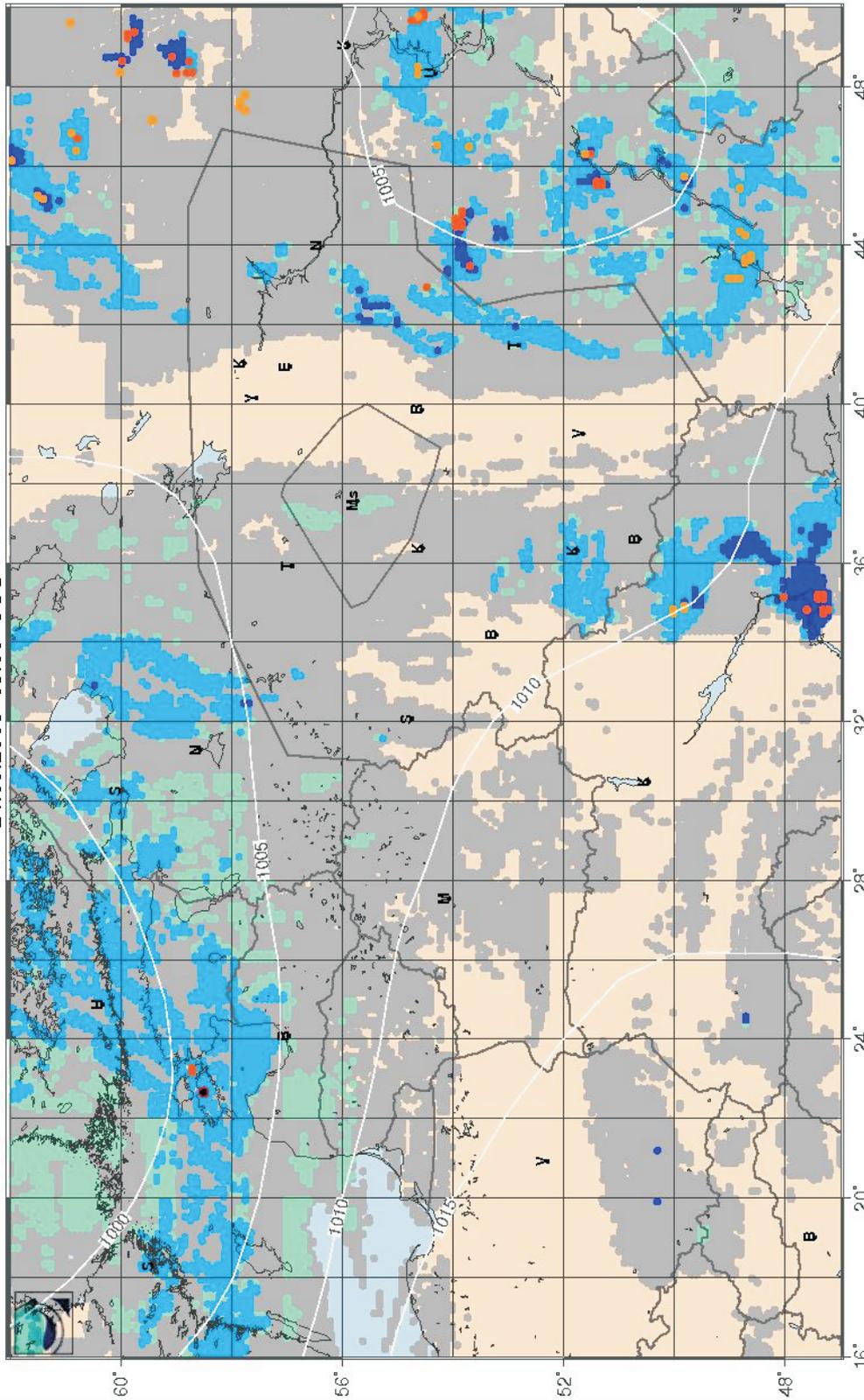


Рис. 10.7. Карта радиационной температуры

24.06.2008 08:00 UTC



ГРУППА КОМПАНИЙ "ПЛАНЕТА"  
Россия, 123242 Москва  
Б.Пролетарский пер., 7  
Тел: (495) 2523717. Факс: (495) 6944210  
E-mail: asms@planet.itp.ru  
http://planet.itp.ru

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ:**  
Meteosat-9

- гроза со шквалом, ● град в облаках, ● облака,
- высокая/● средняя/● низкая вероятность гроз,
- сильный ливень, ● ливень, ● ум./● слаб. осадки.

Рис.10.8. Карта метеорологических явлений

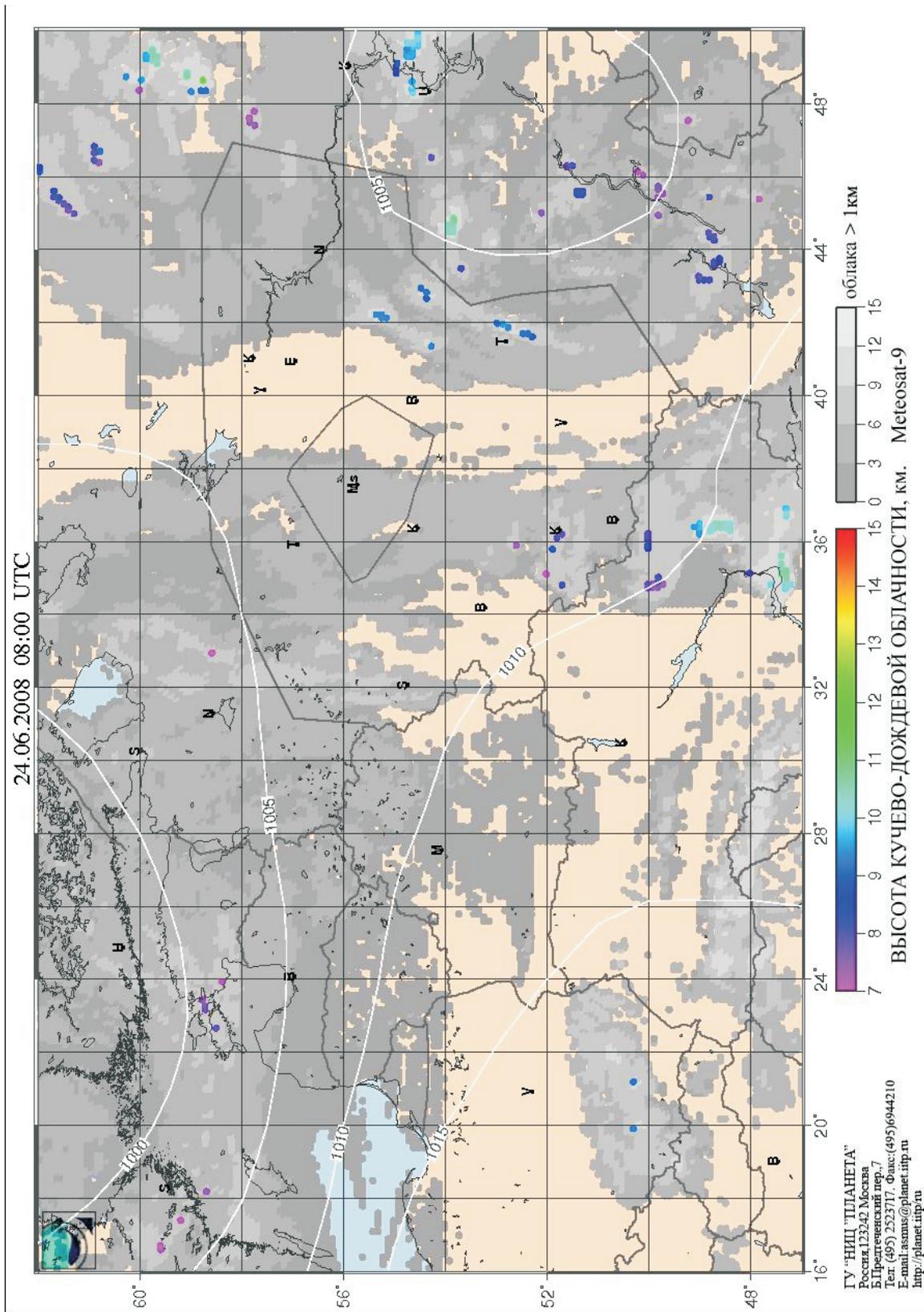


Рис. 10.9. Карта высоты кучево-дождевой облачности

# Глава 11. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

## 11.1. Характеристики и критерии атмосферной турбулентности

В турбулентном потоке, представляющем собой совокупность неупорядоченных вихрей различного масштаба, воздушные суда испытывают перегрузки, которые ощущаются экипажем и пассажирами в виде толчков и бросков, получивших название болтанки. Интенсивность болтанки зависит от интенсивности вертикальных и горизонтальных пульсаций воздуха, от размеров и аэродинамических качеств воздушных судов, от скорости полета и других факторов.

Оценку эффективности турбулентности рекомендуется проводить по эффективной скорости дискретного порыва ( $W_{эф}$ ), рассчитываемой по значению перегрузок с учетом аэродинамических характеристик самолета:

$$W_{эф} = \frac{2\Delta n \cdot m}{s\rho V_{BC}}, \quad (11.1)$$

где  $\Delta n$  — приращение вертикальной перегрузки в центре тяжести самолета;  $m$  — полетная масса самолета;  $s$  — несущая площадь крыла;  $\rho$  — плотность воздуха;  $V_{BC}$  — скорость полета воздушного судна.

Перегрузку можно оценить по формуле

$$n = 1 \pm \frac{\rho V W_{эф} C_y^a}{2m/s}, \quad (11.2)$$

где  $V$  — воздушная скорость;  $C_y^a$  — производная от коэффициента подъемной силы по углу атаки.

Знак плюс (+) относится к случаю восходящего потока, знак минус (-) — к случаю нисходящего.

Второе слагаемое в формуле 11.2 представляет собой приращение перегрузки  $\Delta n$ , т.е.

$$\Delta n = \frac{\rho V W_{эф} C_y^a}{2m/s}. \quad (11.3)$$

При спокойном горизонтальном полете  $n = 1$ ,  $\Delta n = 0$ . При воздействии на воздушное судно восходящего потока возникает положительное приращение перегрузки. Находящиеся в это время в воздушном судне пассажиры и грузы становятся как бы тяжелее. Нисходящие потоки, наоборот, приводят к отрицательным перегрузкам, вследствие чего пассажиры и груз становятся как бы легче в число раз, равное приращению перегрузки. Если приращение перегрузки равно -1, возникает невесомость.

Формула (11.3) показывает, что перегрузка (болтанка) пропорциональна скорости вертикального порыва. Это обстоятельство позволяет решить и обратную задачу — оценивать интенсивность турбулентности по перегрузке воздушного судна, т.е. по интенсивности болтанки. Такая оценка в практической работе вполне приемлема, хотя и является приближенной.

Важно отметить, что болтанка воздушных судов в атмосфере бывает связана не только с турбулентностью. Волновые или полупорядоченные конвективные движения также

могут приводить к вертикальным перегрузкам воздушных судов, пересекающих такие зоны с большой скоростью.

Однако такие случаи сравнительно редки, поэтому практически болтанку почти всегда отождествляют с турбулентностью, а турбулентность — с болтанкой. Поскольку перегрузка зависит от удельной нагрузки воздушного судна, его скорости и других характеристик, то при одних и тех же скоростях порывов воздушные суда различных типов и даже одно и то же воздушное судно на различных режимах полета могут испытывать болтанку различной интенсивности. Исходя из этого, при заходе на посадку после создания посадочной конфигурации воздушного судна болтанка считается умеренной при  $\Delta n$  от  $\pm 0,3g$  до  $\pm 0,4g$  и сильной при  $\Delta n > \pm 0,4g$ .

В атмосфере возникновение турбулентности связано с действием целого ряда факторов. По преобладанию того или иного фактора принято условное деление турбулентности на механическую, термическую, связанную с кучево-дождевыми облаками, в зоне атмосферных фронтов, в ясном небе и орографическую. Далее приводится описание указанных видов турбулентности и метеорологических условий их развития.

## 11.2. Механическая турбулентность и термическая турбулентность

Турбулентность механического вида возникает вследствие приземного трения, приводящего к изменениям направления и скорости ветра, формированию профиля ветра с большими вертикальными градиентами и образованию отдельных вихрей. Развитие механической турбулентности зависит от скорости воздушного потока и степени шероховатости поверхности. Чем больше шероховатость и скорость ветра у земной поверхности, тем интенсивнее развивается турбулентность.

Турбулентность термического вида является следствием развития неупорядоченных конвективных движений при неустойчивой термической стратификации атмосферы. Над сильно нагретыми участками земной поверхности образуются элементы конвекции — термики, пространственное распределение которых носит хаотический характер. В зависимости от состояния атмосферы и характера подстилающей поверхности термики могут иметь форму либо струй, либо пузырей.

Термическая турбулентность имеет четко выраженный суточный и годовой ход. Летом при безоблачном небе после восхода солнца развитие термической турбулентности начинается, как правило, в слое до 100-150 м над поверхностью земли. Вначале она проявляется в виде отдельных разрозненных возмущений, которые отмечаются пилотами как отдельные изолированные провалы и подъемы воздушного судна.

После 8-9 ч распространение турбулентности вверх происходит довольно быстро, так что к 11-12 ч она охватывает слой атмосферы до 1000-1500 м в умеренных широтах и 1500-2000 м в южных широтах. Наибольшей интенсивности турбулентность достигает примерно к 14-15 ч, когда она может охватывать слой атмосферы до высоты 2000-2500 м. После 16-17 ч происходит затухание термической турбулентности, причем на разных высотах с различной скоростью. Этим объясняется то, что обычно в конце дня отмечается несколько тонких слоев, в которых наблюдается болтанка воздушного судна, чаще всего слабая.

Над крупными водоемами (моря, большие озера, болота) термическая турбулентность чаще всего наблюдается ночью.

При развитии термической турбулентности и большой влажности воздуха происходит развитие облаков кучевых форм. Оптимальные условия для развития термической турбулентности наблюдаются при количестве кучевых облаков 3-4 балла и их вертикальной протяженности до 1 км. В этом случае сохраняется достаточно большой приток солнеч-

ной радиации и увеличивается неравномерность нагрева подстилающей поверхности. При полетах под облаками может наблюдаться болтанка от умеренной до сильной. При количестве кучевых облаков до 5-7 баллов интенсивность термической турбулентности в среднем уменьшается за счет ослабления прямой солнечной радиации. Вероятность болтанки при этом также уменьшается, хотя в отдельных местах могут отмечаться сильные броски воздушного судна.

Облака слоистых форм препятствуют развитию термиков. Лишь при перистых облаках и сильной неустойчивости нижнего слоя термики могут сохраняться. При полном покрытии неба облаками развитие термиков прекращается.

