

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

О.Г. БОГАТКИН

# АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

*Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве  
учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Метеорология» направления  
подготовки дипломированных специалистов «Гидрометеорология»*



Санкт-Петербург  
2005



УДК 551.:629.130 (075.8)

Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. Учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. – 328 с.

ISBN 5-86813-137-1

В учебнике в соответствии с программой курса «Авиационная метеорология» для вузов рассмотрены основы авиации, организация полетов в гражданской авиации, а также структура Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Изложены вопросы влияния параметров атмосферы на полет воздушных судов и методы прогноза опасных для авиации явлений погоды.

Материалы учебника, связанные с организацией метеорологического обеспечения гражданской авиации, рассмотрены с учетом новых нормативных документов, регламентирующих летную деятельность и порядок метеорологического обеспечения полетов.

Учебник предназначен для студентов гидрометеорологических институтов и географических факультетов университетов, слушателей факультетов повышения квалификации, курсантов летных училищ, а также для летного и диспетчерского состава гражданской авиации и ВВС.

The “Aeronautical Meteorology” by O.G. Bogatkin includes topics connected with the aerodynamic and dynamic of aircrafts and helicopters, civil aviation functioning organization, and atmospheric condition influence on aircraft flying parameters. The principals and order of civil aviation meteorological supply is described, taking into account the new technical regulations. Application of some new technical means, including computers, for receiving and processing of meteorological information and also for aviation weather forecasting is discussed.

The text-book is intended for students studying meteorology at university level and for advanced courses. It will be useful for students of aviation schools. It may be also used by forecasters of airport weather services, by pilots and by some airports staff.

*Рецензенты:* проф. Л.Ю. Белоусова (Академия гражданской авиации), А.Б. Майзельс (начальник авиационно-метеорологического центра «Пулково»).

ISBN 5-86813-137-1

© Богаткин О.Г., 2005

Российский государственный гидрометеорологический университет  
Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2005

**БИБЛИОТЕКА**

125196, СПб, Малоохтинский пр., 98

5781 м-28

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Авиационная метеорология является одной из приоритетных областей прикладной метеорологии. Известно, что во все времена авиация была стимулом для развития многих направлений метеорологической науки, таких как метеорологические приборы, системы сбора и передачи метеорологической информации, сверхкраткосрочные и краткосрочные прогнозы погоды и другие.

Для успешного выполнения своих задач авиация, как вид транспорта, должна быть конкурентоспособна с другими видами транспорта и обеспечить безопасность, регулярность и экономичность воздушных перевозок. Нет ни одной из перечисленных выше задач, в решении которых не принимала бы участие авиационная метеорологическая служба.

Грамотный синоптик, обеспечивающий авиацию, не может не знать основ авиации. Грамотный летчик не может не знать условий выполнения полетного задания при тех или иных погодных условиях.

Предлагаемый учебник «Авиационная метеорология», написанный в соответствии с утвержденной программой дисциплины (2001 г.), дает возможность изучить основы авиации, организацию управления воздушным движением, влияние параметров атмосферы на параметры полета воздушных судов и организацию и правила метеорологического обеспечения полетов.

Так сложились обстоятельства, что авторы предыдущего учебника, который вышел в свет в 1992 г., перестали заниматься проблемами авиационной метеорологии. Новый учебник переработан и подготовлен к печати О.Г. Богаткиным. Однако и А.М. Баранова, которого, к сожалению, уже нет, и В.Ф. Говердовского, и В.Д. Еникееву безусловно следует признать помощниками и соавторами в его написании. За ними, естественно, сохраняются все авторские права на те страницы учебника, которые были написаны раньше и опубликованы в предыдущем издании. Советом и делом при работе над учебником автору помогли проф. Г.Г. Тараканов и магистр Н.А. Осташова.

Автор благодарен рецензентам и редактору учебника, а также всем преподавателям и сотрудникам Российского государственного гидрометеорологического университета за помощь при подготовке учебника к изданию, а также всем тем, кто сделал ряд полезных и критических замечаний, способствовавших улучшению рукописи.

Этот учебник полезен всем: от студента и специалиста в области метеорологии до летчика, работника службы управления воздушным движением и руководителя авиапредприятия.

## ВВЕДЕНИЕ

Все руководители гражданской авиации России говорили и говорят, что авиация держится на «трех китах»: безопасность полетов, регулярность полетов и экономичность воздушных перевозок. Среди этих «трех китов» нет ни одного, которого не поддерживала бы авиационная метеорология.

*Авиационная метеорология* – специализированная прикладная отрасль метеорологии, изучающая влияние метеорологических условий на авиационную технику и деятельность авиации, а также разрабатывающая теоретические и методические основы метеорологического обеспечения полетов.

Летом 1883 г. под Петербургом впервые в мире поднялся в воздух самолет А.Ф. Можайского. Прошло чуть больше ста лет, а нам уже трудно вообразить себе такой «допотопный летательный аппарат», каким был этот самолет. Самолет А.Ф. Можайского представлял собой моноплан, на котором были установлены две паровые машины и три специальных двигателя. Ну а раз была паровая машина, значит были топка, топливо и вода. Однако каким бы несовершенным не был этот самолет, но именно он стал родоначальником развития авиации.

В мире так повелось, что все изобретения человечества сначала осваивают военные, а уж потом гражданские ведомства. На самом деле, построили корабль – сначала появились военные корабли различного назначения, построили автомобиль – появилась бронемашина, затем танк, а уж потом комфортабельное «авто». Так и с самолетом. Первыми построили военные самолеты (примерно в 1910 г. в России), а уж потом гражданские, которые перевозили грузы, почту и пассажиров.

Раз самолеты стали летать, то после взлета и выполнения своего полетного задания они должны произвести посадку. Безопасность посадки и раньше и сейчас во многом зависит от погоды. Так зародилась первая задача авиационной метеорологии – *обеспечение безопасности полетов*.

После того как самолеты стали регулярно перевозить пассажиров, в авиации появилось *расписание*, а перед авиационной метеорологией была поставлена вторая задача – *обеспечение регулярности полетов*.

Может быть, это звучит не очень романтично, но авиация является одним из видов транспорта, а поэтому в задачу авиации входит быть конкурентноспособной с другими видами перевозок. Отсюда и третья задача авиационной метеорологии – *обеспечение экономичности воздушных перевозок*.

В современных условиях никакая транспортная (и не только транспортная) компания не будет работать себе в убыток. Иначе эта компания обанкротится. Поэтому (просто нет другого выхода) все расходы по всем видам перевозок компания перекладывает на пассажиров, грузоотправителей и т.д. Сейчас в условиях достаточно жесткой конкуренции авиакомпаниям нужно сделать так, чтобы потребителям было выгоднее пользоваться самолетом или вертолетом, а не каким-нибудь наземным видом транспорта. Наша задача, задача авиационной метеослужбы, помочь своему авиапредприятию выстоять и «победить» другие виды транспорта в этой конкурентной борьбе. Пока авиационная метеорологическая служба со своими задачами справляется достаточно успешно, иначе наш заказчик (авиапредприятие) давно бы отказался от наших услуг.

В развитии авиационной метеорологии можно выделить три этапа.

*Первый этап* (1921–1940) характеризуется созданием специальной авиационной метеорологической службы, созданием специальной сети метеорологических станций, обеспечивающих только авиацию (АМСГ – авиационная метеорологическая станция, гражданская), а также созданием ГАМС – Главной авиаметеорологической станции, которая стала центром оперативной работы по обеспечению авиации.

В этот период начинаются специальные метеорологические исследования в интересах авиации, которые раньше, естественно, не проводились.

Заканчивается первый период развития авиационной метеорологии по сути дела перед самым началом Великой отечественной войны, и конец этого периода характерен тем, что в распоряжении синоптиков стали регулярно появляться данные температурно-ветрового зондирования атмосферы. До этого момента у синоптиков ничего, кроме приземной информации и шаропилотных данных, в распоряжении не было.

Известно, что П.А. Молчанов изобрел радиозонд в 1930 году, и за последующие десять лет в Советском Союзе была создана опорная сеть аэрологических станций.

Авиационная метеорологическая служба в этот период стала завоевывать уважение у летного состава. К советам и прогнозам синоптиков стали прислушиваться летчики, а завоевать их доверие – очень непростое дело. Так уж устроен человек, что хороший прогноз он не помнит, а о неудачном будет вспоминать долго. Вот поэтому и нужно было большое число хороших прогнозов погоды.

*Второй этап* (1940–1960) развития авиационной метеорологии характеризуется широким распространением и применением для обеспечения авиации карт барической топографии, проведением для оценки погодных условий воздушной разведки погоды, созданием специальных прогностических центров, а также созданием системы прямых авиационных связей (СПАС), которая в значительной мере ускорила сбор и распространение авиационной метеорологической информации.

*Третий этап* (с 1960 г.) характеризуется использованием для метеорологического обеспечения авиации информации, получаемой с искусственных спутников Земли, информации специальных метеорологических радиолокационных станций (МРЛ), созданием новых автоматических и записывающих приборов для производства метеорологических наблюдений на аэродроме и постепенным внедрением ЭВМ в практику метеорологического обеспечения авиации.

Иногда говорят, что с середины девяностых годов начался *четвертый этап* развития авиационной метеорологии, который характерен именно широким внедрением вычислительной техники во все сферы метеорологического обеспечения авиации.