### 11.3. Турбулентность при наличии кучево-дождевых облаков

Кучево-дождевые облака, особенно в стадии максимального развития, представляют серьезную опасность для полетов. С ними связано выпадение дождя и града, сильные нисходящие потоки, сдвиги ветра и турбулентность. Около кучево-дождевого облака в нижнем слое атмосферы обычно образуется полоса, характеризующаяся резким изменением скорости и направления ветра. Она получила название зоны шквала, или фронта порывистости.

Фронт порывистости образуется в результате опускания холодного воздуха под кучево-дождевым облаком, вызванного вовлечением воздуха выпадающими осадками. Передний край холодного воздуха у земной поверхности представляет собой как бы мелкомасштабный холодный фронт, который характеризуется большими контрастами температуры, наличием зоны сильной турбулентности, больших вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра, а также резкими колебаниями вертикальной составляющей скорости ветра.

Представляют опасность и восходящие/нисходящие конвективные движения в нижнем слое вблизи кучево-дождевых облаков и под ними. Восходящие потоки обычно рождаются в нижнем 500-метровом слое атмосферы за 20-40 км перед кучево-дождевыми облаками. Лишь при слабых ветрах в пограничном слое конвективный подъем начинается на расстоянии около 5-10 км от передней (по направлению перемещения) части облака. В результате этого вблизи земной поверхности уже на расстоянии в несколько десятков километров от передней части кучево-дождевых облаков воздушное судно может встретить сильные потоки, «засасывающие» его внутрь основания облака.

В свободной атмосфере мощные кучевые и особенно кучево-дождевые облака представляют наибольшую угрозу для безопасности полетов. Скорости конвективных вертикальных движений и турбулентных вихрей в них могут достигать значений, которые более нигде в атмосфере не встречаются. Как показали результаты исследований в Российской Федерации и за рубежом, максимальные скорости вертикальных потоков воздуха ( $W_{\max}$ ) внутри кучево-дождевых облаков приблизительно в 50% случаев достигают 5 м/с, а иногда превышают 30 м/с. Самые значительные вертикальные скорости — до 50 м/с и более — наблюдаются в так называемых суперячейковых облаках.

Попадание самолета внутрь мощного вертикального потока приводит к скачкообразному изменению высоты полета до нескольких десятков метров. При пересечении вертикальных потоков разного знака наблюдаются большие приращения перегрузок воздушного судна. На границах таких потоков развивается наиболее интенсивная турбулентность. Значения интенсивности вертикальных движений возрастают в нижних двух третях облака, а выше они убывают, приближаясь к нулю у верхней кромки облака.

Интенсивность болтанки обычно усиливается от основания облака вверх, до нижней части наковальни; выше она постепенно ослабевает. Внутри периферийной части (отро-

гов) наковальни болтанка не превышает умеренную, тогда как в купольной части вершины она может быть сильной. Внутри кучево-дождевых облаков, как уже отмечалось, наиболее интенсивная болтанка наблюдается у границ вертикальных конвективных потоков. Наиболее интенсивная турбулентность и болтанка развиваются рядом с растущими кучево-дождевыми облаками *Cb calv* и внутри них; в облаках, прекративших свой рост. В постепенно распадающихся облаках *Cb inc* болтанка постепенно ослабевает.

Хотя вне облака болтанка значительно слабее, чем внутри него, однако и здесь на удалении до нескольких сотен метров она может быть умеренной, а на расстоянии до нескольких десятков метров от кучево-дождевых облаков — сильной. Средняя толщина турбулентной зоны над растущими облаками *Cb calv* составляет примерно 500 м, хотя сильная болтанка может наблюдаться лишь в слое 50-100 м над ними. Над облаками *Cb inc* мощность турбулизированного слоя не превосходит 100-200 м, причем интенсивность болтанки — не более умеренной.

При встрече мощных кучево-дождевых облаков большой протяженности, представляющих наибольшую опасность, воздушное судно обычно обходит их сверху. Следует при этом иметь в виду, что турбулентные зоны вокруг их вершин и над ними асимметричны. Эта асимметрия выражается в том, что повторяемость и значения турбулентных порывов максимальны перед подветренной стороной облака (т.е. наиболее удлиненной частью наковальни); длина области повышенной турбулентности в слое 200-300 м над кучево-дождевым облаком и перед ним примерно в 2-3 раза больше, чем за его тыловой частью и рядом с флангами. Такая конфигурация турбулентных зон связана с системой обтекания этих облаков внешним воздушным потоком и приводит к тому, что в непосредственной близости к вершине вертикальный градиент ветра может достигать 8-10 м/с на 1000 м, что вызывает резкое увеличение вероятности болтанки вблизи кучево-дождевых облаков. Интенсивные турбулентные порывы в сочетании с конвективными потоками создают в них условия, опасные для пилотирования.

Воздушное судно может бросить вверх или вниз на несколько десятков и даже сотен метров. Кроме того, появляются большие колебания углов крена и тангажа, которые в сочетании с большими значениями перегрузок создают режим, опасный для прочности воздушного судна.

Поскольку в кучево-дождевых облаках наблюдаются и другие опасные явления, полеты внутри этих облаков запрещены. Исследования показывают, что сильная турбулентность наблюдается не только в кучево-дождевых облаках и в непосредственной близости от них, но и на расстоянии 30-40 км от изолированных кучево-дождевых облаков вниз по потоку. Случаи сильной турбулентности отмечались также и на расстоянии 1-2 км вверх от вершины такого облака. Это указывает на то, что кучево-дождевые облака вызывают турбулентность не только связанную с циркуляцией внутри облаков, но и влияющую на развитие турбулентности в ясном небе. Этому способствуют волновые движения в атмосфере, которые возникают при обтекании кучево-дождевых облаков воздушным потоком.

Упрощенная модель кучево-дождевого облака в стадии максимального развития показана на рис. 11.1.

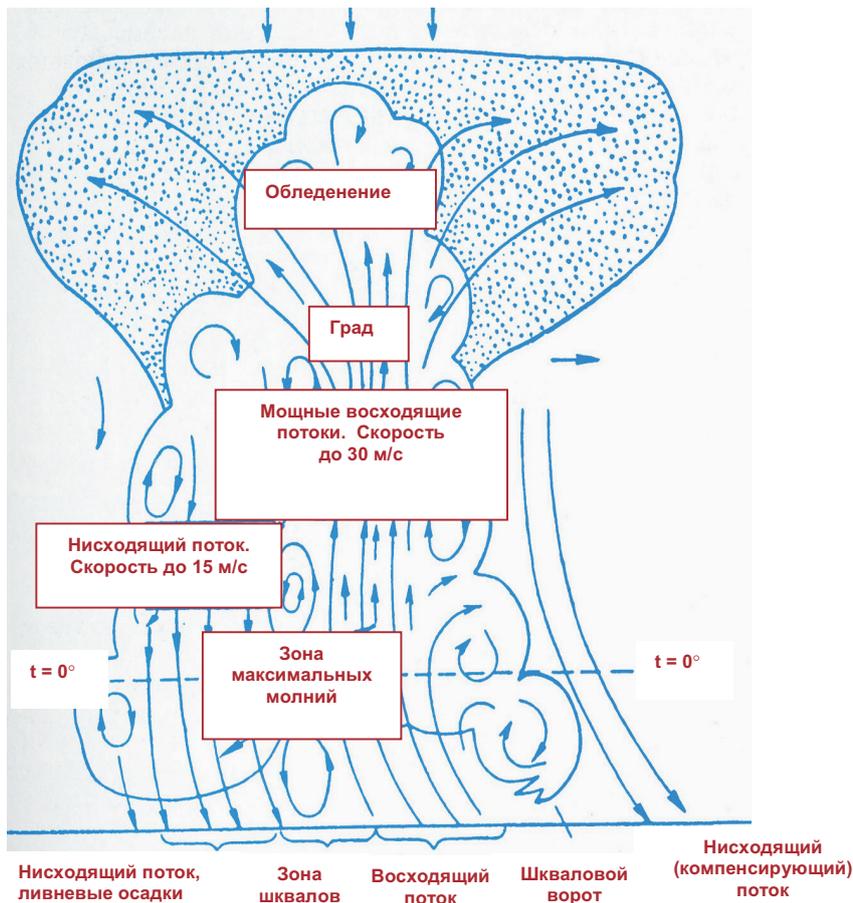


Рис.11.1. Кучево-дождевое облако в максимальной стадии развития (упрощенная модель)

#### 11.4. Турбулентность в зоне атмосферных фронтов

Резкие контрасты температуры и изменчивость поля ветра в зонах фронтов способствуют развитию турбулентности. Ширина турбулентной зоны обычно составляет несколько десятков километров, а высота ее расположения зависит от высоты фронтальной поверхности.

В зоне холодного фронта развитие турбулентности связано как с резким изменением направления и скорости ветра, так и с развитием вынужденной конвекции и образованием кучево-дождевой облачности. Наиболее интенсивная турбулентность наблюдается при прохождении быстро перемещающихся холодных фронтов, в тылу которых осуществляется активная адвекция холодного воздуха. У земной поверхности наблюдается интенсивный рост давления, при котором барические тенденции достигают 4–6 гПа и более за 3 ч. В этом случае интенсивная турбулентность отмечается не только в зоне фронта, но и за ним — на расстоянии 100–150 км от приземной линии фронта. Значительная турбулентность вызывается не столько термическими факторами, сколько динамическими, связанными в свою очередь со значительными изменениями направления и скорости ветра с высотой и за счет влияния трения воздуха о подстилающую поверхность.

Если вторжение холодного воздуха в тылу циклона происходит не активно, при слабом ветре, на фоне незначительного роста давления, то болтанка в таких случаях отсутствует. Однако летом в результате термической неустойчивости холодного воздуха за фронтом создаются условия для развития термической турбулентности. Иногда в зоне холодных фронтов в слое 300–1500 м наблюдаются струйные течения низких уровней (ме-

зоструи), которые могут располагаться как перед фронтом, так и за ним. Значительная скорость ветра (25-30 м/с и более) в струйных течениях, большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра сопровождаются развитием интенсивной турбулентности.

В зоне теплого фронта скорость ветра, как правило, значительно меньше, чем в зоне холодного. Возникновение турбулентности на теплом фронте связано в основном с вертикальным сдвигом ветра, определяемым изменением направления и скорости ветра с высотой. Болтанка отмечается как при пересечении фронтальной зоны, так и перед теплым фронтом на расстоянии в несколько десятков километров от приземной линии фронта. Пространственная структура развивающейся при этом турбулентности весьма неоднородна — в виде отдельных тонких слоев или пятен.

В зонах низкотропосферных струйных течений, возникающих перед теплым фронтом в холодном воздухе на расстоянии 150-200 км от приземной линии фронта в слое 1000-1500 м, может отмечаться интенсивная болтанка.

Развитие турбулентности в зоне фронта окклюзии определяется скоростью ветра и степенью развития конвекции. Поэтому интенсивная турбулентность связана с активными фронтами окклюзии. Процесс окклюдирования вызывает резкое усиление турбулентности в зоне повышенных вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра и вертикальных потоков в нижних слоях атмосферы, в особенности если этот процесс происходит на общем фоне высоких скоростей ветра. Сформировавшийся фронт окклюзии при дальнейшем продвижении чаще всего вызывает такое же развитие турбулентности, которое характерно для фронта, по типу которого возникла окклюзия.

Зоны болтанки в верхней тропосфере большей частью связаны со струйными течениями, являющимися ветровыми характеристиками высотных фронтальных зон (ВФЗ). Наблюдающиеся в области струйных течений большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра являются основными факторами развития турбулентности. Условия развития интенсивной турбулентности в этой области зависят не только от абсолютных значений горизонтальных и вертикальных градиентов геопотенциала и температуры, но и от их распределения. Турбулентность, опасная для полетов, возникает в зонах резкого изменения указанных параметров. Боковые сдвиги ветра, проявляющиеся в резком уменьшении горизонтальных градиентов геопотенциала по нормали к потоку, наиболее отчетливо выражены, когда струйные течения связаны с тропосферными холодными и квазистационарными фронтами. В этих случаях ось струйного течения располагается за линией фронта на расстоянии 100-300 км в передней части высотной ложбины. Циклонические сдвиги ветра образуются в местах перехода от области активной высотной фронтальной зоны к области, занятой окклюдированной частью циклона. Чаще всего эти сдвиги выражаются также и в изменении направления ветра. Антициклонические сдвиги наблюдаются вблизи линии фронта, т. е. в области перехода из фронтальной зоны в однородную теплую воздушную массу. Если теплый фронт располагается почти параллельно изогипсам, ось струйного течения находится перед линией фронта на расстоянии 300-500 км. Возникающие при этом сдвиги ветра отмечаются в тыловой части высотной ложбины, на циклонической стороне струйного течения. Они выражаются только в снижении скорости ветра, без изменения его направления. По интенсивности болтанка в зоне теплых фронтов несколько слабее, чем в зоне холодных.

### **11.5. Турбулентность в ясном небе**

Под турбулентностью в ясном небе (ТЯН) понимают турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности, а также турбулентность в перистых облаках.

Воздушные потоки свободной атмосферы вне зон конвективной деятельности являются, как правило, слабовозмущенными. Турбулентное перемешивание в них обычно крайне слабое, что дает основание рассматривать эти потоки как квазиламинарные. Сильная турбулентность встречается в свободной атмосфере в виде отдельных слоев либо вкрапленных в сравнительно спокойную среду пятен или линз. При этом турбулентные слои и перемежающиеся турбулентные пятна в атмосфере отличаются очень высоким уровнем возмущенности и представляют определенную опасность для воздушных судов.

Переменяемость зон турбулентности, их резкая локализация в окружающем спокойном потоке, сложность температурно-ветровой стратификации в областях образования ТЯН — все это затрудняет теоретический анализ причин возникновения данного явления и его прогноз.

Наиболее часто турбулентность отмечается на различных участках струйных течений (рис. 11.2). При этом зоны ТЯН характеризуются следующими особенностями.

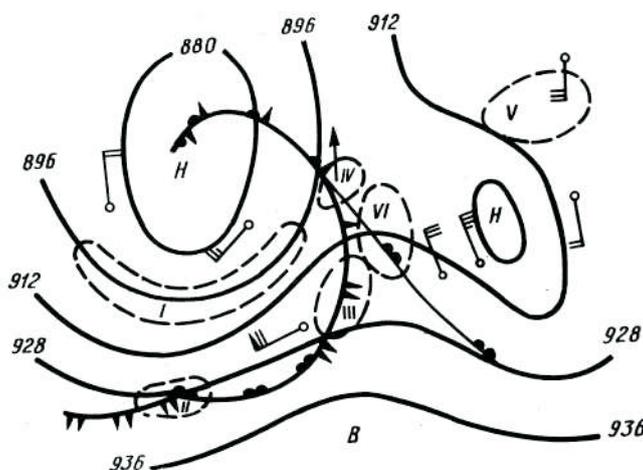


Рис. 11.2. Схема синоптического положения, характеризующая расположение зон, наиболее благоприятных для возникновения турбулентности при ясном небе

- Зона I. Циклоническая сторона струйного течения при больших горизонтальных сдвигах вектора ветра.
- Зона II. Слабо выраженная расходимость изогипс с постепенным уменьшением скорости ветра по потоку. В нижних слоях тропосферы при этом часто наблюдается волновое возмущение на малоподвижном фронте.
- Зона III. Хорошо выраженная, но «плавная» расходимость течений с антициклонической кривизной изогипс.
- Зоны IV и V. Резко выраженная расходимость изогипс в дельте высотной фронтальной зоны.
- Зона VI. Область высотного гребня.

Наряду с отмеченными синоптическими критериями развития ТЯН существуют и другие. Некоторые авторы придают большое значение ориентации оси термической ложбины относительно оси барической ложбины или оси струйного течения и т. д. Для оценки вероятности ТЯН в зависимости от вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра можно использовать графики, приведенные на рис. 11.3.

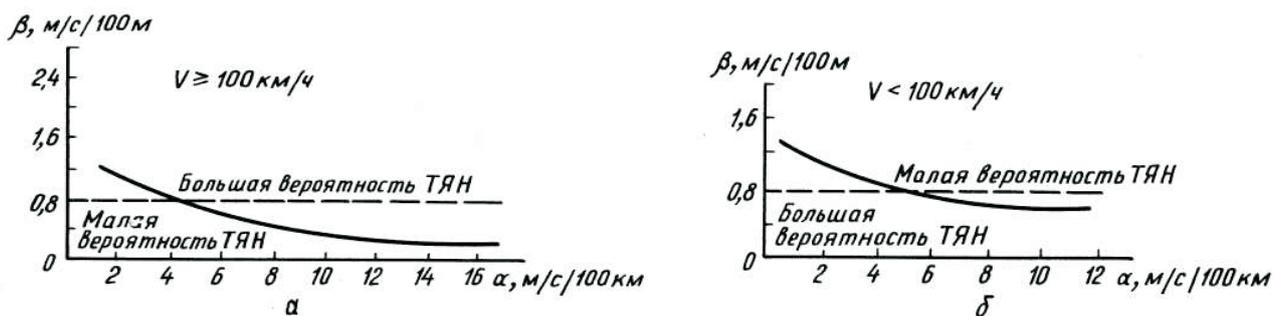


Рис. 11.3. Вероятность умеренной и сильной ТЯН в зависимости от вертикальных ( $\beta$ ) и горизонтальных ( $\alpha$ ) сдвигов при скоростях ветра 100 км/ч и более (а) и менее 100 км/ч (б)

## 11.6. Орографическая турбулентность

Турбулентность воздуха, вызываемую неровностями местности, называют орографической. Ее влияние на полеты бывает сильным в холмистой местности и особенно в горных районах. Воздушный поток при обтекании горных препятствий деформируется. Степень и характер этой деформации зависят от характера набегающего потока — его скорости, направления и температурной стратификации, а также от формы и размеров горного хребта. Наибольшую деформацию воздушный поток испытывает на подветренной стороне хребта, где часто образуется система так называемых горных волн и вихрей, вызывающая болтанку.

Все синоптические процессы, при которых возникают сильные ветры, дующие поперек хребта, благоприятны для развития турбулентности на подветренной стороне гор. Наиболее благоприятные условия развития турбулентности возникают при прохождении основных и вторичных холодных фронтов, активной высотной фронтальной зоны перпендикулярно хребту и тыловой части циклона.

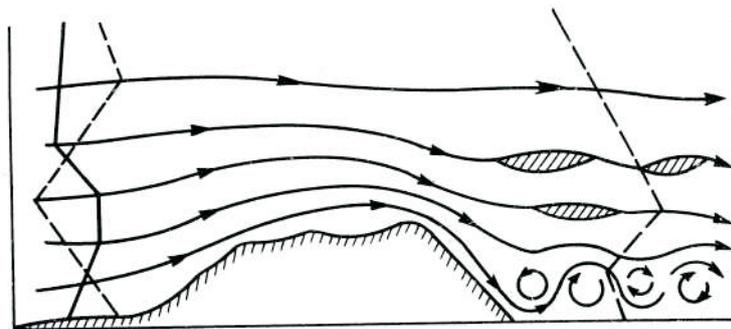
В рекомендациях ИКАО сильные горные волны включены в перечень штормовых явлений при полете по маршруту. Горные волны и связанная с ними турбулентность отмечаются во всех горных районах.

Одной из главных причин образования горных волн является искривление линий тока вследствие подъема воздуха на наветренных склонах гор и опускания его на подветренных склонах (рис. 11.4). На этот процесс большого масштаба может накладываться горно-долинная циркуляция. Образованию горных волн способствует усиление скорости ветра с высотой и наличие устойчивого слоя инверсии или изотермии. Максимальная скорость ветра должна быть не менее 7 м/с в слое около 1,5 км от высшей точки хребта. Чем больше максимальная скорость ветра и чем ниже расположен максимум по отношению к хребту, тем большей интенсивности достигает турбулентность.

В вершинах и впадинах волн вертикальные порывы могут достигать 10–12 м/с. При нисходящих порывах скоростью 6–10 м/с и продолжительностью 1,5–2 с возникают отрицательные перегрузки, вызывающие потерю высоты до 35–50 м.

Влияние гор на формирование турбулентности сказывается до 4–5-кратной высоты горного препятствия. Горизонтальная протяженность зон турбулентности составляет от нескольких десятков до сотен километров у высоких горных хребтов.

На подветренных склонах гор, почти от земной поверхности до высоты 1–1,5 км над вершиной, образуется зона, в которой обычно наблюдается сильная и даже очень сильная



Условные обозначения:

- — линии тока;
- - - - - профиль скорости ветра;
- — — — — профиль температуры.

Рис. 11.4. Обтекание хребта воздушными потоками

болтанка. Горизонтальная протяженность этой зоны составляет 10-15 км. Вверх и в стороны от нее турбулентность постепенно ослабевает.

Визуально горные волны могут быть обнаружены по формированию гряд облаков типа «линзообразные» (Ac lent) и в вершинах горных волн, располагающихся параллельно хребту. Для ориентировочной оценки интенсивности турбулентности могут быть использованы три графика (рис. 11.5 а,б,в). По результатам зондирования в ближайшем к горному хребту пункте определяется изменение скорости ветра с высотой ( $V$  м/с) и угол, который составляет вектор ветра с осью хребта ( $\beta$ ).

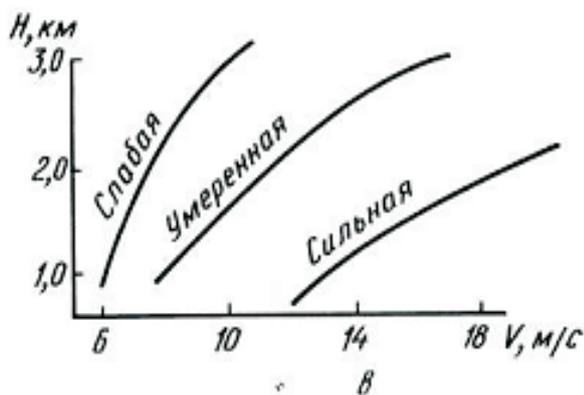
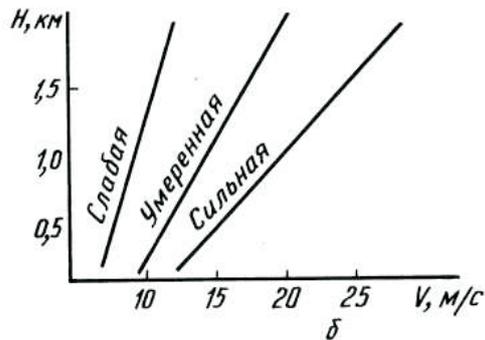
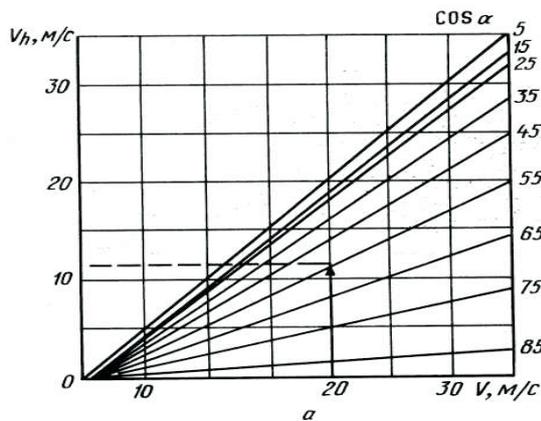


Рис. 11.5. Графики для оценки орографической турбулентности

По номограмме, представленной на рис. 11.5 а, определяется составляющая ветра, перпендикулярная к хребту ( $V_h$ ). При высоте гор до 1000 м используется номограмма, представленная на рис. 11.5б, где по горизонтальной оси отложены значения  $V_h$  по вертикальной — значения высот над горным хребтом. Наклонные линии разграничивают зоны турбулентности разной интенсивности. Так, при  $V_h = 20$  м/с сильная турбулентность (болтанка) будет отмечаться до высоты 1000 м над хребтом, выше она будет умеренной.

Аналогичный прием используется при оценке турбулентности над горами выше 1000 м (рис. 11.5в).



Рис. 11.6. Образование ледникового ветра

Кроме горных волн сильная турбулентность возникает при боре, фене, ледниковых ветрах. Следниковым ветром может быть связано образование местного тумана днем в местах встречи ледникового и долинного ветров. Кроме того, с ледниковым ветром связаны нисходящие потоки воздуха, так как при их образовании происходит всасывание воздуха с окружающих склонов (рис. 11.6). Разновидностью ледниковых ветров являются так называемые стоковые ветры в Антарктике и на ряде арктических островов.

Интенсивная ТЯН, в том числе и в нижних слоях атмосферы, возникает при образовании ветров горных проходов. В этих случаях происходит кинематическое усиление ветрового потока за счет сужения его сечения (рис. 11.7). В зоне конвергенции образуется мезомасштабная циклоническая циркуляция за счет подсоса воздуха с горных склонов и образования зоны нисходящих потоков.

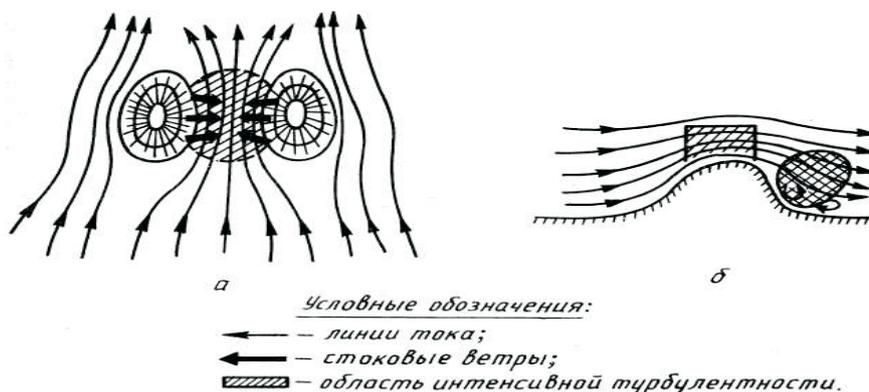


Рис. 11.7. Ветры горных проходов: а — в горизонтальной плоскости; б — вертикальный разрез

## Глава 12. ВЛИЯНИЕ СПУТНОГО СЛЕДА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ (по материалам ИКАО)

Турбулентность в спутном следе, или спутный вихрь, представляет собой явление закручивания воздушных масс, возникающее позади выполняющего полет воздушного судна в результате создания крылом подъемной силы. Воздушные суда, которые входят в вихревую зону, могут подвергаться большой опасности, особенно в процессе выполнения взлетов и посадок.

Подъемная сила воздушного судна создается за счет разницы давлений на поверхности крыла. Наиболее низкое давление возникает на верхней поверхности, а наиболее высокое — на нижней поверхности крыла. Разница этих давлений приводит к закручиванию воздушного потока, стекающего с задней кромки крыла, и вызывает вихревое течение потока за концами крыла самолета или несущего винта вертолета (рис. 12.1). Сформировавшиеся спутные вихри — это вращающиеся в противоположных направлениях массы воздуха, имеющие цилиндрическую форму. Хотя явление турбулентности в спутном следе известно от начала полетов с использованием средств создания тяги, повышенная его опасность стала ясна с появлением больших широкофюзеляжных турбореактивных самолетов. В настоящее время обеспечение безопасности полетов в спутном следе является одной из основных проблем, стоящих перед пилотами, диспетчерами воздушного движения и аэродромными службами. Для обеспечения безопасности полетов следует применять минимумы эшелонирования, исключающие влияние турбулентности в следе.

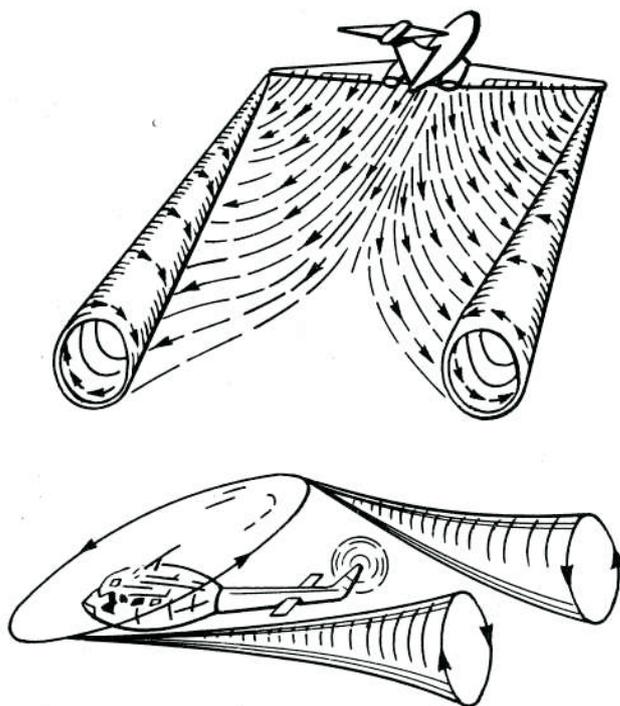


Рис. 12.1. Вихревое движение воздушных масс

Спутный вихрь, создаваемый большим реактивным воздушным судном, представляет серьезную опасность для любого следующего за ним воздушного судна, особенно на этапах взлета, начального набора высоты, конечном участке захода на посадку и посадки. Крайне опасным он может оказаться для небольшого воздушного судна, попавшего в зону его действия. На воздушном судне, оказавшемся в зоне спутного вихря, может развиться интенсивное движение крена, для парирования которого будет недостаточно эф-

эффективности управления (рис 12.2), или это воздушное судно может потерять значительную высоту, или его скорость набора высоты резко уменьшится, а возникающие при этом нагрузки могут вызвать серьезное повреждение конструкции воздушного судна.