Сейчас авиация России ежегодно перевозит десятки миллионов пассажиров, миллионы тонн грузов, а также выполняет огромное количество других видов работ, которые кроме авиации никто выполнить не может. А все началось в 1923 г., когда 9 февраля была создана первая в России авиакомпания

«Аэрофлот». Этот день и сейчас считается днем рождения нашей гражданской авиации. В том далеком 1923 г. за весь год только по одной-единственной (больше не было) воздушной трассе Москва–Нижний Новгород было перевезено всего 267 пассажиров. Сейчас самолет Ил-86 за один только рейс способен в полтора раза перевыполнить весь объем перевозок 1923 г.

Увеличение объема воздушных перевозок привело к тому, что сейчас иногда говорят не о том, как атмосфера влияет на полет воздушного судна, а как полеты воздушных судов влияют на атмосферу. Появляется в авиации «четвертый кит» – загрязнение атмосферы.

Во все времена метеорологическое обеспечение полетов простым делом не называли. Всегда при обеспечении авиации были трудности, и вот парадокс: авиационная техника стала лучше, метеорологическая техника тоже стала лучше, но трудностей при обеспечении авиации не стало меньше, скорее, наоборот.

Если как-то сгруппировать все эти трудности, то можно, в какой-то мере условно, выделить следующие группы.

1. *Отставание метеослужбы от запросов практики.*

Приведем здесь несколько примеров.

15 сентября 1956 года совершил первый полет первый в мире реактивный пассажирский самолет Ту-104. Это был грандиозный успех отечественного самолетостроения. Однако в первое время эксплуатации этих самолетов сравнительно часто происходили летные происшествия с тяжелыми последствиями. Ни ученые, ни летчики не могли понять, в чем дело. А все оказалось просто. Самолет Ту-104 выполнял полет на высотах 10 000–12 000 м, а к тому времени метеорологические условия полетов на этих высотах были изучены недостаточно. При полете на эшелоне, как раз на этих высотах, самолет попадал на периферию струйного течения, где наблюдается сильная турбулентность, вызывающая болтанку самолета, и экипаж не всегда успешно справлялся с возникающими перегрузками. После проведения специальных авиационных метеорологических исследований и внесения ряда небольших конструктивных изменений в самолет, а также уменьшения примерно на 1000 м предельной безопасной высоты полета эта проблема была снята, и много лет самолет Ту-104 считался одним из лучших самолетов в мире.

Первый в мире сверхзвуковой транспортный самолет Ту-144 поднялся в воздух 31 декабря 1968 г. Этот самолет летал со скоростью, в два раза превышающую скорость звука, и на высотах 16 000–20 000 м. Метеорологические исследования этого слоя атмосферы также несколько отстали от запросов практики. Сначала считалось, что раз стратосфера всегда стратифицирована устойчиво, то ни облаков, ни турбулентности на этих высотах быть не должно. Только потом метеорологи нашли в стратосфере и струйные течения, и турбулентность, и резкие потепления, и озон, что не было изучено к моменту ввода в эксплуатацию самолета Ту-144.

У этого самолета достаточно трудная судьба. Он «делался» для межконтинентальных перелетов, и в России такой самолет сделали первыми. Но наши западные конкуренты решили не пустить Ту-144 на международные авиалинии. Никому и никогда (кроме нас самих) не нужна сильная Россия в любой сфере деятельности, в том числе и в авиации. Формальный повод выполнить

задуманное у наших конкурентов нашелся. По международным правилам самолет, выполняющий полеты за рубеж, должен иметь четыре двигателя (у самолета Ту-144 двигателей четыре), на двух любых двигателях после взлета самолет должен долететь до запасного аэродрома (Ту-144 долетал) и уровень шума двигателей на взлете должен был быть не более определенного предела (двигатели Ту-144 «шумели» чуть больше нормы). Раз так, то самолет не выпустили на международные трассы, а через некоторое время наши конкуренты построили свой «конкорд». Наш самолет несколько лет пролетал по одной пассажирской трассе Москва–Алма-Ата, после чего все Ту-144 были переданы в авиацию ВМФ. Справедливости ради, следует сказать, что на земле этот самолет был достаточно сложным в эксплуатации, а в воздухе за час полета «съедал» 21 тонну керосина (самолет Ил-86 за час полета расходует только 9-10 тонн топлива).

Еще одна трудность в этой группе: увеличение скорости полета привело к тому, что информация о погоде, даже передаваемая по системе СПАС, стала запаздывать. В настоящее время как раз и решается проблема (решается успешно) перехода от системы СПАС к системе АСПД (автоматизированной системе передачи данных).

И последняя трудность в этой группе – отсутствие хороших приборов для измерения видимости, высоты нижней границы облаков и относительной влажности – тех параметров атмосферы, которые оказывают существенное влияние на деятельность авиации, на безопасность полетов.

## *2. Прогностическая и информационная работа на АМСГ.*

Прогностическая и информационная работа на АМСГ – это тот «крест», который синоптик несет постоянно. Прогноз погоды нужно разработать, потом его нужно передать по назначению. Это и есть прогностическая и информационная работа. Методы прогноза все время корректируются, средства обмена информацией совершенствуются, а синоптик всегда должен уметь правильно, грамотно и быстро выполнить свою работу. Как говорят, синоптика от людей любой другой специальности отличает два обстоятельства: у синоптика разговор о погоде – не светская беседа, а разговор о деле, и синоптик, как бы он не старался, никогда не может перевыполнить план (попробуйте добиться оправдываемости своих прогнозов хотя бы на 101%).

## *3. Экономические взаимоотношения с авиапредприятием.*

В настоящее время это, пожалуй, самый больной вопрос. И сейчас финансовые проблемы решаются с большими трудностями. Многие авиапредприятия стали частными авиакомпаниями, поэтому за «услугу» (а метеорологическое обеспечение – это услуга) стараются платить поменьше. Вне всякого сомнения, это обстоятельство отражается на зарплате работников АМСГ.

Авиационная метеорология, как наука, связана с рядом авиационных и метеорологических дисциплин.

Говоря об авиационных дисциплинах, нужно в первую очередь назвать следующие: *аэродинамика* – почему самолет летает и причем здесь атмосфера, *самолетовождение* – куда самолет летит и причем здесь атмосфера, *самолетостроение* – «развалится» самолет в воздухе или нет и причем здесь атмосфера.

Из метеорологических наук прежде всего нужно выделить следующие: *синоптическая метеорология* и *сверхкраткосрочные прогнозы погоды* – это разработка авиационных прогнозов погоды, *общая и динамическая метеорология* – это изучение физики влияния параметров атмосферы на параметры полета воздушных судов и *климатология* – это регулярность полетов и строительство и эксплуатация аэродромов.

В области авиационной метеорологии давно осуществляется международное сотрудничество, которое с каждым годом расширяется и совершенствуется, и постоянным участником которого с 1971 года является Россия. Международное сотрудничество обусловлено целым рядом факторов, основными из которых являются следующие.

Во-первых, для улучшения качества метеорологического обеспечения авиации необходима всесторонняя метеорологическая информация и знание атмосферных процессов – основы прогнозирования погоды. Эти процессы не знают государственных границ, и поэтому между странами необходим постоянный обмен метеорологической информацией. Кстати, это нужно не только специалистам авиационной метеорологии, но и всем, кто занимается разработкой прогнозов погоды.

Во-вторых, с каждым годом увеличивается во всех странах число международных полетов. Так, протяженность авиатрасс России составляет почти 1 млн. километров, а из них на долю международных трасс приходится около 35%. В настоящее время самолеты гражданской авиации летают более чем в 100 стран мира. Международные полеты не могут проводиться без международного обмена метеорологической информацией.

Сотрудничество в области авиационной метеорологии осуществляется под эгидой двух международных организаций – Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Международной организации гражданской авиации (МОГА) или, как ее еще иногда называют, ICAO (International Civil Aviation Organization). МОГА главным образом разрабатывает требования к метеорологическому обеспечению, сформированные на основании запросов гражданской авиации, а ВМО определяет научно обоснованные возможности выполнения этих требований и разрабатывает соответствующие рекомендации.

В ВМО и МОГА есть постоянные представители России, которые занимаются проблемами авиационной метеорологии и отстаивают наши государственные интересы.

С учетом всех взаимосвязей и возможностей синоптики на АМСГ решают все задачи по обеспечению безопасности, регулярности и экономичности воздушных перевозок. Надо сказать, что в целом со своими задачами синоптики справляются достаточно успешно.

Автор надеется на то, что если вам, дорогой читатель, придется заниматься метеорологическим обеспечением авиации, то этот учебник поможет вам хорошо изучить «язык» авиационной метеорологии (остальному научит практика), и вы также достаточно успешно будете решать свои задачи.

## Раздел 1. ОСНОВЫ АВИАЦИИ

Уважаемый читатель!

Этот раздел учебника посвящен основам авиации. Все вопросы, связанные с полетами самолетов и вертолетов, начиная от причин возникновения подъемной силы (почему самолет летает, хотя он большой, железный и очень тяжелый) и кончая организацией системы управления воздушным движением в России, являются очень сложными. В нашу задачу не входит подробное изучение всех этих проблем. Но заниматься метеорологическим обеспечением авиации, совершенно не зная «авиационной кухни», нельзя – ничего не получится. И хотя мы будем обсуждать авиационные проблемы в очень упрощенном виде, но этого, на наш взгляд, будет достаточно для того, чтобы успешно работать в качестве инженера-синоптика АМСГ. Вам не стыдно будет консультировать любой экипаж воздушного судна. Ведь не секрет, что каждый летчик считает себя «крупным специалистом» в области метеорологии (пусть так и думают), а нам надо бы знать основы «летного дела» и авиационную терминологию.