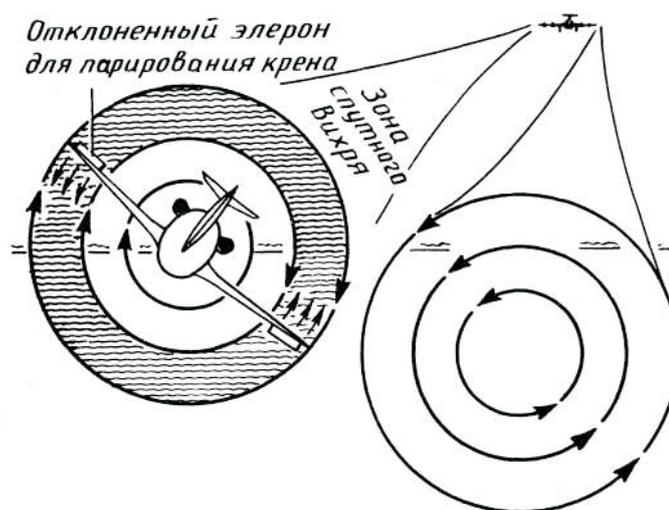


Рис. 12.2. Условия для развития интенсивного крена воздушного судна в зоне спутного вихря, для парирования которого будет недостаточно эффективности управления

Учитывая эти обстоятельства, девятая Аэронавигационная конференция ИКАО рекомендовала включить в соответствующие документы ИКАО инструктивный материал, касающийся классификации воздушных судов по создаваемой ими турбулентности в спутном следе, а также увеличенных минимумов продольного эшелонирования, имея в виду повышение его статуса до уровня Правил аэронавигационного обслуживания (PANS). В результате были установлены три категории воздушных судов в зависимости от максимальной сертифицированной взлетной массы: тяжелые (H) — 136 000 кг и более; средние (M) — менее 136 000 кг, но более 7 000 кг; легкие (L) — 7 000 кг и менее. Однако необходимо отметить, что увеличенные интервалы продольного эшелонирования за тяжелыми реактивными воздушными судами, которые начали применяться после утверждения поправки №10 в 1990 году к документу ИКАО Правила аэронавигационного обслуживания — Правила полетов и обслуживания воздушного движения (PANS-RAC, Doc 4444), привели к дополнительным задержкам и ограничениям воздушного движения в основных аэропортах.

Интенсивность спутных вихрей определяется массой, скоростью и формой крыла воздушного судна, при этом определяющим фактором является масса. Чем тяжелее воздушное судно, а также чем «чище» его крыло (отсутствуют закрылки или другая конфигурация крыла) или меньше скорость полета, тем более интенсивной и опасной будет турбулентность в следе. Спутные вихри обладают определенными, присущими им, характеристиками. Во-первых, они возникают после отрыва воздушного судна от земли и исчезают в момент его приземления. Спутные вихри опускаются со скоростью около 120-150 м/мин и горизонтально вытягиваются над значительной частью поверхности ВПП. Они имеют также тенденцию расходиться в стороны и влиять на полеты воздушных судов, выполняемые с параллельной ВПП, если расстояние между осевыми линиями этих ВПП меньше 760 м.

Исследованиями по влиянию спутной струи на полет установлено: для тяжелых воздушных судов ( $\approx 136$  т) — при попадании в струю такого же судна турбулентность не вызы-

вадет значительной тряски, бросков или кренов; полет воздушного судна массой 16 т затруднен, массой 1 т может окончиться катастрофой. Вихревые потоки от самолета В-707 при наборе высоты после взлета движутся со скоростью 10,6 м/с. Максимальная турбулентность по ширине проявляется на расстоянии 11 м в каждую сторону от траектории полета. Длина струи зависит от силы ветра и при скорости 5 м/с начинает «размываться» за воздушным судном через 30 с. Эффективное действие струи наблюдается на расстоянии до 2,5 км при скорости полета 334 км/ч. При меньшей скорости ветра струя остается эффективной на расстоянии до 5 км от воздушного судна. В спокойном воздухе спутный след сохраняется и через 5 мин на расстоянии до 10 км, а признаки его могут проявиться и через 30 мин. Расстояния более указанных могут считаться безопасными для полетов в спутной струе. Максимальные перегрузки в спутном следе для легкого самолета могут достигать до +5g и -9g, что превышает запас прочности такого самолета. Струя от самолета массой 16 т имеет мощность и протяженность в 2 раза меньшую, чем от тяжелого воздушного судна. Тяжелое воздушное судно при заходе на посадку с расстояния 3,6 км от точки касания находится на высоте 500 м. При дальнейшем снижении струя будет проходить на высоте 300 м, через 1 мин — на высоте 175 м, через 90 с — на высоте 75 м. Пилоту, летящему за этим воздушным судном, следует учитывать траекторию спутного следа и знать его влияние на полет. С КДП не могут дать точных данных о ее положении. После взлета следует на максимальной скорости уходить вверх и не лететь под струей тяжелого

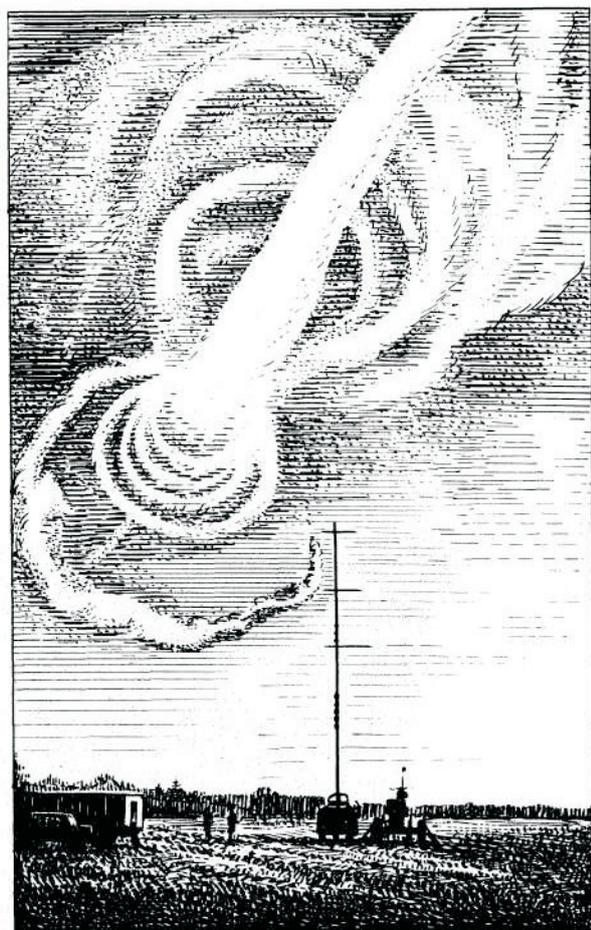


Рис. 12.3. Типичная картина турбулентности в следе, полученная с помощью дыма при испытаниях, проведенных в Техническом центре ФАУ в Нью-Джерси

воздушного судна. Если впереди находится вертолет, то рекомендуется лететь над ним и никогда не следует лететь под ним.

Интенсивность спутных вихрей уменьшается с течением времени и увеличением расстояния от создающего их воздушного судна. Боковой ветер также способствует скорейшему их исчезновению. Однако пилотам и диспетчерам воздушного движения необходимо иметь в виду, что эти невидимые массы вращающегося воздуха способны сохраняться над ВПП в течение значительного времени после пролета создавшего их воздушного судна (рис. 12.3).

Иструктивный материал по классификации воздушных судов в зависимости от создаваемой ими турбулентности в следе и увеличенным минимумам продольного эшелонирования содержится в документе ИКАО «Руководство по планированию обслуживания воздушного движения». Этот инструктивный материал обновляется путем включения не радиолокационных (временных) интервалов эшелонирования, связанных с турбулентностью в спутном следе, в тех случаях, когда легкие воздушные суда категории L следуют за средними воздушными судами категории М, и уточнения радиолокационных интервалов эшелонирования в

аналогичных обстоятельствах. Поскольку турбулентность в следе невидима, ее присутствие и местоположение нельзя точно определить. Поэтому диспетчеры воздушного движения и пилоты должны тщательно анализировать ситуации, при которых могут встретиться опасные спутные вихри. Минимумы эшелонирования, связанные с турбулентностью в следе, должны применяться во всех условиях, на которые распространяются другие установленные минимумы, в том случае, когда, по мнению диспетчера, существует опасность воздействия турбулентности в следе.

## **Глава 13. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

### **13.1. Условия образования и интенсивность обледенения воздушных судов**

Обледенением называют покрытие льдом частей воздушного судна, силовых установок и внешних деталей специального оборудования, обтекаемых в полете воздушным потоком. Обледенению подвергаются в основном носовые (лобовые) части обтекаемых профилей на самолете. При этом искажается форма профиля, появляются неровности на его поверхности, что влияет на характер обтекания и приводит к увеличению сопротивления самолета, в общем приросте которого наибольшее значение (до 70-80%) составляет обледенение крыла и оперения. При обледенении уменьшается подъемная сила, увеличивается масса самолета, снижается тяга силовой установки, а также ухудшаются летные характеристики самолета: уменьшается вертикальная скорость набора высоты, снижаются потолок и максимальная скорость полета, увеличивается расход топлива, возрастает потребляемая мощность (тяги) для полета на заданной скорости.

У реактивных двигателей обледенению более всего подвержены их входные устройства, которые иногда могут обледеневать и при небольшой положительной температуре воздуха. Благоприятные условия для этого создаются при работе двигателей на земле, а также при наборе высоты с небольшой скоростью при высокой частоте вращения двигателя.

У вертолетов при горизонтальном полете в условиях обледенения лед отлагается на лопастях несущего и хвостового винтов, стабилизаторе, шасси, лобовой части кабины. Наибольшую опасность представляет обледенение винтов, так как даже небольшое отложение льда увеличивает нагрузку на лопасти, что нарушает равновесие ротора и создает сильную вибрацию.

Интенсивность отложения льда на плоскостях и других частях конструкции зависит от типа воздушного судна, его скорости и продолжительности полета в метеорологических условиях, характерных для обледенения. Интенсивность обледенения ( $I$  мм/мин) для транспортных дозвуковых самолетов может быть определена по формуле

$$I = 10^{-2} wV,$$

где  $w$  — водность облаков ( $\text{г/м}^3$ );  $V$  — скорость полета воздушного судна ( $\text{км/ч}$ ).

В табл. 13.1 приведена вероятность в процентах водности облаков различных форм по данным Льюиса (США) и Центральной аэрологической обсерватории (Россия). В табл. 13.2 эти данные показаны по наблюдениям Петтита (Канада). Приведенные данные о водности переохлажденных облаков различаются мало. Средние значения их водности в зависимости от высоты над нижней границей облаков показаны на рис. 13.1 и 13.2.

Водность облаков по данным Льюиса (США) и ЦАО (Россия)

Водность	По данным Льюиса			По данным ЦАО		
	St, Sc 327 наблю- дений	Ac, Ae-As 246 наблю- дений	Cu, Cb 324 наблю- дений	Sc, St, Ac 4319 на- блюдений	Ns- As 1168 на- блюдений	Cu, Cb 130 наблю- дений
0,00-0,09	12	50	31	35,5	29,4	57,7
0,10-0,19	32	32		28,8	31,9	
0,20-0,29	22	13	26	16,4	20,0	26,9
0,30-0,39	16	4		9,0	10,4	
0,40-0,49	12	1	22	4,5	3,7	7,7
0,50-0,59	5	0		2,5	2,5	
0,60-0,69	0,3	0	10	1,2	0,7	4,6
0,70-0,79	0,6	0		1,1	0,8	
0,80-0,89	0,3	0	7	0,3	0,26	0,8
0,90-0,99	0	0		0,3	0,8	
1,00-1,19	0	0	2	0,28	0,26	0,8
1,20-1,39	0	0	1,0	0,05	0,00	1,5
1,40-1,59	0	0	0	0,07	0,00	0,00
1,60-1,79	0	0	0,7	0,00	0,00	0,00

Различается слабая, умеренная и сильная интенсивность обледенения. В настоящее время принято считать обледенение слабым при скорости отложения льда на передней части кромки крыла не более 0,5 мм/мин, умеренным — при интенсивности от 0,6 до 1,0 мм/мин и сильным — при интенсивности более 1 мм/мин. По виду и структуре различают следующие отложения:

- прозрачный лед;
- матовый полупрозрачный лед, часто с бугристой поверхностью;
- непрозрачный белый лед, часто сравнительно рыхлый и непрочный;
- изморозь;
- иней.

Вид отложения зависит от структуры облаков, температуры в них, а также от скорости полета воздушного судна.

Таблица 13.2

**Водность облаков по данным Петгита (Канада)**

Тип облаков	Максимальная водность		Средняя водность			
	наибольшая повторяемость	абсолютный максимум	наибольшая повторяемость	средний максимум		
Кучевообразные	0,2	1,5	0,17	0,8		
Слоистообразные	0,1	1,4	0,10	0,8		
Для всех типов	0,19	1,5	0,11	0,8		
Накопление частоты (%)	Максимальная водность			Средняя водность		
	Cu	St	общая	Cu	St	общая
100	1,5	1,4	1,5	0,8	0,8	0,8
90	0,6	0,58	0,58	0,36	0,29	0,32
50	0,25	0,22	0,24	0,14	0,10	0,12
25	0,14	0,15	0,145	0,08	0,065	0,07

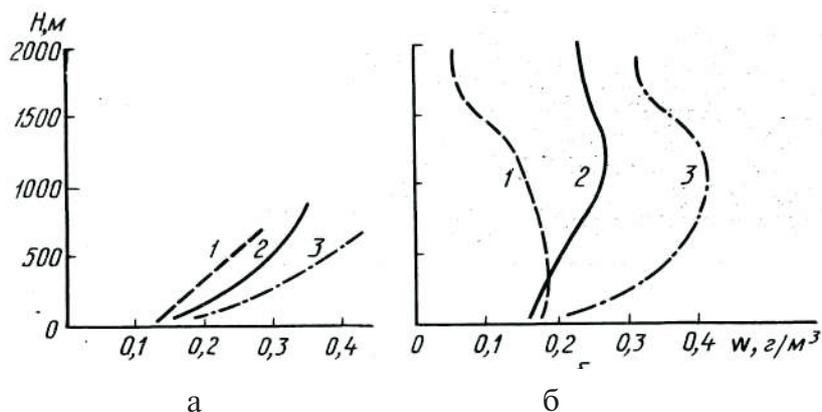


Рис. 13.1. Средняя водность облаков в зависимости от их высоты над нижней границей:  
а — Sc, St, Ac; б — Ns, As, Ns — As; 1)  $T < -10^\circ$ ; 2)  $-10^\circ \leq T < 0^\circ$ ; 3)  $T > 0^\circ$

Приближенно структуру льда можно определить с помощью равновесного кинетического параметра

$$H = \frac{\Delta T}{EwV_{BC}},$$

где  $\Delta T$  — переохлаждение капель, ударяющихся о воздушное судно;  $E$  — безразмерный коэффициент захвата капель.

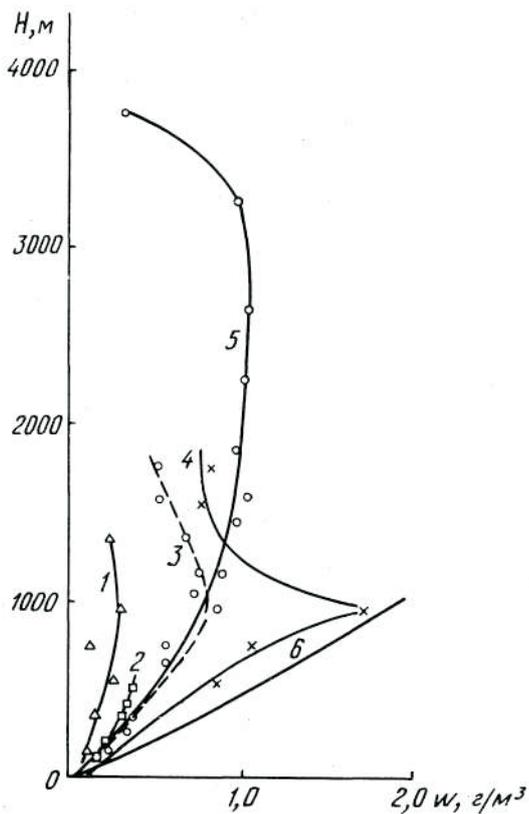


Рис. 13.2. Средняя водность кучевых облаков в зависимости от их высоты над нижней границей: 1 — периферия *Cu cong*; 2 — *Cu hum*; 3 — средняя частота *Cu cong*; 4 — плотные *Cu cong* (1, 2, 3, 4) по данным В. А. Зайцева; 5 — *Cu cong* — по данным А. П. Чуваева; 6 — водность в предположении влажно-адиабатического процесса

Если измерять температуру в градусах Цельсия, скорость — в метрах в секунду, водность — в граммах в метре кубическом, то критическое значение параметра  $H$  будет обозначаться как

$$H_k = 0,52^\circ C \cdot \Gamma^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}.$$

При меньших значениях  $H$  образуется плотный, прозрачный, очень прочный лед. Это наиболее опасный вид обледенения. При больших значениях  $H$  образуется или матовый непрозрачный, или непрозрачный лед, обладающий меньшей плотностью и прочностью. Чем больше значение  $H$ , тем образующийся лед менее плотен и менее прочен. Его плотность ( $\text{г/м}^3$ ) при  $H > H_k$  можно приближенно оценить по формуле

$$\rho_{\text{л}} = 0,92 \left( 1 - e^{-\frac{1,68}{H}} \right).$$

Плотность обледенения в виде изморози соответствует

$$\rho_{\text{л}} \approx 0,2 \dots 0,3 \text{ г/м}^3.$$

На современных воздушных судах изморозь и иней в полете наблюдаются очень редко, и они наименее опасны [5]. При увеличении скорости полета увеличивается число соударений переохлажденных облачных капель или капель дождя с воздушным судном и интенсивность обледенения возрастает. Но с увеличением скорости полета более 500-600 км/ч сказывается кинетический нагрев лобовых выступов воздушного судна за счет торможения встречных потоков воздуха и перехода кинетической энергии в тепло-

вую. Кинетический нагрев  $\sigma T(^{\circ}\text{C})$  при полете вне облаков определяется формулой, пригодной для расчетов его в нижней тропосфере

$$\sigma T = \frac{V^2}{2000} = 5 \left( \frac{V}{100} \right)^2.$$

При полете в облаках одновременно с увлажнением воздушного судна наблюдается испарение влаги с его поверхности, что уменьшает кинетический нагрев  $\sigma T$  почти в 2 раза (табл. 13.3).

Таблица 13.3

**Кинетический нагрев  $\sigma T$   $^{\circ}\text{C}$ , лобовых частей ВС при различных условиях полета**

Условия полета	$V_{BC}$ , км/ч									
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Вне облаков	2	4	6	10	14	19	25	31	38	47
В облаках	-	-	4	6	8	10	13	17	21	26

Практикой расчетов установлено, что при обледенении температура воздуха, окружающего воздушное судно, по своим значениям обычно ниже нуля и равна или ниже температуры насыщения относительно льда ( $T_{\text{нл}}$ ), которая определяется по формуле

$$T_{\text{нл}} = -8(T - T_d),$$

где  $T - T_d$  — дефицит точки росы на высоте полета.

На аэрологической диаграмме для выяснения слоев возможного обледенения помимо кривых стратификации точки росы и состояния следует строить кривую температур насыщения над льдом. Облачный слой, где  $T < 0$  и одновременно  $T < T_{\text{нл}}$ , является, слоем возможного обледенения. Необходимые для расчета вероятности обледенения данные радиозондирования обычно выписывают в специальные таблицы (табл. 13.4) и затем анализируют их. При этом нужно учитывать, что температура поверхностей воздушных судов при малых скоростях полета мало отличается от температуры окружающего воздуха.

Таблица 13.4

**Расчет вероятности обледенения ВС по данным радиозондирования**

$H$ , км	$P$ , мбар	$T$ , $^{\circ}\text{C}$	$T_d$ , $^{\circ}\text{C}$	$T - T_d$ , $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{нл}}$ , $^{\circ}\text{C}$	Характер стратификации
Земля	988	-3,5	-5,2	1,7	-13,6	Влажнонеустойчивая
0,6	949	-6,8	-7,5	0,7	-5,6	Влажнонеустойчивая
1,25	877	-11,5	-11,5	0,0	0,0	Влажнонеустойчивая
1,43	857	-9,8	-11,2	1,4	-11,2	Устойчивая
1,75	822	-11,5	-14,2	2,7	-21,6	Влажнонеустойчивая
1,92	804	-12,5	-16,2	3,7	-29,6	Влажнонеустойчивая

Отметим, что сама облачность не однородна по своим микрофизическим характеристикам (водность, размеры капель и кристаллов) и фазовому состоянию. Поэтому расчет обледенения воздушных судов является весьма сложной задачей, которая в настоящее время решается только качественно.

Степень устойчивости воздуха по слоям оценивается по наклону кривой стратификации относительно сухих и влажных адиабат. Областью вероятного обледенения нескоростных воздушных судов является слой, в котором кривая стратификации при  $T < 0$  лежит левее кривой температуры насыщения относительно льда.

Для введения поправок, связанных с кинетическим нагревом скоростных воздушных судов, по номограмме, приведенной на рис. 13.3, следует определить значение минимальной скорости полета, при которой обледенение исключается.

При использовании аэрологической диаграммы в целях расчета обледенения можно рекомендовать следующую схему. Определяются границы слоев облаков и положение изотерм  $0$  и  $-10^\circ\text{C}$ , где обледенение наиболее вероятно для воздушных судов, летящих с дозвуковыми скоростями, а также изотерм  $-11$  и  $-20^\circ\text{C}$ , где обледенение вероятно и для сверхзвуковых воздушных судов (водность достаточная и продукты конденсации находятся в смешанной фазе). При определении обледенения до высоты  $2$  км рассчитывается температура насыщения относительно льда: обледенение возможно, если температура на этих высотах  $T \leq -8(T - T_d) = T_{\text{нл}}$   $^\circ\text{C}$ . Нарастание льда при обледенении, как правило, происходит после достижения насыщения относительно поверхности льда. Прогностическая схема синоптического положения, наблюдаемая в конкретных условиях, сравнивается с типичными схемами, при которых обледенение наиболее вероятно (рис. 13.4 и 13.5). По диаграмме (рис. 13.3) определяется рекомендуемая минимальная скорость полета, при которой обледенение исключается.

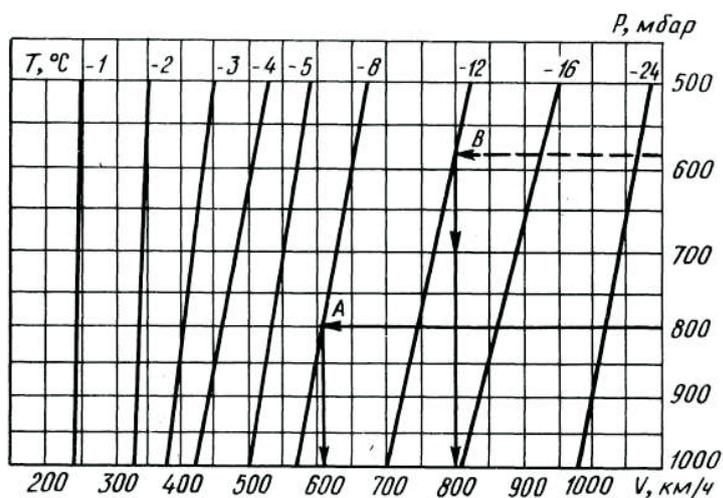


Рис. 13.3. К определению минимальной скорости полета, исключающей обледенение

Далее приводятся примеры расчета вероятности обледенения.

1. Полет происходит на высоте  $600$  м,  $P = 950$  мбар при  $T = -6,8^\circ\text{C}$ ,  $T_d = -7,5^\circ\text{C}$ .

Решение:

$$T - T_d = -6,8 - (-7,5) = 0,7^\circ\text{C}. T_{\text{нл}} = -8 \cdot 0,7 = -5,6^\circ\text{C}.$$

Так как  $T < cT_{\text{нл}}$ , т.е.  $(-6,8 < c-5,6)$ , то обледенение следует ожидать. По графику (см. рис. 13.3) определяем: чтобы исключить вероятность обледенения, лететь следует со скоростью более  $570$  км/ч.

2. На том же рис. 12.3 показан пример определения минимальной скорости полета на уровне изобарической поверхности  $P = 800$  мбар при  $T_{800} = -8^\circ\text{C}$  (точка А). Минимальная скорость полета, исключающая обледенение, должна быть более  $620$  км/ч. Для исключения обледенения на уровне  $550$  мбар и  $T_{550} = -12^\circ\text{C}$  (точка В) полет в облаках следует осуществлять со скоростью более  $800$  км/ч.

Интенсивность обледенения воздушного судна можно определить по номограмме, изображенной на рис. 13.4. По горизонтальной оси (влево) отложена температура основания облачного слоя, а по вертикальной оси (вниз) — интенсивность обледенения; кривые в левом верхнем квадрате представляют температурные градиенты ( $\gamma$ ); радиальные прямые в правом верхнем квадрате являются линиями равной вертикальной мощности облачного слоя; прямые, идущие вправо вниз, — это линии равных воздушных скоростей полета.

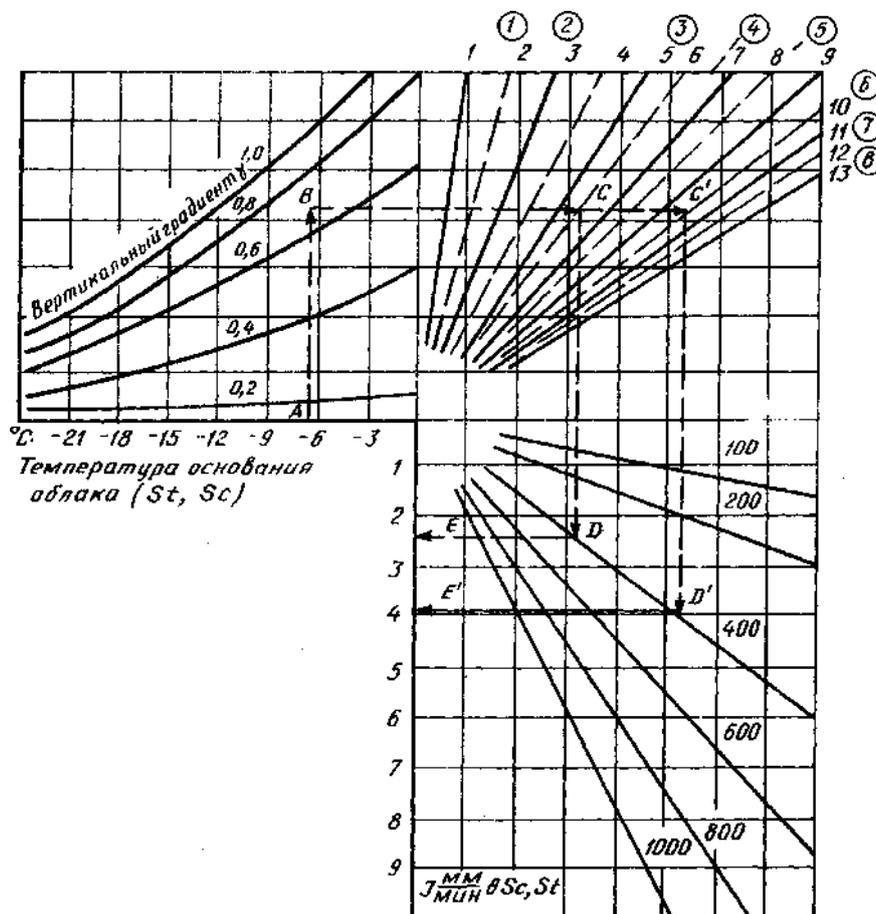


Рис. 13.4. Номограмма для определения интенсивности обледенения

Далее приводится пример расчета интенсивности обледенения.

Пусть нижняя граница облаков составляет 600 м, скорость полета воздушного судна 400 км/ч, температура основания облака  $-7^{\circ}\text{C}$ , температурный градиент  $0,7^{\circ}\text{C}/100$  м, толщина облачного слоя 600 м (верхняя граница облачного слоя — 1200 м).

Последовательность расчета показана стрелками. Средняя интенсивность обледенения составила 2,4 мм/мин. Для определения максимальной интенсивности обледенения мощность облаков берется по верхней шкале, обозначенной цифрами в кружках.

Для нашего случая  $I_{\text{max}} = 4$  мм/мин. Достоверность расчетов по номограмме составляет 85-90%.

Очевидно, в номограмме, с помощью которой определяется интенсивность обледенения (см. рис. 13.6), не следует использовать линии скоростей полета выше 600 км/ч, так как значительный кинетический нагрев снижает интенсивность обледенения.

На рис. 13.4 приведены кривые, указывающие, какая нужна скорость полета в переохлажденных облаках (при отрицательной температуре воздуха), чтобы повысить температуру увлажненной поверхности самолета до  $0^{\circ}\text{C}$ . Прерывистая кривая соответствует случаю полного торможения воздушного потока ( $r = 1,0$ ), наблюдаемого ближе к носовой

части воздушного судна, а сплошная кривая — случаю, когда в тепло переходит только 0,8 кинетической энергии потока ( $r = 0,8$ ), что наблюдается на концевых участках крыла. Данный график нашел широкое распространение в практике прогноза обледенения.