### Глава 1

## ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

### 1.1. Основные понятия и законы аэродинамики

*Аэродинамика* – наука о законах движения воздуха и о механическом взаимодействии между воздушными потоками и телами, которые в нем находятся.

Под потоком понимается масса воздуха, движущаяся относительно какого-либо тела. Так как механическое взаимодействие между воздухом и телом остается одинаковым независимо от того, что перемещается: воздух, тело или воздух и тело одновременно, то в аэродинамике часто используется принцип обращения движения. Он предполагает, что тело (самолет) в воздухе остается неподвижным, а поток обтекает его со скоростью, равной скорости полета, но направленной в противоположную сторону.

Основная задача, которая решается аэродинамикой в интересах авиации, заключается в определении сил и моментов, действующих на самолет при различных условиях полета. Эти силы возникают за счет воздействия самолета или отдельных его частей на воздушный поток, изменяя как характеристики самой среды (воздуха), так и характеристики движения.

Основными характеристиками, которые определяют физическое состояние воздуха, являются: *давление, температура, плотность и его сжимаемость*. Остальные характеристики воздуха являются производными от перечисленных выше и определяются математически.

Обсудим следующие основные законы аэродинамики.

**Уравнение состояния воздуха.** Между давлением воздуха ( $p$ ), его плотностью ( $\rho$ ) и температурой ( $T$ ) существует зависимость, которая известна еще со школьной скамьи:

$$pV = RT, \quad (1.1)$$

где  $V$  – удельный объем воздуха, а  $R$  – газовая постоянная. По двум известным величинам всегда можно определить состояние воздуха, так как определение третьего параметра по двум известным трудностей не вызывает.

**Уравнение неразрывности.** Это уравнение показывает, что в трубке переменного сечения (рис. 1.1) при установившемся движении секундный расход воздуха постоянен во всех сечениях трубки. Иначе просто не может быть. Следовательно,

$$(\rho SV)_1 = (\rho SV)_2. \quad (1.2)$$

Здесь  $\rho$  – плотность воздуха,  $S$  – площадь сечения трубки и  $V$  – скорость воздуха в сечении.

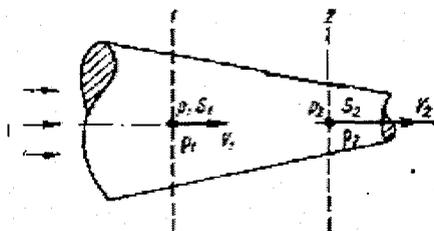


Рис. 1.1. Схема движения воздуха в трубке переменного сечения.

Если распространить равенство на весь установившейся поток, то выражение (1.2) можно записать в виде:

$$\rho SV = \text{const}. \quad (1.3)$$

Это и есть общий вид уравнения неразрывности: *секундная масса воздуха, проходящего через любое сечение установившегося потока, есть величина постоянная.*

Таким образом, установлено, что *большему сечению соответствует меньшая скорость потока, и наоборот.*

*Это интересно:*

Чисто «обывательский», но достаточно понятный пример, который поясняет последнюю фразу. Если вы не очень сильно откроете водопроводный кран, то диаметр струйки воды на срезе крана будет равен внутреннему диаметру крана. По мере приближения к раковине ваша струйка становится все тоньше и тоньше и может даже «порваться». Надемся, что такую картину у себя в ванне или на кухне вам приходилось видеть. Все объясняется очень просто. Оторвавшись от крана, струйка воды приближается к раковине со все время увеличивающейся скоростью. Секундный расход воды через любое сечение струйки не меняется, а за счет увеличения скорости сама струйка становится тоньше. Примерно такая же картина наблюдается и при обтекании крыла самолета.

Уважаемый читатель! Хотелось напомнить еще раз о том, что эта книга предназначена для специалистов-метеорологов. Для изучающих аэродинамику более глубоко и серьезно примеры, подобные приведенному выше, могут показаться уж очень примитивными. Может быть, так оно и есть, однако такие примеры помогают понять достаточно сложные процессы взаимодействия самолета и атмосферы, а потому такая методика объяснения будет использована и в дальнейшем.

**Уравнение (закон) Бернулли.** Для пояснения этого закона вернемся к рис. 1.1. Из рисунка видно (по построению), что  $S_1 > S_2$ , а следовательно,  $V_1 < V_2$ . В установившемся потоке увеличение скорости возможно только в том случае, если статическое давление на уровне первого сечения ( $p_1$ ) будет больше статического давления на уровне второго сечения ( $p_2$ ), т.е.  $p_1 > p_2$ .

По законам аэродинамики полное давление на уровне любого произвольного сечения складывается из двух частей: *статического давления* ( $p$ ) – атмосферного давления на высоте полета и так называемого *скоростного напора*, который называется еще *динамическим давлением* и который равен  $\rho V^2/2$ .

В самом общем виде закон Бернулли можно записать следующим образом:

$$p + \frac{\rho V^2}{2} = \text{const.} \quad (1.4)$$

Это означает, что *большей скорости потока соответствует меньшее статическое давление, и наоборот.*

Уравнение Бернулли позволяет объяснить физические процессы, приводящие к образованию аэродинамических сил на крыле самолета и несущем винте вертолета.

## 1.2. Причины возникновения подъемной силы

Прежде чем решать вопрос о возникновении подъемной силы, введем два аэродинамических понятия: хорда крыла и угол атаки крыла.

*Хордой крыла* называется отрезок прямой, соединяющий переднюю и заднюю точки профиля крыла. *Углом атаки крыла* ( $\alpha$ ) называется угол между хордой крыла и направлением скорости невозмущенного потока (рис. 1.2). Этот угол может быть положительным ( $\alpha > 0$ ), отрицательным ( $\alpha < 0$ ) или равняться нулю ( $\alpha = 0$ ).

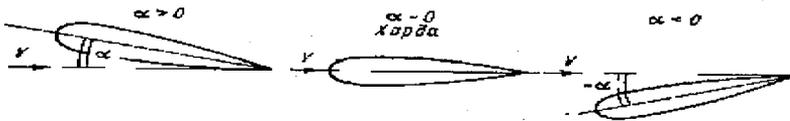


Рис. 1.2. Угол атаки крыла.

Рассмотрим два случая обтекания крыла воздушным потоком.

*Первый случай:*  $\alpha = 0$  (рис. 1.3). Предположим, что невозмущенный поток имеет скорость  $V$  и давление  $p$ . Профиль крыла самолета симметричен. Итак, при «встрече» с крылом самолета происходит следующее. Воздушный поток обтекает крыло сверху и снизу. Естественно, что перед крылом поток «расходится». Следовательно, поток становится шире, при этом по закону Бернулли скорость потока уменьшается, а давление увеличивается. Поэтому в передней части крыла давление воздуха будет больше, чем в невозмущенном потоке. Эта зона на рис. 1.3 обозначена знаком «+».

Воздушный поток, обтекающий верхнюю поверхность крыла, имеет скорость  $V_v$ . Из этого же рисунка видно, что скорость воздушного потока на верхней поверхности крыла больше, чем скорость невозмущенного потока ( $V_v > V$ ),

так как любая кривая, соединяющая две точки, длиннее прямой, соединяющей те же точки, а воздушный поток мы считаем неразрывным. Следовательно, над верхней поверхностью крыла давление воздуха ( $p_v$ ) будет меньше, чем давление невозмущенного потока ( $p_v < p$ ). Эта зона на рисунке обозначена знаком «-».

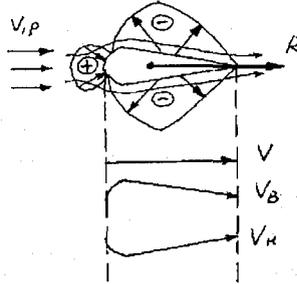


Рис. 1.3. Обтекание крыла потоком при  $\alpha = 0$ .

Аналогичным образом рассмотрим ту часть воздушного потока, которая обтекает нижнюю поверхность крыла. Не повторяя приведенных выше рассуждений, можно сразу записать, что  $V_n > V$  и  $p_n < p$ . Таким образом, и на нижней поверхности крыла скорость обтекания будет больше, чем в невозмущенном потоке, а давление воздуха – меньше. Как и «сверху», на рис. 1.3 эта зона обозначена знаком «-».

Теперь нам осталось сравнить две скорости обтекания: на верхней и нижней поверхностях крыла. Если крыло имеет симметричный профиль, а угол атаки равен нулю, то не вызывает сомнения, что  $V_v = V_n$ , а  $p_v = p_n$ .

Следовательно, при обтекании крыла воздушным потоком давление как на верхней, так и на нижней поверхности крыла меньше, чем давление в невозмущенном потоке. Однако при одинаковой скорости обтекания уменьшение давления сверху и снизу происходит на одну и ту же величину, а поэтому равнодействующая сил давления, действующих на верхнюю и нижнюю поверхности крыла симметричного профиля, равна нулю.

При таком обтекании ( $\alpha = 0$ ) на крыло самолета будет действовать только сила  $R$ , которая возникает за счет увеличения давления на передней кромке крыла и направлена горизонтально. В этом случае *подъемная сила не возникает, и самолет не летит*.

*Второй случай:*  $\alpha > 0$  (рис. 1.4). Рассуждения, которые приведены чуть ниже, в принципе ничем не отличаются от только что прочитанных вами. Как видно из рис. 1.4, на передней кромке крыла, как и в первом случае, создается зона повышенного давления, которая обозначена знаком «+». Скорость потока над крылом ( $V_v$ ) больше скорости невозмущенного потока ( $V$ ), а давление над крылом, следовательно, меньше давления невозмущенного потока ( $p_v < p$ ). Эта зона на рис. 1.4 обозначена знаком «-». Аналогичную картину мы получим и при анализе условий обтекания под крылом:  $V_n > V$  и  $p_n < p$ . Зона уменьшения давления под крылом также обозначена знаком «-».

Самое «интересное» начинается, когда мы сравниваем скорости обтекания на верхней и нижней поверхностях крыла. Из рис. 1.4 видно, что  $V_v > V_n$ , а следовательно,  $p_v < p_n$ . Зоны пониженного давления на верхней и нижней поверх-

ностях крыла также обозначены знаком «-». Несложные рассуждения позволяют сделать следующие выводы.

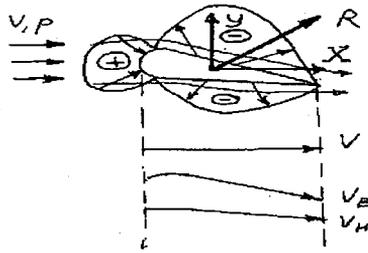


Рис. 1.4. Обтекание крыла потоком при  $\alpha > 0$ .

Во-первых, так как давление на нижней поверхности крыла больше, чем на верхней, то и сила давления снизу больше, чем сверху.

Во-вторых, при угле атаки  $\alpha > 0$  возникает равнодействующая сил давления на верхнюю и нижнюю поверхности крыла  $R$ , которая направлена назад-вверх (рис. 1.4) и называется *полной аэродинамической силой*. Горизонтальная составляющая этой силы обозначается буквой  $X$  и называется *лобовым сопротивлением*, а вертикальная составляющая – буквой  $Y$  и называется *подъемной силой*.

Полную аэродинамическую силу и ее составляющие можно определить по эмпирическим формулам:

$$R = c_R S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1.5)$$

$$Y = c_y S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1.6)$$

$$X = c_x S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1.7)$$

где  $c_R$ ,  $c_y$ ,  $c_x$  – коэффициенты полной аэродинамической силы, подъемной силы и лобового сопротивления соответственно,  $S$  – площадь крыла в плане,  $\rho V^2/2$  – скоростной напор.

Таким образом, возникающая подъемная сила в буквальном смысле слова поднимает самолет в воздух, и он летит. Следовательно, для того чтобы самолет взлетел, нужен...воздух, нужны двигатели, которые обеспечивают самолету горизонтальное движение, и нужен ...самолет со специальной конструкцией крыла, которое обеспечивает разные скорости обтекания на его верхней и нижней поверхностях.

Совершенство конструкции воздушного судна характеризуется его аэродинамическим качеством  $K$ , которое равно отношению подъемной силы к лобовому сопротивлению при одном и том же угле атаки:

$$K = \frac{Y}{X} = \frac{c_y}{c_x}. \quad (1.8)$$

Аэродинамические силы и коэффициенты для крыла и самолета в целом зависят от угла атаки. Эти зависимости обычно устанавливают экспериментально и представляют в виде графиков.

*Это интересно:*

Почти все аэродинамические исследования в России проводятся в ЦАГИ – Центральном аэрогидродинамическом институте, который находится под Москвой. В распоряжении этого института есть аэродинамические трубы такого диаметра, что в них может поместиться модель любого самолета в натуральную величину, а в самой трубе можно создать поток воздуха, равный скорости полета самолета. Даже если взять не самый большой, не самый современный и не самый скоростной самолет Ту-154, то для его обдува нужна труба диаметром около 60 м и поток в этой трубе скоростью около 1000 км/ч. Нет нужды говорить о том, что это очень дорогостоящее сооружение. Во время Великой отечественной войны, когда немцы стояли под Москвой, немецким летчикам был дан приказ не бомбить ЦАГИ, чтобы в случае захвата Москвы этот институт, имеющий уникальные аэродинамические трубы, оказался неповрежденным.

На рис. 1.5 показана зависимость коэффициентов  $c_y$  и  $c_x$  от угла атаки для несимметричного профиля крыла.

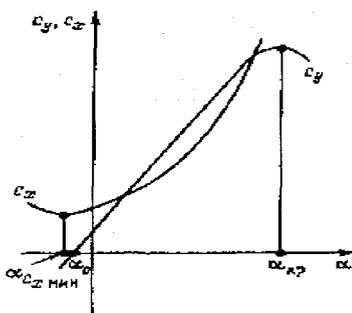


Рис. 1.5. Зависимость коэффициентов  $c_y$  и  $c_x$  от угла атаки  $\alpha$ .

Как видно из рис. 1.5, нулевая подъемная сила ( $c_y$ ) имеет место в данном случае при небольшом отрицательном угле атаки  $\alpha_0$ . При увеличении  $\alpha$  коэффициент  $c_y$  сначала возрастает по линейному закону, а затем рост коэффициента подъемной силы замедляется. При дальнейшем увеличении угла атаки  $c_y$  достигает максимума, после чего начинает резко уменьшаться. Угол атаки, при котором  $c_y$  достигает максимума, называется *критическим углом атаки*  $\alpha_{кр}$ . Для современных самолетов  $\alpha_{кр} = 15\text{--}20^\circ$ , а  $c_{y \text{ макс}} = 0,8\text{--}1,2$ . Уменьшение коэффициента подъемной силы при  $\alpha > \alpha_{кр}$  объясняется тем, что на больших углах атаки происходит срыв потока с поверхности крыла и сильное вихреобразование.

*Это интересно:*

В качестве иллюстрации к сказанному выше попробуйте сделать такой опыт. Возьмите лист бумаги и пронесите его несколько раз по комнате перед собой с разными углами атаки. При малых положительных углах атаки вы будете ощущать определенную нагрузку на свои пальцы. При увеличении угла атаки и той же скорости движения лист будет вам нести все легче и легче, а при еще большем увеличении  $\alpha$  свободный конец листа бумаги начнет опрокидываться на вас. Похожая картина наблюдается и при обтекании самолета потоком воздуха. Отсюда можно сделать вывод, что ни при каких обстоятельствах, никогда нельзя «очень сильно задирать нос» – опрокинешься.

Зависимость коэффициента лобового сопротивления ( $c_x$ ) от угла атаки также представлена на рис. 1.5. Из этого графика видно, что ни при каких углах атаки коэффициент  $c_x$  не равен нулю. Минимальное значение коэффициента лобового сопротивления наблюдается на угле атаки, близком к углу атаки нулевой подъемной силы.

Универсальной характеристикой, часто применяемой на практике, является зависимость коэффициентов  $c_y$  и  $c_x$  от угла атаки. Эта зависимость, представленная графически, получила название *поляры крыла самолета* (рис. 1.6). Каждой точке на кривой соответствуют значения  $c_y$  и  $c_x$  при определенном угле атаки.

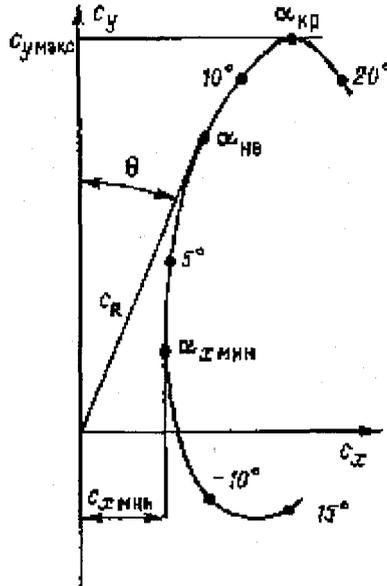


Рис. 1.6. Поляра крыла самолета.

Рассмотрим наиболее характерные точки поляры крыла.

Угол атаки нулевой подъемной силы находится на пересечении поляры с горизонтальной осью. Для современных профилей крыла  $\alpha_0 = \pm 2^\circ$ .

Угол атаки, на котором  $c_x$  имеет наименьшее значение ( $c_{x \text{ мин}}$ ), можно определить, если к поляре провести касательную, параллельную вертикальной оси. Для современных профилей крыла  $\alpha_{c_{x \text{ мин}}} = 0-1^\circ$ .

Для определения *наивыгоднейшего угла атаки* ( $\alpha_{\text{нв}}$ ) надо провести касательную к поляре крыла из начала координат. Точка касания и будет соответствовать  $\alpha_{\text{нв}}$ . Для современных профилей крыла  $\alpha_{\text{нв}} = 6-8^\circ$ .

*Критический угол атаки* ( $\alpha_{\text{кр}}$ ) определяется проведением касательной к поляре, параллельной горизонтальной оси.

Похожая картина наблюдается и при возникновении подъемной силы у вертолета (рис. 1.7). Каждая лопасть несущего винта вертолета при своем вращении создает, как и крыло самолета, подъемную силу  $R$ . Вертикальная составляющая этой силы  $Y$  удерживает вертолет в воздухе, а горизонтальная  $X$  обеспечивает вертолету горизонтальное перемещение.

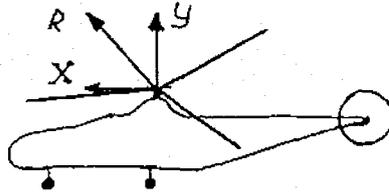


Рис. 1.7. Возникновение подъемной силы у вертолета.