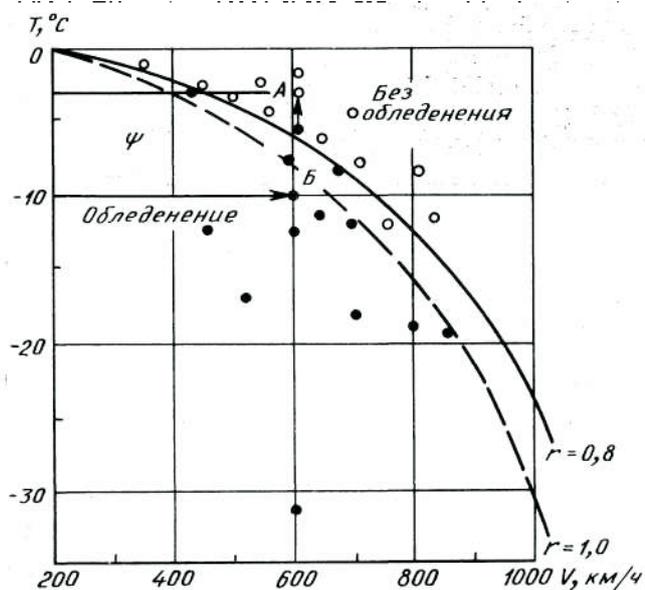


Рис. 13.5. График для определения условий обледенения воздушных судов в зависимости от скорости полета и температуры воздуха

**Примеры** (см. рис. 13.5).

Полет происходит со скоростью 600 км/ч, но в разных воздушных массах (пересечение атмосферного фронта).

При скорости полета  $V_{\text{вс}} = 600$  км/ч в переохлажденных облаках, в которых  $T = -10^\circ\text{C}$ , обледенение должно наблюдаться, так как точка Б располагается ниже кривой  $r = 1,0$ . При той же скорости полета, но при температуре на высоте полета  $T = -3^\circ\text{C}$  обледенение должно отсутствовать (точка А лежит выше кривой  $r = 0,8$ ). В данном случае кинетический нагрев во время полета со скоростью 600 км/ч приведет к повышению температуры крыла выше  $0^\circ\text{C}$ . Если при расчете вероятности обледенения точка расположится между кривыми  $r = 1,0$  и  $r = 0,8$ , то обледенение возможно. График показывает, что в этом случае при увеличении скорости полета на 100-150 км/ч обледенение должно прекратиться. Такую рекомендацию синоптик может дать пилоту заблаговременно.

Интенсивность обледенения зависит от водности облаков и от их микрофизической структуры. Зависимость интенсивности обледенения от водности облаков при отрицательной температуре воздуха и различных скоростях полета показана на рис. 13.6.

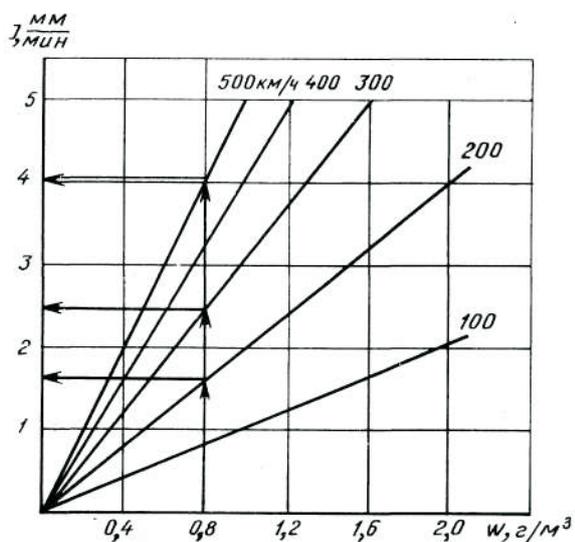


Рис. 13.6. Зависимость интенсивности обледенения от водности облаков при различных скоростях полета

Число соударений переохлажденных капель с воздушным судном с увеличением скорости полета возрастает. Номограмма показывает, что при влажности облаков  $\omega = 0,8 \text{ г/м}^3$  и скорости полета  $V_{BC} = 200 \text{ км/ч}$  интенсивность обледенения;  $I = 1,7 \text{ мм/мин}$ ; при той же влажности, но при  $V_{BC} = 400 \text{ км/ч}$   $I = 3,3 \text{ мм/мин}$ , а при  $V_{BC} = 500 \text{ км/ч}$   $I = 4 \text{ мм/мин}$ .

### 13.2. Синоптический метод оценки условий обледенения

Наиболее интенсивное и опасное обледенение происходит при полете в зоне фронтов. Это объясняется большой горизонтальной и вертикальной протяженностью облачных систем фронтов и наличием во фронтальных облаках значительных зон переохлажденных осадков. Самое опасное обледенение наблюдается при полете в переохлажденном дожде, в клине холодного воздуха, имеющем отрицательную температуру. Протяженность областей с опасным обледенением в большинстве случаев составляет 50-100 км. В зоне хорошо выраженных малоподвижных фронтов наблюдается более интенсивное обледенение, чем в зоне быстро движущихся фронтов.

Типичные схемы различных фронтов и связанных с ними зон наиболее вероятного обледенения самолетов представлены на рис. 13.7 и 13.8.

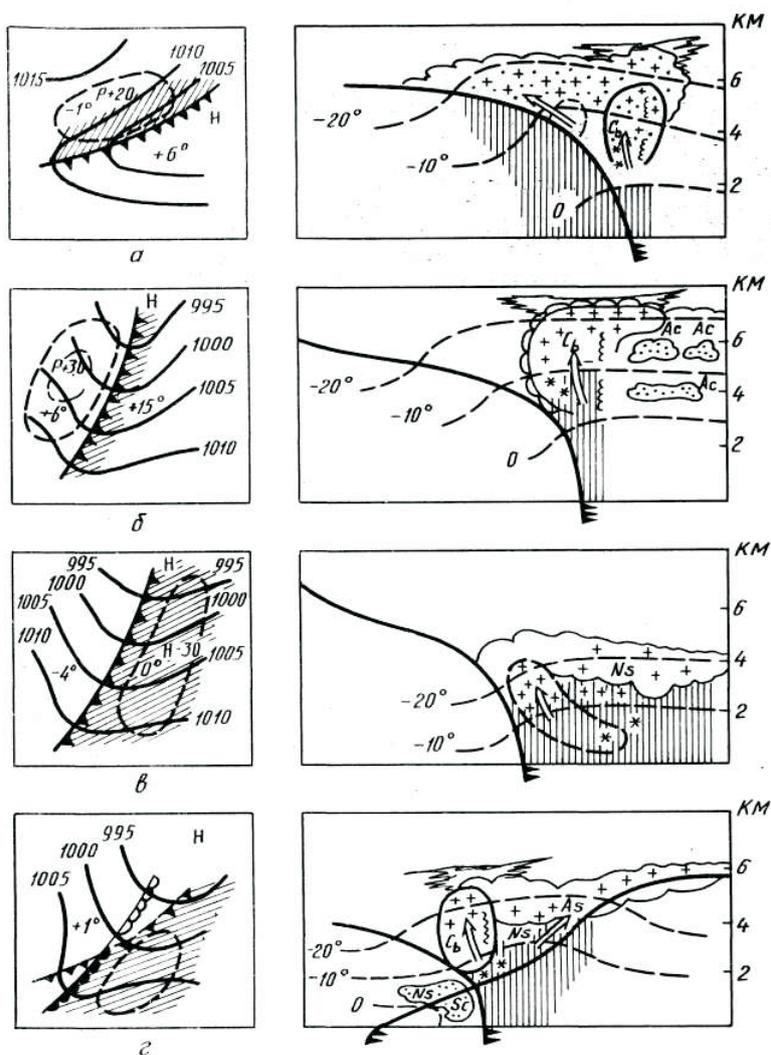


Рис. 13.7. Зоны обледенения в системах облаков теплых фронтов.  
Сплошной линией очерчены зоны значительного обледенения,  
прерывистой зоны слабого обледенения

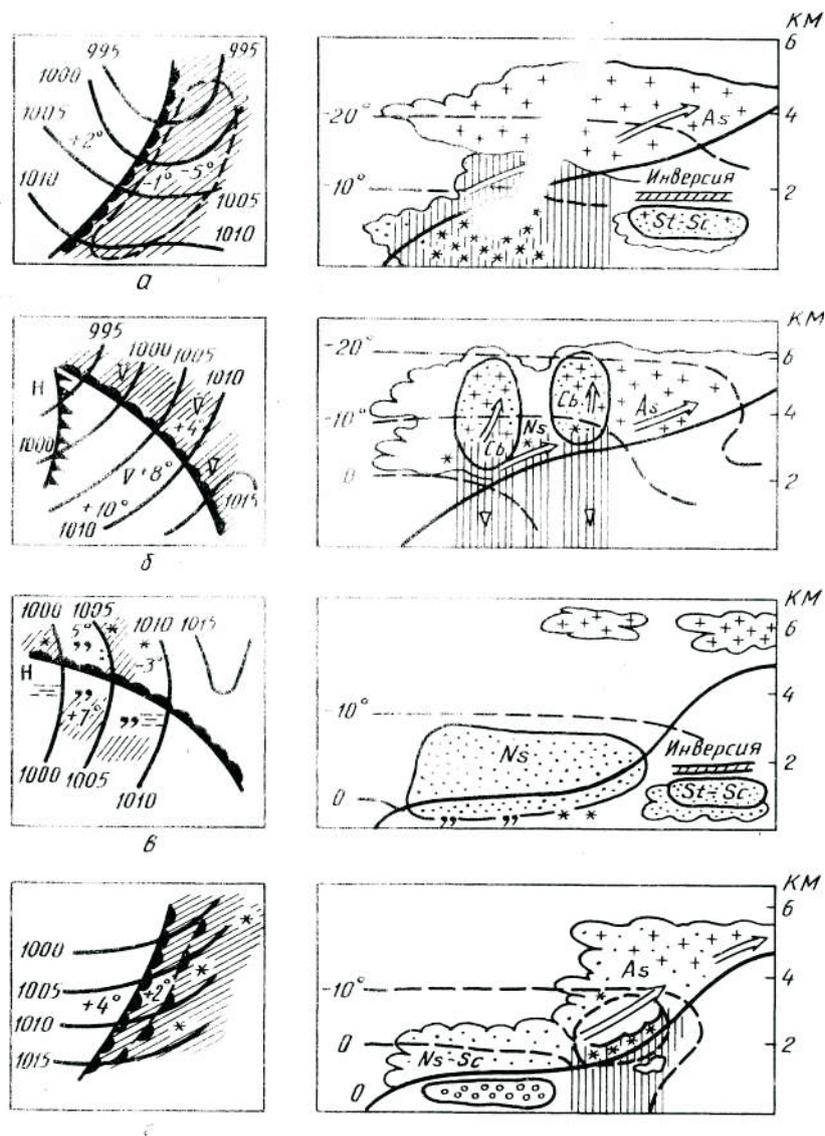


Рис. 13.8. Зоны обледенения в системах облаков холодных фронтов и фронтов окклюзии

Определение условий, благоприятных для обледенения, сводится к выявлению капельно-жидких облаков и зон дождя при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Для этого в первую очередь определяют высоты, на которых проходят изотермы  $0$ ,  $-10$  и  $-20^{\circ}\text{C}$ . Изотермы  $0$  и  $-20^{\circ}\text{C}$  ограничивают слой наиболее интенсивного обледенения. Затем определяют наличие облаков выше изотермы  $0^{\circ}\text{C}$  и их фазовое состояние (об этом судят по форме облаков).

Известны случаи обледенения скоростных воздушных судов при  $T = -40^{\circ}\text{C}$ . Это указывает на то, что несмотря на малую водность и малое влагосодержание облаков, вероятность обледенения воздушных судов на больших высотах полностью не исключается. Не исключено обледенение и при выходе их из зоны дождя, когда температура наружного воздуха составляет  $0...2^{\circ}\text{C}$ . Быстрое испарение капель с поверхности воздушного судна приводит к дополнительному его охлаждению, в результате чего на поверхности образуется ледяной налет.

Следует также отметить, что при условиях, благоприятных для обледенения, перед взлетом воздушных судов необходимо удалять с их поверхностей и лобовых стекол кабин снег, иней и изморозь, которые могут отрицательно повлиять на взлет воздушного судна.

### 13.3. Наземное обледенение

#### 13.3.1. Условия и виды наземного обледенения

Транспортный самолет, эксплуатирующийся на дальних магистральных авиалиниях, пересекающих различные климатические зоны, может встретить наземное обледенение практически в любое время года, но наиболее часто, например, для территории Российской Федерации, оно возникает в весенний и осенние периоды года.

Различные виды наземного обледенения обладают разной силой сцепления с поверхностью воздушного судна. Все многочисленные и разнообразные виды наземного обледенения можно объединить в три основные группы.

К первой группе относятся те виды обледенения, которые образуются в результате (сублимации) перехода пара в лед, минуя жидкую фазу. Сюда входят иней, твердый (кристаллический) налет и кристаллическая изморозь. Иней возникает в ясную тихую погоду на поверхности предметов, охлажденных излучением тепла и имеющих более низкую, чем воздух, отрицательную температуру. Вблизи поверхности предметов воздух охлаждается, и содержащийся в нем водяной пар, достигнув состояния насыщения, превращается в лед.

Иней может образовываться при любой отрицательной температуре и при самой различной относительной влажности воздуха.

Твердый (кристаллический) налет появляется при потеплениях, когда предметы сохраняют более низкую отрицательную температуру, чем пришедшие теплые массы воздуха. Толщина твердого налета обычно не превышает нескольких миллиметров.

Кристаллическая изморозь образуется в сильный мороз вследствие перенасыщения воздуха водяным паром.

Все три вида этих снеговидных отложений непрочны, имеют малую плотность и могут быть сравнительно легко удалены с поверхности самолета.

Ко второй группе можно отнести виды обледенения, связанные с наличием в атмосфере переохлажденной воды. В этом случае лед образуется в результате кристаллизации на поверхности самолета переохлажденных капель дождя, тумана или мороси. Наиболее часто этот вид наземного обледенения встречается при температурах воздуха близких к 0°C.

По структуре, внешнему виду, цвету обледенение может быть различным: от прозрачного стекловидного льда до снежно-белого налета, сходного с инеем. Различие обусловлено тем, что в разных условиях скорость замерзания капель неодинакова. Если температура колеблется в пределах 0... –5°C (известны случаи образования гололеда и при температурах ниже –10°C), то крупные капли, замерзая, растекаются по поверхности тела и образуют прозрачный стекловидный лед (гололед). При низких температурах мелкие капли замерзают быстро и образуется матовый или белый лед. Мельчайшие капли переохлажденного тумана, замерзая, образуют зернистую изморозь.

Ледяные отложения второй группы значительно прочнее сцепляются с поверхностью самолета, чем сублимационные, и могут достигать больших размеров.

К третьей группе можно отнести все виды наземного обледенения у образующиеся в результате замерзания на поверхности самолета обычной непереохлажденной воды (дождя, мокрого снега, осевших капель тумана, конденсата водяных паров и др.). По внешнему виду они похожи на отложения, отнесенные к первым двум группам, но в отличие от сублимационного льда прочно связываются с поверхностью самолета.

Нередко всякое снеговидное отложение льда на поверхности предмета ошибочно называют инеем. Это может привести к неправильной оценке прочности сцепления льда с поверхностью самолета.