*Это интересно:*

Причины возникновения подъемной силы у самолета и вертолета, о которых вы только что прочитали, в принципе описаны правильно. Однако сами процессы обтекания происходят значительно сложнее. Это касается всех видов воздушных судов. Можно много говорить об индуктивных сопротивлениях при обтекании, о различных вращательных и кренящих моментах, возникающих при работе несущего винта вертолета, но, не в обиду авиационным специалистам, назовем все это «тонкостями» при изучении данных проблем специалистами-метеорологами. Надеемся, что основы процессов вами поняты, а изучение «тонкостей» давайте оставим авиационным специалистам.

### 1.3. Понятие о сжимаемости воздуха

В аэродинамике воздух рассматривают как сплошную среду, и поэтому, говоря о его сжимаемости, подразумевают, что частицы воздуха изменяют свой объем при изменении давления, т.е. изменяют плотность. *Сжимаемостью воздуха* называется изменение его плотности ( $\Delta\rho$ ), происходящее при изменении давления ( $\Delta p$ ). Следовательно, мера сжимаемости равна  $\Delta\rho/\Delta p$ . Последнее соотношение сравнительно просто определить. Запишем уравнение состояния до сжатия

$$p = \rho RT \quad (1.9)$$

и после сжатия

$$p + \Delta p = (\rho + \Delta\rho)RT. \quad (1.10)$$

Теперь вычтем из последнего выражения предыдущее и определим меру сжимаемости. Тогда получим

$$\Delta p = \Delta\rho RT \text{ или } \frac{\Delta p}{\Delta\rho} = \frac{1}{RT}. \quad (1.11)$$

Зависимость (1.11) характеризует сжимаемость воздуха. Это равенство было бы справедливо в том случае, если при увеличении давления температура воздуха оставалась бы неизменной, т.е. при изотермическом процессе. При движении воздуха, обтекающего самолет, процессы сжатия и расширения частиц настолько быстротечны, что теплообмен между ними практически отсутствует. Такой процесс называется *адиабатическим* и характеризуется повышением температуры при сжатии и ее понижением при расширении. Эти изменения температуры препятствуют изменению плотности воздуха.

Для воздуха сжимаемость при адиабатическом процессе меньше, чем при изотермическом, в 1,4 раза ( $\chi = c_p/c_v$ ), т.е.

$$\frac{\Delta p}{\Delta p} = \frac{1}{\chi RT} = \frac{1}{1,4 \cdot 287T} = \frac{1}{400T}. \quad (1.12)$$

Отсюда видно, что сжимаемость воздуха зависит только от его температуры: чем выше температура воздуха, тем меньше его сжимаемость.

Критерием сжимаемости воздуха можно считать *скорость звука*, так как под скоростью звука понимают скорость распространения в пространстве малых изменений давления и плотности.

Зависимость скорости звука ( $a$ ) от изменения давления и плотности определяется формулой

$$a^2 = \Delta p / \Delta \rho. \quad (1.13)$$

Подставив в последнее выражение значение  $\Delta p / \Delta \rho$  из (1.12), получим формулу для определения скорости звука в воздухе

$$a^2 = 400T, \quad a = 20\sqrt{T}. \quad (1.14)$$

Таким образом, скорость звука – величина, обратная сжимаемости. Чем больше скорость звука, тем меньше сжимаемость, и наоборот. При более высокой температуре воздух обладает большей упругостью и поэтому труднее сжимается.

Сжимаемость воздуха зависит не только от скорости звука (характеристики среды), но и от скорости полета. Увеличение скорости полета приводит к увеличению сжимаемости воздуха. Следовательно, сжимаемость прямо пропорциональна истинной скорости полета  $V$  и обратно пропорциональна скорости звука, т.е. характеризуется отношением  $V/a$ . Это отношение называется *числом Маха*, или *числом М*:

$$M = \frac{V}{a}. \quad (1.15)$$

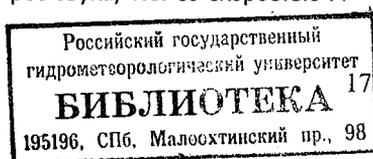
Число М является мерой сжимаемости воздуха. При малых числах М относительные изменения плотности незначительны, следовательно, воздух можно считать несжимаемым и рассматривать как несжимаемую жидкость. В зависимости от полетного числа М различают следующие виды воздушных течений:

несжимаемое	$0 < M < 0,5$ ,
сжимаемое	$0,5 < M < 0,8$ ,
околозвуковое	$0,8 < M < 1,2$ ,
сверхзвуковое	$1,2 < M < 5,0$ ,
гиперзвуковое	$M > 5,0$ .

В принципе, каждый вид течений подчиняется своим аэродинамическим законам и имеет свои особенности. Однако в данном учебнике мы на этом подробно останавливаться не будем.

*Это интересно:*

Современная авиация к началу XXI века освоила на практике четыре из пяти разделов аэродинамики. Современные самолеты гражданской авиации уже летают со скоростями, равными  $M = 2,0$ , а самолеты военной авиации покорили рубеж «3М». Но это не предел. В настоящее время в России (совместно с США) и в Японии разработаны проекты самолетов, которые будут летать в шесть раз быстрее звука, т.е. со скоростью  $M = 6,0$ . И такие самолеты обязательно построят!



#### 1.4. Обтекание тел при различных скоростях полета

Из физики известно, что слабые возмущения (небольшие изменения давления и плотности) распространяются в воздухе симметрично во все стороны в виде звуковых сферических волн, т.е. со скоростью звука. В отдельных случаях требуется установить, как распространяется звуковое возмущение в атмосфере относительно источника этих возмущений – самолета. Рассмотрим четыре возможных случая обтекания.

1. *Скорость обтекания намного меньше скорости звука ( $V \ll a$ ).* Так как движущийся самолет сам является источником звука, то его движение порождает волновые возмущения, распространяющиеся со скоростью звука. Частицы воздуха, находящиеся перед телом, еще до подхода тела начинают взаимодействовать с подошедшей звуковой волной. В результате такого взаимодействия воздушная среда оказывается как бы «подготовленной» к обтеканию. Воздух плавно, без каких-либо особенностей обтекает предмет (самолет). Продвижение самолета вперед происходит при сравнительно небольшом сопротивлении среды.

*Это интересно:*

Даже преподаватель, когда ходит около кафедры и говорит что-то, создает звуковые волны, которые доходят до студентов со скоростью звука. Очень хорошо, что преподаватель ходит со значительно меньшей скоростью, чем скорость «а», и поэтому до всех в аудитории доносится обычная человеческая речь.

А вот, дорогой читатель, интересная для вас задачка. Профессор в петербургском университете читает лекцию в аудитории, длина которой около 20 м. Студент сидит на «галерке» на расстоянии 17 м от преподавателя. Перед профессором стоит микрофон, и его лекция транслируется в Москву, в МГУ. Студенты МГУ сидят с наушниками и слушают ту же лекцию, что и студенты в Петербурге. Вопрос: *Кто раньше услышит лекцию профессора: студенты МГУ или студент в Петербурге, сидящий на «галерке» в той же аудитории, где читается лекция?*

Ответ: Если вспомнить, чему равна скорость звука (340 м/с) и скорость распространения радиоволн (300 000 км/с), то окажется, что студенты МГУ услышат эту лекцию на мгновение раньше, чем студент в Петербурге.

2. *Скорость обтекания меньше скорости звука, но близка к ней ( $V < a$ ).* При определенной скорости полета, меньшей скорости звука, наибольшая из местных скоростей обтекания становится равной скорости звука. Эта скорость полета называется *критической скоростью*  $V_{кр}$ , а соответствующее ей число  $M$  – критическим числом  $M$  ( $M_{кр}$ ):

$$M_{кр} = \frac{V_{кр}}{a} < 1. \quad (1.16)$$

Величина  $M_{кр}$  зависит от того, насколько наибольшая местная скорость обтекания крыла превышает скорость полета. Если полетное число  $M$  больше критического, то наступает режим смешанного обтекания. Это значит, что наряду с дозвуковыми и звуковыми имеются и сверхзвуковые местные скорости обтекания. Следовательно, на верхней поверхности профиля крыла появляется зона местных сверхзвуковых скоростей и больших разрежений (рис. 1.8).

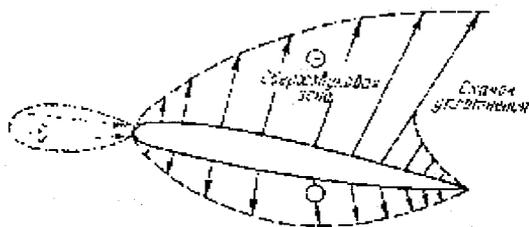


Рис. 1.8. Распределение избыточного давления при смешанном обтекании.

Однако, сойдя с профиля крыла, поток должен иметь ту же скорость и то же давление, что и за профилем крыла, т.е. должен затормозиться. Сильно разреженный воздух из сверхзвуковой зоны «врывается» в область повышенного давления невозмущенного потока за крылом самолета и резко тормозится. В результате возникает *местный скачок уплотнения*, замыкающий сверхзвуковую зону (см. рис. 1.8).

Если скорость полета незначительно превышает критическую, то местный скачок уплотнения имеет малую интенсивность, т.е. небольшую разность давлений до и после скачка, и располагается близко к лобовой части крыла. По мере увеличения скорости полета сверхзвуковая зона на верхней поверхности крыла расширяется. Аналогичная зона может появиться и на нижней поверхности. Скачки уплотнения «двигаются» назад, а их интенсивность увеличивается (рис. 1.9).

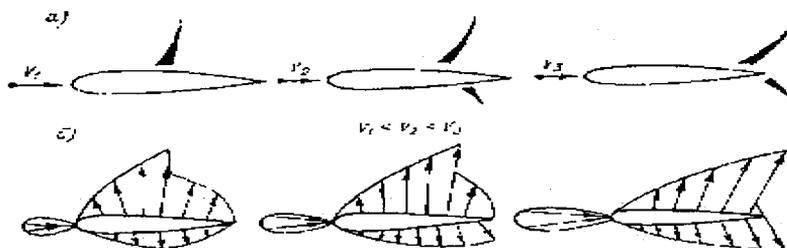


Рис. 1.9. Изменение характера распределения давления при увеличении скорости: а – перемещение скачка уплотнения, б – диаграммы распределения давлений.

Таким образом, обтекание крыла при скорости полета, близкой к скорости звука, характерно возникновением местных сверхзвуковых зон и скачков уплотнения. На участках, занятых сверхзвуковой зоной, появляется дополнительное разрежение. На скачке уплотнения скорость потока резко (*скачком*) уменьшается, а давление также резко (*скачком*) увеличивается. Резкое уменьшение скорости течения и увеличение давления обуславливают сжатие частиц воздуха, т.е. увеличение его плотности. Образно говоря, на скачке уплотнения происходит «газовый удар». Для воздуха при нормальных условиях толщина скачка уплотнения очень мала (примерно  $10^{-5}$  мм), поэтому давление на частицу воздуха, проходящего через скачок, меняется быстро.

Добавочное разрежение, появляющееся на участках, занятых зоной местных сверхзвуковых скоростей, и его отсутствие за скачком уплотнения приводит к перераспределению давления по поверхности крыла. Это, в свою очередь,

обуславливает возникновение дополнительного сопротивления среды (воздуха) в полете.

3. *Скорость обтекания равна скорости звука ( $V = a$ ).* В этом случае тело перемещается с такой же скоростью, как и создаваемые им возмущения (рис. 1.10).

Звуковые волны, создаваемые телом в разные моменты времени, накладываются одна на другую, в результате чего перед телом возникает плоская волна возмущений. Воздушный поток разделен фронтом этой плоской волны на две части: перед фронтом поток не возмущен, за фронтом – возмущен. Тело и волна имеют общую точку касания, а фронт волны часто называют *прямым скачком уплотнения*.

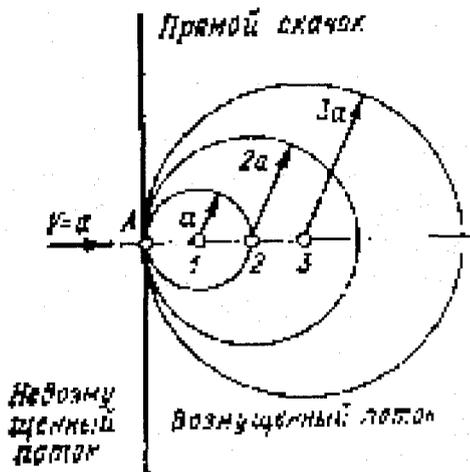


Рис. 1.10. Прямой скачок уплотнения.

Таким образом, при скорости обтекания, равной скорости звука, тело всегда находится в области прямого скачка уплотнения, т.е. самолет летит в области повышенного давления. Это приводит к еще большему, чем во втором случае, сопротивлению среды (воздуха) в полете. При скорости полета, равной скорости звука, достигает максимума коэффициент лобового сопротивления  $c_x$ . При сверхзвуковых скоростях полета этот коэффициент постепенно уменьшается, но все равно остается больше значений, характерных для докритических скоростей. Поэтому ни гражданские, ни военные самолеты не летают со скоростью, равной скорости звука. Они летают или медленнее, или быстрее.

4. *Скорость обтекания больше скорости звука ( $V > a$ ).* Если скорость движения тела превышает скорость звука, то источник возмущений (тело) будет обгонять волны вызванных им возмущений. Действительно, если в данный момент времени тело находится в точке *A* (рис. 1.11), то секунду назад оно было в точке *1*. За это время волна возмущения прошла путь, равный *a*, а тело – путь, равный *V*.

Две секунды тому назад тело было в точке *2*. За это время волна прошла путь в  $2a$ , а тело – путь в  $2V$ . Аналогично три секунды тому назад тело было в точке *3*, волна за это время прошла путь в  $3a$ , а тело – путь в  $3V$ .

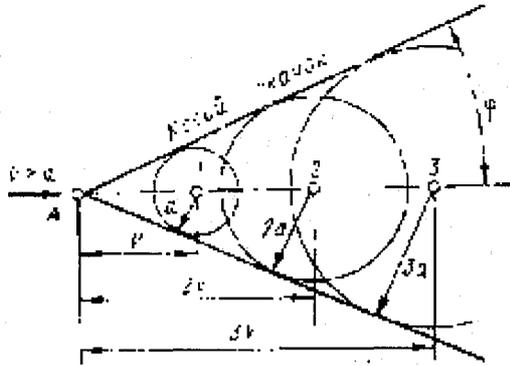


Рис. 1.11. Косой скачок уплотнения.

Таким образом, оказывается, что все волновые возмущения, которые создаются телом (самолетом), летящим быстрее скорости звука, находятся внутри некоторого конуса, вершиной которого является самолет. Этот конус называют *конусом слабых возмущений*. Границей возмущений будет фронт конической звуковой волны, которую называют *косым скачком уплотнения*.

Из рис. 1.11 видно, что угол наклона конической волны зависит от числа  $M$ :

$$\sin \varphi = \frac{a}{V} = \frac{1}{V/a} = \frac{1}{M}. \quad (1.17)$$

Чем больше число  $M$ , тем зона возмущений уже.

Особенностью движения воздуха со сверхзвуковой скоростью является образование скачков уплотнения – поверхностей, на которых резко возрастает давление и плотность воздуха. Если поверхность скачка уплотнения перпендикулярна направлению набегающего потока, то такой скачок называется *прямым*, а если эта поверхность наклонена – то *косым*. И прямой, и косой скачки уплотнения распространяются во все стороны под действием ветра и температуры, которая изменяет скорость звука, а следовательно, и скорость движения волны. Эти волны несколько деформируются, постепенно ослабевают, но всегда доходят до земной поверхности.

В тех случаях, когда в ограниченной части воздушного пространства давление и плотность получают конечные приращения, как это имеет место в скачках уплотнения, возникает так называемая *ударная волна*.

Причины возникновения ударных волн в атмосфере могут быть самыми разнообразными: раскаты (удары) грома, различные взрывы, полет самолета со сверхзвуковой скоростью и т.д.

В отличие от звуковой, в ударной волне наблюдается *разрыв*, т.е. скачкообразные изменения параметров состояния воздуха, а сила разности давлений за волной и перед ней вызывает перемещение воздушных масс. Это перемещение начинается со скоростью  $V$ , а затем постепенно перерождается в обычную звуковую волну. Поэтому на некотором расстоянии от источника ударной волны мы отчетливо слышим «хлопок», но не ощущаем ни перепада давлений, ни движения воздуха. Однако для обеспечения безопасности людей на земле летчикам во время полета *запрещается* переходить на сверхзвуковую скорость полета, создавая тем самым ударные волны, на высотах ниже 10 000 м.

*Это интересно:*

Ударная волна, доходя до земли, далеко не всегда оказывается столь безобидной и воспринимается нами только как «хлопок». Если самолет летит на высоте 5000 м со скоростью, равной 3М, то избыточное давление на фронте ударной волны ( $\Delta p$ ) у земли в этом случае составит  $15 \text{ кг/см}^2$ . При таком избыточном давлении из окон вылетают стекла, легкие постройки и деревянные дома могут просто развалиться, а люди оказываются контуженными и на некоторое время теряют слух. Если же на такой скорости самолет пролетит на высоте 10 000 м, то избыточное давление на фронте ударной волны у земли уменьшится до  $6 \text{ кг/см}^2$  и будет восприниматься окружающими как близкий взрыв.

Как указывалось выше, на распространение ударной волны большое влияние оказывает физическое состояние атмосферы. Это, в первую очередь, относится к вертикальному распределению температуры и ветра. В меньшей степени на изменение скорости ударной волны влияет влажность воздуха, наличие облаков и осадков.

Фронт ударной волны, каким он представлен на рис. 1.11, дошел бы до земной поверхности только в изотропной атмосфере. В реальной атмосфере он искривляется в зависимости от распределения температуры и ветра с высотой.

Так как в тропосфере температура воздуха с высотой понижается, то с увеличением высоты уменьшается скорость распространения волны. Фронт волны из прямолинейного становится вогнутым. К такому же искривлению фронта приводит и усиливающийся с высотой встречный ветер или ослабевающий попутный ветер.

Совершенно очевидно, что в атмосфере на скорость распространения ударной волны распределение температуры и ветра действует одновременно. Следует также иметь в виду, что инверсии температуры воздуха в тропосфере ослабляют энергию волны, а атмосферная турбулентность обуславливает сложный характер фронта ударной волны за счет изменения положения самолета в пространстве при интенсивной турбулентности. Последнее обстоятельство может вызвать резкое увеличение давления (скачок) в некоторых точках земной поверхности при прохождении фронта волны.