### 13.3.2. «Топливное обледенение» при плюсовых температурах воздуха

Особое место занимают случаи образования льда на поверхности самолета на земле при положительных температурах наружного воздуха, когда внешние условия обледенения отсутствуют. Это связано со следующим явлением, которое целесообразно рассмотреть подробнее. Если в баках находящегося на земле самолета содержится топливо с отрицательной температурой, то на частях самолета, примыкающих к топливным бакам, которые также имеют температуру ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , возможно образование льда при положительных температурах наружного воздуха в условиях дождя, тумана, а также в результате конденсации влаги. Наибольшую опасность для самолетов с хвостовым расположением двигателей может представить образование такого льда на верхней поверхности корневой части крыла, где обычно располагаются топливные баки. Толщина льда может превышать 15 мм, а площадь, на которой он образуется, может быть очень значительной. Температура наружного воздуха при образовании такого льда обычно не превышает  $+5^{\circ}\text{C}$ , но имеется информация, что это явление имело место и при температурах воздуха свыше  $+10^{\circ}\text{C}$ . При этом никакого обледенения других частей самолета и наземных предметов, имеющих положительную температуру, естественно не наблюдается. Это и вводит в заблуждение технический состав и экипажи, которые считают, что наземное обледенение отсутствует и противообледенительная обработка самолета не требуется. Контроль за состоянием поверхности самолета по этой же причине также иногда бывает ослаблен в этих условиях.

Другой особенностью такого обледенения является то, что лед, покрывающий обшивку самолета в зоне топливных баков, обычно бывает прозрачным и его трудно обнаружить.

Наиболее часто сброс такого льда с частей самолета и попадание его в двигатели происходит на взлете или начальном этапе набора высоты, что приводит к нарушениям работы, повреждениям двигателей и грозит самым тяжелыми последствиями.

Несмотря на то, что случаи указанного «топливного обледенения» самолетов известны уже несколько лет и повреждения двигателей по этой причине не раз отмечались в практике эксплуатации зарубежной и отечественной гражданской авиации, это явление, условия его возникновения изучены недостаточно, Единственная рекомендация, действующая в настоящее время — это требование повышенного внимания и тщательного контроля за состоянием поверхности самолета перед взлетом.

Типичной для «топливного обледенения» является ситуация, когда охлаждение топлива до низких отрицательных температур происходит в обычном крейсерском полете. Затем самолет производит посадку на аэродром, где имеются благоприятные для такого обледенения условия: продолжительный дождь, морось, небольшая положительная температура, при которой отрицательная температура топлива в баках самолета может сохраняться в течение многих часов. Следует иметь в виду, что даже для коротких рейсов топливо в баках быстро приобретает отрицательную температуру. За час полета температура топлива для современного самолета, выполняющего полет на типичных крейсерских высотах, понижается на  $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ . Если при взлете температура топлива составляла, например,  $+5^{\circ}\text{C}$ , то после полета продолжительностью 1,5 часа температура топлива в момент посадки может составлять  $-5$  —  $(-10^{\circ}\text{C})$  при той же температуре у земли.

Возможен и другой случай, когда самолет в пункте вылета заправлялся сильно охлажденным топливом, а прилетел на аэродром, где имеется положительная температура воздуха и выпадают осадки.

Иногда экипаж самолета, на котором во время стоянки имело место «топливное обледенение», не отмечает каких-либо отклонений от нормы при выполнении полета. Последствия обледенения обнаруживаются лишь после посадки. Например, в случае с самолетом Ил-62 № 86605, выполнявшим 02.04.1996 г. рейс Домодедово — Алма-Ата, не

было зафиксировано в полете каких-либо ненормальностей в работе двигателей. Однако после посадки на верхней поверхности крыла в районе расходных секций баков № 1, № 2, № 3, № 4 были обнаружены значительные отложения льда, толщина которого достигала 10 мм. Осмотр показал также наличие повреждений лопаток компрессоров у двигателей № 2 и № 4. Не вызывает сомнений, что причина повреждений — частичный сброс льда с поверхности крыла. Самолет перед вылетом из аэропорта Домодедово находился в течение 2,5 часов в условиях осадков при температуре воздуха +2°С +3°С и не подвергался противообледенительной обработке. Обледенение не наблюдалось на наземных предметах. Экипаж в объяснительных записках сообщил, что вода стекала с кромок крыла, наземного обледенения не было. Однако более внимательный осмотр несомненно показал бы, что на участках крыла с отрицательной температурой поверхности происходит нарастание льда.

В некоторых случаях, «топливное обледенение» самолетов Ту-134 не вызывало каких-либо отрицательных последствий, несмотря на обнаруженный после посадки лед на верхней поверхности крыла. В других случаях, наоборот, имели место серьезные повреждения двигателей.

По данным экипажей иностранных авиакомпаний (Финэйр и других) отмечались случаи образования на верхней поверхности крыла самолетов льда толщиной до 20 мм, что приводило к сильным повреждениям двигателей.

Необходимо отметить, что иногда «топливный лед» сохраняется даже после проведенной противообледенительной обработки. Причины этого заключаются в следующем.

В подавляющем большинстве случаев в условиях наземного обледенения на поверхности самолетов образуются небольшие по толщине ледяные образования (иней, изморозь, тонкий ледяной налет) или примерзший снег, которые удаляются подогретой противообледенительной жидкостью (ПОЖ) при сравнительно небольшом ее расходе. При образовании же достаточно толстого льда (10-20 мм) требуется большее время и больший расход противообледенительной жидкости.

Если же образовавшийся «топливный лед» (который и так трудно обнаружить) покрывается снегом, что нередко бывает при понижении температуры воздуха, то проводя «обычную» противообледенительную обработку и не подозревая о наличии толстого льда, технический состав может не обеспечить его удаления.

Примером может служить случай с финским самолетом ДС-9-51, который утром 2 мая 1995 г. вылетал из аэропорта Хельсинки. Во время разбега командир почувствовал уменьшение ускорения. Взлет был прекращен. При осмотре на верхней поверхности передней части крыла, где размещены топливные баки, был обнаружен прозрачный лед толщиной до 20 мм. Часть этого льда слетела при разбеге и вызвала повреждения двигателей. Предыдущий полет был продолжительностью три с половиной часа и затем самолет в течение 6 часов находился на стоянке с 2,5 т топлива в баках в условиях дождя и снегопада при температуре воздуха +0°С. Перед вылетом самолет был обработан противообледенительной жидкостью, что обеспечило очистку всей поверхности самолета кроме участков с прозрачным «топливным льдом», которые не были замечены. Получив информацию о подобных случаях, командиры кораблей авиакомпании Финэйр провели несколько самостоятельных тщательных проверок состояния поверхности самолетов после их обработки ПОЖ и подтверждения качества обработки инженерами наземной службы. Результаты оказались весьма тревожными. В ряде случаев в зоне размещения топливных баков на верхней поверхности крыла командиры обнаружили прозрачный толстый лед, лишь смоченный противообледенительной жидкостью. В связи с этим авиакомпания выпустила рекомендацию: во всех случаях, когда возможно «топливное обледенение», необходимо после обработки не только проводить тщательный осмотр, но и наощупь

проверять состояние поверхности самолета на участках, где вероятно образование льда. При этом следует проверять возможно большую площадь в зоне расположения баков.

Целесообразность такой рекомендации, несмотря на «примитивность» предложенного метода, не вызывает сомнений.

«Топливное обледенение», как показывает практика эксплуатации, является серьезной проблемой, требующей постоянного контроля со стороны инженерно-технического и летного состава.

## **Глава 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АВИАЦИОННОЕ ПРОИСШЕСТВИЕ/ИНЦИДЕНТ**

### **14.1. Оценка степени влияния метеоусловий и метеообеспечения на авиационное происшествие/инцидент**

После установления фактической погоды в момент авиационного происшествия/инцидента анализируются материалы, касающиеся выполнения требований нормативных документов, регламентирующих метеообеспечение полетов. Объем анализируемого материала зависит от этапа полета, на котором произошло авиационное происшествие/инцидент. Однако во всех случаях следует начинать изучение материалов с предполетной подготовки экипажа на АМСГ аэропорта вылета и далее анализировать метеоинформацию и требования руководящих документов по обеспечению органов УВД и экипажа сведениями об изменении метеоусловий, возникновении опасных явлений погоды до момента авиационного происшествия/инцидента.

Если авиационное происшествие/инцидент имело место во время разбега, взлета или набора высоты воздушного судна в сложных метеоусловиях и (или) при наличии опасных явлений погоды, важно установить, получал ли экипаж заблаговременно достоверную информацию об этих условиях или воздушное судно неожиданно попало в зону с опасным метеоявлением. При этом необходимо выяснить, зафиксировал ли техник-метеоролог АМСГ (АМЦ) явление погоды и была ли сообщена эта информация диспетчеру УВД и экипажу воздушного судна.

В тех случаях, когда авиационное происшествие/инцидент имело место на маршруте полета, следует установить, передавалась ли информация об опасных явлениях погоды, если она имела на АМСГ (АМЦ), органам УВД и экипажу или по радиовещательным каналам (ОВЧ, ATIS, VOLMET).

Если авиационное происшествие/инцидент произошло на аэродроме назначения или запасном, то анализируется выполнение требований нормативных документов в части обеспечения экипажа сведениями об ухудшении погоды и опасных явлениях по этим аэродромам.

При расследовании авиационных происшествий/инцидентов, в зависимости от этапов полета, оцениваются соответствующие метеоусловия и прогнозы погоды и (или) предупреждения об опасных явлениях погоды, которые наблюдались и прогнозировались на момент авиационного происшествия/инцидента (циркулярный прогноз и прогноз на посадку).

Практика расследований авиационных происшествий/инцидентов в гражданской авиации Российской Федерации позволяет выделить следующие характерные недостатки при выполнении и обеспечении полетов:

- несвоевременная или необъективная информация органов УВД и экипажей ВС о метеоусловиях и наличии опасных явлений погоды на аэродромах назначения, запасных и маршрутах полетов;
- нарушение требований руководящих документов, регламентирующих выполнение и обеспечение полетов экипажами воздушных судов, органами УВД и специалистами метеослужбы;
- несоответствие прогнозируемой погоды фактическим метеоусловиям на аэродромах посадки и (или) запасных, на маршрутах полетов, в районах выполнения авиационных работ;
- передача экипажам необъективной информации об атмосферном давлении на аэродроме посадки;
- неожиданное попадание воздушных судов в зоны с опасными метеоявлениями;
- встреча по маршруту полета условий погоды ниже минимума и продолжение полета в этих условиях (характерно для полетов по ПВП).

Указанные недостатки могут быть вызваны субъективными и объективными причинами.

К субъективным причинам следует отнести:

- несвоевременную или неточную информацию, переданную экипажам, о фактических метеоусловиях на аэродромах посадки и запасных, маршрутах и в районе полетов;
- нарушение требований руководящих документов, регламентирующих выполнение и обеспечение полетов, персоналом метеослужбы, органами УВД и экипажами.

Объективными причинами могут быть:

- отсутствие сведений об ухудшении метеоусловий и наличии опасных явлений погоды на аэродромах посадки и в районах полетов из-за нарушения работы каналов связи при обмене метеоинформацией между аэропортами;
- попадание воздушных судов в зоны с опасными метеоявлениями на аэродроме посадки, маршруте полета из-за отсутствия информации о них у специалистов метеослужбы;
- отсутствие средств измерения и надежных методов прогнозирования некоторых опасных явлений погоды, таких, как сдвиг ветра, атмосферное статическое электричество и др.

Для определения степени влияния метеоусловий и недостатков в метеообеспечении на авиационное происшествие/инцидент эксперты-метеорологи должны подобрать все материалы, определяющие фактические и прогнозируемые метеоусловия в районе авиационного события, организацию метеообеспечения, провести детальный их анализ и оценить действия специалистов и должностных лиц, имевших отношение к обеспечению данного полета. Анализ материалов специалистами-экспертами должен быть объективным, а выводы аргументированными, т.е. подкрепляться соответствующими расчетами и документами.

В тех случаях, когда определение степени влияния метеоусловий на развитие аварийной ситуации затруднено из-за отсутствия необходимых данных о погоде в районе авиационного происшествия или по другим причинам, целесообразно привлекать специалистов соответствующих научных учреждений. Такие ситуации могут быть при авиационных происшествиях в горной местности, в районах аэродромов со сложным рельефом, в районах, слабо освещенных в метеорологическом отношении.

Характерным недостатком, затрудняющим определение степени влияния метеоусловий на авиационное происшествие на аэродромах, является отсутствие, а, чаще всего, с большим опозданием составление акта о фактической погоде на аэродроме в момент со-

бытия, наличие которого особенно важно при быстро меняющейся погоде, сдвиге ветра или других метеоэлементах и опасных явлениях, встречающихся крайне редко, но оказывающих прямое влияние на безопасность полетов.

В случаях поражения воздушного судна атмосферными электрическими разрядами в районах аэродромов необходимо (при наличии МРЛ) произвести внеочередные радиолокационные наблюдения сразу после получения сведений об авиационном происшествии/инциденте.

## **14.2. Подготовка и представление отчета группы метеобеспечения**

Подготовку отчета группы метеобеспечения рекомендуется начинать с изложения сведений о фактической и прогнозируемой погоде по аэродрому посадки, запасным, маршруту (району полета), с которыми экипаж был ознакомлен в период прохождения предполетной подготовки на АМСГ (АМЦ) аэропорта вылета. В зависимости от обстоятельств авиационного происшествия/инцидента в отчете указываются сведения о погоде, переданные на борт воздушного судна в процессе выполнения полета до момента авиационного происшествия/инцидента в соответствии с требованиями нормативных документов, регламентирующих метеобеспечение гражданской авиации, а также указываются недостатки в метеобеспечении данного полета, если они были. Далее описывается синоптическая ситуация в районе авиационного происшествия (инцидента).

После окончания описательной части делаются выводы. В выводах указываются фактическая и прогнозируемая погода на момент авиационного события и степень соответствия метеобеспечения полета требованиям нормативных документов. Далее излагаются рекомендации по предотвращению авиационных происшествий/инцидентов, подобных расследуемому.

К отчету группы метеобеспечения прилагаются те материалы, которые использовались экспертами при анализе условий погоды и метеобеспечения данного полета.

Для решения конкретных задач, требующих знаний в специальных областях в ходе расследования авиационных происшествий может возникнуть необходимость проведения специальных исследований. Организация и проведение исследований при расследовании авиационных происшествий определяется ПРАПИ-98 [7].

Результаты проведенных работ в подкомиссиях и рабочих группах оформляются отчетами, которые рассматриваются комиссией (подкомиссией), прилагаются к материалам расследования.

Порядок работы подкомиссий и рабочих групп изложен в ПРАПИ-98.

Итоговым документом работы комиссии по расследованию авиационного происшествия является Окончательный отчет по результатам расследования авиационного происшествия, который составляется с учетом материалов подкомиссий, рабочих групп, результатов исследований и экспертиз, а также другой, имеющейся в распоряжении комиссии информации.