*Уважаемый читатель!*

*В принципе, еще очень долго можно говорить о законах аэродинамики, об аэродинамике сверхзвуковых скоростей, аэродинамике вертолетов и т.д. Однако с самого начала мы договорились о том, что все вопросы аэродинамики будем рассматривать только применительно к задачам авиационной метеорологической службы. Поэтому более детального изложения этих вопросов в учебнике не будет. Если хотите обо всем узнать больше, то подробно все изложено в многочисленных учебниках по аэродинамике. На наш взгляд, на сегодня лучшим из них является учебник Г.С. Аронина Практическая аэродинамика (М.: Воениздат, 1962).*

## Глава 2

# ОСНОВЫ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

### 2.1. Основные элементы конструкции самолетов и вертолетов

Из всех видов летательных аппаратов во всем мире получили наибольшее распространение самолеты и вертолеты. Требования, предъявляемые к самолетам и вертолетам гражданской авиации, в нашей стране определяются Нормами летной годности гражданских самолетов и вертолетов Российской Федерации.

И самолеты, и вертолеты должны иметь заданные летные характеристики, такие, как скорость, дальность и продолжительность полета, максимальная высота полета, хорошую устойчивость и управляемость при обеспечении безопасности полета. Как транспортное средство самолеты и вертолеты должны иметь хорошие экономические показатели, а как средство перевозки пассажиров – обеспечивать последним достаточный комфорт в полете.

Улучшение экономических показателей самолета или вертолета и повышение комфорта для пассажиров – требования противоречивые, так как улучшение одних характеристик влечет за собой ухудшение других. Аналогичных примеров можно привести множество. Например, увеличить дальность полета воздушного судна (ВС) можно только за счет увеличения на его борту запаса топлива, вследствие чего уменьшается полезная перевозимая нагрузка.

Поэтому воздушные суда проектируют для выполнения определенных задач. Большое влияние на летные характеристики ВС оказывает их так называемая компоновка, под которой понимается оптимальный выбор внешних форм и отдельных частей ВС и их взаимного расположения.

Несмотря на принципиальное отличие самолетов от вертолетов, в их конструкции можно выделить одни и те же основные элементы: *фюзеляж, крыло (у вертолетов – несущий винт), шасси, силовая установка и оперение (только у самолетов)*.

Рассмотрим назначение основных элементов конструкции воздушных судов.

**Фюзеляж.** Фюзеляж (корпус) самолета и вертолета служит для размещения экипажа, пассажиров, груза и оборудования. Для уменьшения лобового сопротивления размеры фюзеляжа не должны быть большими, а форма фюзеляжа должна быть обтекаемой. Поверхность фюзеляжа делается гладкой. Форма поперечного сечения может быть круглой, овальной или прямоугольной с закругленными углами. Так, например, самолет Ил-86 имеет круглый фюзеляж диаметром 6,08 м и длиной 59,54 м. Застекленная часть фюзеляжа, обеспечивающая обзор экипажу, называется *фонарем*. Входные двери самолетов чаще всего располагают на боковой поверхности фюзеляжа, а на некоторых типах самолетов – в его нижней части. Фюзеляж самолета часто бывает полностью герметичен, так как необходимо обеспечить жизнедеятельность экипажа и пассажиров на больших высотах.

К фюзеляжу самолетов крепятся крылья, оперение, шасси, иногда силовая установка. Очевидно, что фюзеляж самолета несет большую нагрузку. Поэтому требования, предъявляемые к фюзеляжам самолетов, сводятся к прочности и жесткости конструкции при минимальной массе, минимальному аэродинами-

ческому сопротивлению, возможности удобного размещения экипажа, пассажиров, груза и оборудования, а также удобству эксплуатации и ремонта.

Фюзеляж вертолета, как и фюзеляж самолета, предназначен для размещения в нем экипажа, пассажиров, оборудования и груза. К фюзеляжу вертолета крепятся шасси, рамы двигателей и другие агрегаты. Требования, предъявляемые к фюзеляжам вертолетов, аналогичны требованиям, предъявляемым к фюзеляжам самолетов.

Крыло. Крыло создает подъемную силу, необходимую для полета, обеспечивает поперечную устойчивость самолета и часто используется для размещения силовой установки, топливных баков, шасси, оборудования и т.д. От того, насколько хорошо спроектировано крыло, зависят летные характеристики самолета.

К крылу самолета предъявляется много различных требований. Основными из них являются следующие: крыло должно обладать минимальным лобовым сопротивлением при полете с максимальной скоростью; конструкция крыла должна соответствовать требованиям существующих норм прочности и обеспечивать полную безопасность полета; крыло должно быть простым в изготовлении, дешевым и удобным в эксплуатации.

Конструкцию крыла образуют каркас и обшивка. Каркас представляет собой систему балок, а обшивка выполняется из листов алюминиевого сплава. На крыло устанавливают рули крена (элероны) и элементы механизации крыла (щитки, закрылки, предкрылки и т.д.), которые служат для увеличения подъемной силы крыла на этапах взлета и посадки самолета.

Несущий винт. Несущий винт вертолета заменяет ему не только крыло, но и тянущий винт (тягу реактивного двигателя). В зависимости от наклона тяги несущего винта вертолет может двигаться вперед, назад, в стороны, подниматься и снижаться под различными углами к горизонту, неподвижно висеть в воздухе, а также поворачиваться вокруг вертикальной оси. Некоторым мастерам вертолетного спорта покорилась даже такая «чисто самолетная» фигура высшего пилотажа, как петля Нестерова, или «мертвая петля», как ее чаще называют.

Несущий винт вертолета обладает еще одним важным свойством. В случае отказа двигателя в полете он может создавать подъемную силу, вращаясь под действием набегающего воздушного потока. Самовращение несущего винта (авторотация) позволяет вертолету совершать планирующий (или парашютный) спуск и посадку при неработающем двигателе.

Конструкцию несущего винта образуют лопасти и детали крепления винта к валу двигателя. Количество лопастей винта может быть различным (от двух до восьми).

Шасси. Шасси предназначено для передвижения ВС по аэродрому. В зависимости от состояния аэродромов шасси оборудуется колесами, лыжами, поплавками или даже гусеницами. Шасси вертолета может быть выполнено в виде ферм или балок. У большинства современных самолетов после взлета шасси убирается в фюзеляж или крыло. На нескоростных самолетах и вертолетах шасси, как правило, не убирается, однако в последнее время в связи с возрастанием скоростей полета вертолетов у них тоже стали устанавливать убирающееся-

ся шасси. Воздушные суда с убирающимся шасси имеют меньшее лобовое сопротивление, но тяжелее и сложнее по конструкции.

Силовая установка. Силовая установка предназначена для создания необходимой в полете тяги. У вертолетов силовая установка, помимо горизонтальной тяги, создает еще и подъемную силу.

К авиационной силовой установке предъявляется ряд требований, основными из которых являются: обеспечение летных характеристик ВС, надежность в работе, живучесть (способность функционировать при наличии повреждений), быстрый и надежный запуск, безопасность в пожарном отношении, простота в обслуживании и т.д.

Силовая установка самолета и вертолета включает в себя авиационный двигатель, а также ряд систем и устройств, обеспечивающих его работу и изменение тяги.

Оперение. Оперение обеспечивает самолету устойчивость, управляемость и балансировку. Обычно оперение размещается в хвостовой части фюзеляжа. Оно состоит из неподвижных и подвижных аэродинамических поверхностей. Неподвижные поверхности служат для создания равновесия (балансировки) и устойчивости. При отклонении подвижных поверхностей возникают аэродинамические силы и моменты, влияющие на равновесие и управление полетом.

Продольная балансировка, устойчивость и управляемость достигаются горизонтальным оперением, а путевая балансировка, устойчивость и управляемость обеспечиваются вертикальным оперением. Передняя часть горизонтального оперения, несущая руль высоты, называется стабилизатором, а вертикального оперения, несущего руль направления, – килем (рис. 2.1).

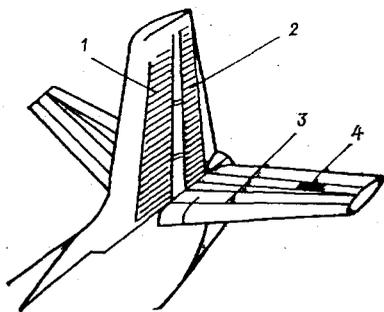


Рис. 2.1. Общий вид оперения самолета:  
1 – киль, 2 – руль направления, 3 – стабилизатор, 4 – руль высоты.

Сходство внешних форм оперения и крыла, а также сходство нагрузок на эти поверхности самолета приводят к тому, что назначение элементов оперения и крыла оказывается сходным. Поэтому конструкция оперения мало чем отличается от конструкции крыла.

Основные схемы самолетов и вертолетов мы рассмотрим в следующих параграфах этой главы.

## 2.2. Основные схемы самолетов

Все самолеты можно разделить на отдельные группы в зависимости от ряда конструктивных признаков. Основными такими признаками являются: чис-

ло и расположение крыльев, тип фюзеляжа, тип и расположение оперения, тип шасси, число, тип и расположение двигателей.

По числу крыльев самолеты подразделяют на *бипланы* и *монопланы*.

Биплан – это самолет с двумя крыльями, расположенными одно над другим (за это их иногда называют «этажеркой»). В гражданской авиации в настоящее время эксплуатируется только один тип такого самолета – это биплан Ан-2. Несмотря на ряд преимуществ перед другими типами самолетов, биплан не получил широкого распространения из-за большого лобового сопротивления.

Моноплан представляет собой самолет с одним крылом. Такая схема самолетов в настоящее время является основной. Схема моноплана позволяет уменьшить лобовое сопротивление самолета, установить двигатель на крыле, а само крыло использовать как топливный бак.

По расположению крыла относительно фюзеляжа монопланы подразделяются на *низкопланы*, *высокопланы* и *среднепланы* (рис.2.2). Каждая конструкция имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими схемами.