Проект Окончательного отчета по результатам расследования авиационного происшествия представляется председателем комиссии на обсуждение членам комиссии. При возникновении разногласий по содержанию отчет готовится в редакции, предлагаемой председателем комиссии. Член комиссии, не согласный с содержанием отчета, обязан представить особое мнение в письменном виде.

В особом мнении указываются конкретные мотивы несогласия с их обоснованием, а также предлагаемые формулировки. Особое мнение рассматривается членами комиссии с обязательным оформлением протокола.

Окончательный отчет подписывается председателем и всеми членами комиссии.

Если в результате рассмотрения особое мнение не было учтено в отчете, член комиссии, представивший его, подписывает отчет с пометкой «С особым мнением».

Аналогичный порядок должен соблюдаться при составлении и подписании отчетов подкомиссий и рабочих групп.

В любом случае особое мнение остается приложенным к отчету комиссии, подкомиссии, рабочей группы.

Одновременно с Окончательным отчетом по расследованию председатель комиссии и начальник штаба комиссии подписывают перечень документов, приложенных к материалам расследования [7].

## **Глава 15. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ/ИНЦИДЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ**

При расследовании авиационных происшествий/инцидентов важно не только выявить причины или факторы, оказавшие влияние на исход полета, но и определить мероприятия по их предотвращению в дальнейшем. Это можно сделать, если определены метеорологические факторы и степень их влияния на безопасность полетов, для чего можно выполнить количественную оценку состояния безопасности полетов.

Количественная оценка безопасности полетов по метеоусловиям и организации метеообеспечения может быть выполнена на основе статистической обработки фактических данных и на основе применения специальных аналитических выражений. Этот путь требует материалов за длительный период времени и его результаты имеют ограниченное применение, так как он дает положительный результат только в тех условиях, для которых были собраны исходные материалы и в тех районах, где зафиксировано авиационное происшествие/инцидент. Рекомендации должны исходить из недостатков, выявленных комиссией по расследованию конкретного авиационного происшествия (инцидента).

С целью предотвращения авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами, рекомендации следует разрабатывать по следующим основным направлениям:

- повышение качества и надежности работы технических средств, используемых на аэродромах для определения значений метеоэлементов и опасных явлений погоды;
- внедрение автоматизированных метеоподсистем в АС УВД;
- повышение достоверности авиационных прогнозов за счет совершенствования методик прогнозирования условий погоды;
- совершенствование средств связи для оперативного обмена метеоинформацией между аэропортами ГА;
- грамотный анализ и оценка метеоусловий экипажами ВС в период предполетной подготовки и в процессе выполнения полета;
- качественная разработка нормативных документов по метеообеспечению полетов, исключающих неконкретность и различные толкования отдельных их положений; соблюдение требований этих документов при метеообеспечении и выполнении полетов;
- четкое взаимодействие специалистов АМСГ, УВД и экипажей ВС в части своевременной и взаимной информации о метеоусловиях на различных этапах полета, как показано на рис.15.1.

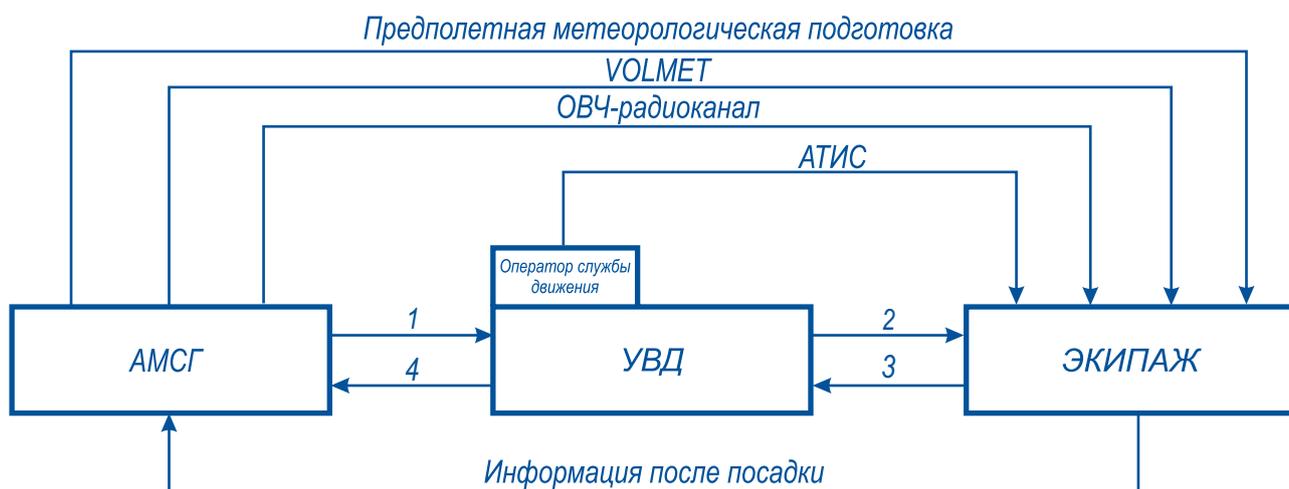


Рис. 15.1. Схема взаимодействия специалистов АМСГ, органов УВД и экипажей при выполнении и обеспечении полетов: 1, 2, 3, 4 — передача метеоинформации на различных этапах полета

Примечание. 1, 2, 3, 4 — используется при отсутствии радиовещательных передач или для срочной передачи информации.

В целях предотвращения авиационных происшествий и инцидентов, связанных с посадками ВС ниже минимума погоды, в условиях быстро меняющихся метеорологических величин, таких как видимость, высота нижней границы облаков (вертикальная видимость), параметры ветра важно своевременно передать информацию органам УВД об условиях погоды ниже минимума. В таких ситуациях техник-наблюдатель в первую очередь должен передать эти сведения по ГГС соответствующему диспетчеру УВД и получить подтверждение о приеме данной информации, а затем передавать эту информацию на каналы АТИС, синоптику для выпуска сводки SPECI и составления корректива к действующим прогнозам (циркулярный и прогноз на посадку), если такие метеоусловия не указывались в действующих прогнозах. Такое требование должно быть записано в Инструкции по метеорологическому обеспечению полетов на конкретном аэродроме.



*Понимание истинной  
цены безопасности  
зачастую приходит  
тогда, когда  
обнаруживается ее  
отсутствие!*



## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева А.А., Бухаров М.В., Лосев В.М., Соловьев В.И. Диагноз осадков и гроз по измерениям уходящего теплового излучения облачности с геостационарных спутников. – Метеорология и гидрология, 2006, №8, с. 33-42.
2. Здорик Ю.М., Распутиков А.С. Погода и условия полетов в горах. М.: Изографус, 2003, 359 с.
3. Трунов О.К. Безопасность взлета в условиях обледенения. – ГосНИИ ГА. – М: 1995. – 70 с.
4. Материалы международного семинара по сокращению количества авиационных происшествий при заходе на посадку и посадке. Россия, Москва, 29-30 июля 2003 г.
5. Методическое пособие «Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с влиянием метеоусловий и недостатков в метеообеспечении полетов». – М.: Изд. «Воздушный транспорт». 1990 – 140 с.
6. Организация воздушного движения. Doc. 4444 АТМ/501, изд. 15-ое ИКАО, 2007. – 468 с.
7. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации. Типография ОАО «АВИАИЗДАТ», 1998, 140 с.
8. Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации «Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации» – 16-е изд. ИКАО, 2007. – 197 с.
9. Приложение 13 к Конвенции о международной гражданской авиации «Расследование авиационных происшествий и инцидентов», 9-е изд. ИКАО, 2001.
10. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации (АСОБП). – М.; ООО «Аэронавигационное консалтинговое агентство», 2002. – 192 с.
11. Руководство по расследованию авиационных происшествий и инцидентов. Часть I «Организация и планирование». Издание первое, Doc. 9756 AN/965 ИКАО. – 2000.
12. Руководство по расследованию авиационных происшествий и инцидентов. Часть IV, «Предоставление отчетов». Издание первое. Doc 9756 AN/965 ИКАО. – 2003.
13. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. Док. 9422-AN/923. Первое изд. ИКАО. – 138 с.
14. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.
15. Руководство по определению дальности видимости на ВПП (RVR). – М.: изд. Центр АНО «Метеоагентство Росгидромета», 2006. – 98 с.
16. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. Doc ИКАО 9817 AN/449. – 2005.
17. Руководящие принципы подготовки расследователей авиационных происшествий. – ИКАО, Cir 298 AN/172, 2003. – 22 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.</b> . . . . .	<b>4</b>
1.1. Общие положения . . . . .	4
1.2. Классификация . . . . .	4
1.3. Определения . . . . .	4
<b>Глава 2. ЦЕЛЬ РАССЛЕДОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ТРЕБОВАНИЯ ИКАО К РАССЛЕДОВАТЕЛЯМ.</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1. Цель расследования . . . . .	7
2.2. Требования ИКАО к расследователям . . . . .	7
<b>Глава 3. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ ДЕЙСТВИЯ И ОПОВЕЩЕНИЕ ОБ АВИАЦИОННОМ ПРОИСШЕСТВИИ (ИНЦИДЕНТЕ)</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>Глава 4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАССЛЕДОВАНИЯ.</b> . . . . .	<b>10</b>
4.1. Создание подкомиссий и рабочих групп . . . . .	10
4.2. Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими условиями . . . . .	10
4.3. Метеорологические наблюдения . . . . .	10
4.4. Авиационные прогнозы погоды . . . . .	11
4.5. Метеорологический инструктаж и полетная документация . . . . .	11
4.6. Послеполетный анализ . . . . .	12
4.7. Адекватность обслуживания . . . . .	12
4.8. Соблюдение инструкций . . . . .	12
4.9. Показания свидетелей . . . . .	12
<b>Глава 5. РАБОТА ГРУППЫ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ (ИНЦИДЕНТОВ).</b> . . . . .	<b>13</b>
5.1. Общее знакомство с обстоятельствами авиационного происшествия. . . . .	13
5.2. Оценка работы метеорологических приборов и оборудования. . . . .	13
5.3. Оценка метеорологических наблюдений . . . . .	14
5.4. Оценка предупреждений и прогнозов погоды . . . . .	15
<b>Глава 6. АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ, ФАКТИЧЕСКОЙ И ПРОГНОЗИРУЕМОЙ ПОГОДЫ ПО АЭРОДРОМУ НАЗНАЧЕНИЯ, ЗАПАСНЫМ И МАРШРУТУ ПОЛЕТА</b> . . . . .	<b>16</b>
6.1. Анализ синоптического положения. . . . .	16
6.2. Анализ фактической и прогнозируемой погоды по аэродромам назначения, запасным и маршруту полета. . . . .	17
6.3. Анализ акта о фактической погоде в момент авиационного происшествия (инцидента). . . . .	17
<b>Глава 7. АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В МОМЕНТ АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ (ИНЦИДЕНТА).</b> . . . . .	<b>18</b>
7.1. Общие положения. . . . .	18
7.2. Определение количества, формы и высоты нижней границы облаков . . . . .	20
7.2.1. Определение количества облаков . . . . .	20
7.2.2. Определение формы облаков. . . . .	23
7.2.3. Определение высоты нижней границы облаков . . . . .	25
7.3. Определение видимости . . . . .	29
<b>Глава 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА.</b> . . . . .	<b>35</b>
<b>Глава 9. ОЦЕНКА СДВИГА ВЕТРА</b> . . . . .	<b>37</b>

9.1. Общие положения . . . . .	37
9.2. Общие сведения о влиянии сдвига ветра на малых высотах на летные характеристики воздушных судов. . . . .	40
9.3. Влияние сдвига ветра на воздушную скорость . . . . .	42
9.4. Влияние бокового сдвига ветра . . . . .	44
9.5. Сдвиг встречного/попутного ветра. . . . .	45
9.6. Сдвиг вертикальных составляющих ветра (восходящие и нисходящие потоки) . . . . .	45
9.7. Сдвиг ветра в области фронта порывов . . . . .	48
9.8. Внешние метеорологические признаки для распознавания сдвига ветра. . . . .	49
9.9. Ветер, обтекающий препятствия . . . . .	49
9.10. Расчет сдвига ветра . . . . .	51
9.11. Ограничения при практическом применении методов расчета сдвига ветра . . . . .	53
<b>Глава 10. АНАЛИЗ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. . . . .</b>	<b>54</b>
10.1. Общие положения. . . . .	54
10.2. Оценка развития кучево-дождевых облаков . . . . .	58
10.3. Шаровые молнии . . . . .	60
10.4. Анализ радиолокационной информации . . . . .	61
10.5. Использование дополнительной информации для определения метеоусловий в районе авиационного происшествия (по материалам НИЦ «Планета») . . . . .	69
<b>Глава 11. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ. . . . .</b>	<b>74</b>
11.1. Характеристики и критерии атмосферной турбулентности. . . . .	74
11.2. Механическая турбулентность и термическая турбулентность . . . . .	75
11.3. Турбулентность при наличии кучево-дождевых облаков . . . . .	76
11.4. Турбулентность в зоне атмосферных фронтов. . . . .	78
11.5. Турбулентность в ясном небе . . . . .	79
11.6. Орографическая турбулентность . . . . .	81
<b>Глава 12. ВЛИЯНИЕ СПУТНОГО СЛЕДА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ (по материалам ИКАО). . . . .</b>	<b>84</b>
<b>Глава 13. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ . . . . .</b>	<b>87</b>
13.1. Условия образования и интенсивность обледенения воздушных судов . . . . .	87
13.2. Синоптический метод оценки условий обледенения. . . . .	95
13.3. Наземное обледенение . . . . .	97
13.3.1. Условия и виды наземного обледенения . . . . .	97
13.3.2. «Топливное обледенение» при плюсовых температурах воздуха . . . . .	98
<b>Глава 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АВИАЦИОННОЕ ПРОИСШЕСТВИЕ/ИНЦИДЕНТ . . . . .</b>	<b>100</b>
14.1. Оценка степени влияния метеоусловий и качества метеообеспечения на авиационное происшествие/инцидент . . . . .	100
14.2. Подготовка и представление отчета группы метеообеспечения. . . . .	102
<b>Глава 15. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ/ИНЦИДЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ . . . . .</b>	<b>103</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА . . . . .</b>	<b>107</b>

РАССЛЕДОВАНИЕ  
АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И ИНЦИДЕНТОВ,  
СВЯЗАННЫХ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Методическое пособие  
Издание третье, переработанное и дополненное

Оригинал-макет подготовлен в Метеоагентстве Росгидромета

Подписано в печать 23.07.2009 г.  
Формат  $60 \times 90 \frac{1}{8}$ . Бумага «Maestro standart».

Печ. л. 13,75. Тираж 200 экз. Заказ № 09-61.

АНО «Метеоагентство Росгидромета»  
123242, г. Москва,  
Малый Трехгорный пер., д. 12/7, стр. 2