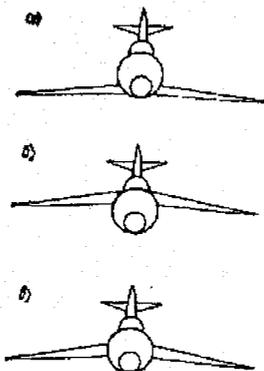


Рис. 2.2. Расположение крыла относительно фюзеляжа:  
а – низкоплан, б – высокоплан, в – среднеплан.

По типу фюзеляжа самолеты подразделяют на *однофюзеляжные*, *двухбалочные* и *самолеты типа «летающее крыло»*.

Основная масса самолетов в гражданской авиации – однофюзеляжные. Фюзеляжи, которые не несут хвостового оперения, называют гондолами. Оперение в этом случае поддерживается двумя балками, и самолеты такого типа называют двухбалочными. Самолет без фюзеляжа называют «летающим крылом». Фюзеляж в этом случае заменяет вмонтированная в крыло гондола или само крыло. В гражданской авиации России все самолеты однофюзеляжные.

По типу и расположению оперения самолеты делят на три основные группы: *с нормальным хвостовым расположением оперения*, *с передним расположением оперения (самолет типа «утка»)* и *бесхвостые самолеты типа «летающее крыло»*.

Все схемы расположения оперения применялись на практике, однако наибольшее распространение в гражданской авиации получил первый тип оперения.

По типу шасси самолеты делят на три группы: *сухопутные*, *гидросамолеты* и *амфибии*.

Шасси сухопутных самолетов бывают колесными, лыжными или гусеничными (очень редко). Обычно шасси таких самолетов выполняют трехопорными. При этом две опоры размещают под крыльями, а одну – в носовой части фюзеляжа. Для уменьшения лобового сопротивления шасси делают убирающимися. Иногда в конструкции шасси предусматривается замена колес лыжами.

У гидросамолетов имеются специальные лодки или поплавки для посадки на воду. Гидросамолеты, оборудованные убирающимися колесными шасси, которые могут совершать посадку как на воду, так и на сушу, называют амфибиями.

По числу двигателей самолеты разделяют на *одно-, двух-, трех-, четырех-, шести- и восьмидвигательные*, а по типу двигателей – на *поршневые, турбовинтовые и реактивные*.

Выбор места установки двигателей на самолете зависит от их числа. Они могут быть размещены на различных частях самолета: *на крыле, под крылом, в фюзеляже и на фюзеляже*. Основная задача заключается в том, что нужно так разместить двигатели на самолете, чтобы не нарушить нужные аэродинамические формы крыла и фюзеляжа. На многих самолетах двигатели находятся на хвостовой части фюзеляжа. Такое расположение двигателей имеет ряд преимуществ перед другими схемами их крепления на самолете. В частности, при размещении двигателей сзади значительно снижается уровень шума в пассажирском салоне. Вместе с тем, при таком расположении двигателей приходится усиливать хвостовую часть фюзеляжа, а следовательно, и утяжелять ее. Кроме того, удлиняются коммуникации управления двигателями из кабины самолета, что может привести к усложнению этой схемы исходя из требований безопасности полета.

### 2.3. Основные схемы вертолетов

В настоящее время во многих отраслях хозяйства вертолеты используют для решения различных задач. Вертолет может вертикально подниматься и опускаться, висеть в воздухе, для него не требуется больших, специально подготовленных посадочных площадок. Вертолет способен, не производя посадки, поднимать груз любых габаритов, подвешенный вне кабины, переносить его на значительное расстояние и опускать на требуемое место без посторонней помощи.

Классифицировать вертолеты можно по самым различным признакам, однако эта классификация должна отображать прежде всего принципиальные конструктивные отличия одного типа вертолета от другого. Поскольку обязательной частью конструкции вертолета любого типа является несущий винт, наиболее правильной считают классификацию вертолетов по способу компенсации (гашения) реактивного момента несущего винта.

Реактивный момент несущего винта стремится повернуть фюзеляж вертолета в сторону, противоположную вращению винта. У одновинтового вертолета этот момент компенсируется тягой хвостового (рулевого) винта, а реактивные моменты несущих винтов многовинтового вертолета уравниваются за счет вращения этих винтов в противоположные стороны и т.д.

По способу компенсации реактивного момента несущего винта различают шесть основных схем вертолетов (рис. 2.3): одновинтовая с хвостовым рулевым винтом, двухвинтовая соосная, двухвинтовая продольная, двухвинтовая

поперечная, многвинтовая, с реактивными двигателями (или соплами) на лопастях несущего винта.

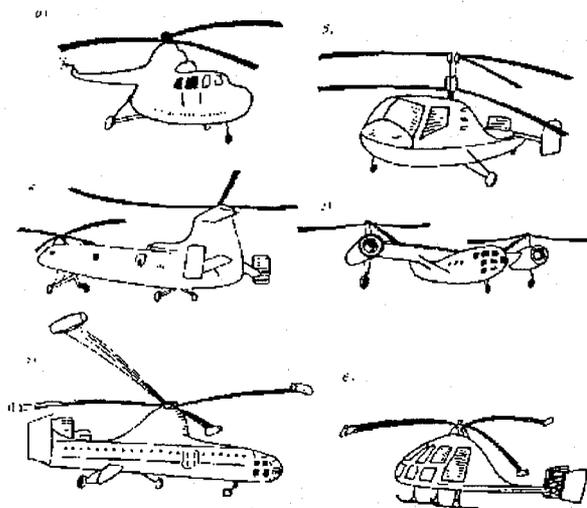


Рис. 2.3. Схемы вертолетов:

- a* — одновинтовая схема с рулевым винтом, *б* — соосная схема,  
*в* — двухвинтовая продольная схема, *г* — двухвинтовая поперечная схема,  
*д, е* — вертолеты с реактивными двигателями или соплами.

*Одновинтовая схема с рулевым винтом* (рис. 2.3, *a*) предложена Б.Н. Юрьевым еще в 1910 г. Она является наиболее распространенной как в России, так и в других странах. У этой схемы есть ряд достоинств: простота конструкции и системы управления, хорошие летные характеристики и сравнительно небольшая стоимость. Самыми распространенными вертолетами этой группы являются вертолеты конструкции М.Л. Миля: Ми-4, Ми-6, Ми-8 и др.

*Вертолеты соосной схемы* (рис. 2.3, *б*) имеют на одной оси два одинаковых несущих винта, которые расположены на одной оси друг над другом и которые с одинаковой скоростью вращаются в разные стороны. Такое расположение винтов и противоположное направление их вращения приводит к уравновешиванию их реактивных моментов. Эти вертолеты отличаются от других сравнительно небольшими габаритами и простотой в управлении. Самыми распространенными вертолетами этой группы являются вертолеты конструкции Н.И. Камова — известные у нас и за рубежом вертолеты «Ка».

*Двухвинтовая продольная схема вертолета* (рис. 2.3, *в*) предполагает установку двух несущих винтов на концах фюзеляжа по его продольной оси (тандем). Вертолеты данной схемы обладают хорошей продольной устойчивостью, а также значительной грузоподъемностью, имеют длинный фюзеляж, который удобно использовать для размещения пассажиров и груза. Несущие винты таких вертолетов вращаются с одинаковой частотой в разные стороны. По такой схеме в нашей стране получил достаточно широкое распространение только один тип вертолета — вертолет Як-24 конструкции А.С. Яковлева.

*Двухвинтовая поперечная схема вертолета* (рис. 2.3, *г*) имеет два несущих винта, разнесенных по бокам фюзеляжа. Для крепления несущих винтов приме-

няют специальные балки или крылья. Такие вертолеты чаще всего используются как воздушные подъемные краны с переноской грузов на внешней подвеске.

В России по такой схеме созданы и успешно эксплуатируются вертолет В-12 конструкции М.Л. Миля и вертолет К-22 «Винтокрыл» конструкции Н.И. Камова.

*Многовинтовая схема вертолета* планируется к разработке для перевозки грузов массой 70–100 т на расстояние 100–200 км. Пока существуют только эскизные проекты таких вертолетов. Для перевозки более тяжелых грузов предпочтение следует отдать воздушному судну, сочетающему в себе и вертолет, и дирижабль.

*Вертолеты с реактивными двигателями или соплами*, устанавливаемыми на лопастях несущего винта (рис. 2.3, *д*, *е*), интересны по своей технической «задумке», однако укрепить двигатель на конце лопасти несущего винта – не самая простая инженерная задача.

#### **2.4. Прочность и надежность самолетов и вертолетов**

Требования к прочности и надежности самолета сводятся к безотказной работе всех его частей в процессе эксплуатации. В полете и на земле все части самолета (узлы, агрегаты, приборы, трубопроводы и т.д.) испытывают нагрузку с различной частотой воздействия. Зная эти нагрузки можно выполнить расчет самолета на прочность. Под прочностью понимается способность конструкции самолета воспринимать, не разрушаясь, внешние нагрузки. Количественно прочность определяется силой, при воздействии которой разрушается хотя бы одна деталь сооружения.

Исходными данными для расчета разрушающих нагрузок на самолет и его отдельные системы служат нормы прочности, по которым и проведена классификация самолетов. Нагрузку рассчитывают с учетом назначения самолета, его полетной массы и максимальной скорости полета. По нормам прочности самолеты разделяют на три класса:

- 1) *класс А* – маневренные самолеты, на которых без ограничений можно выполнять все фигуры высшего пилотажа;
- 2) *класс Б* – ограниченно маневренные самолеты; на этих самолетах при выполнении фигур высшего пилотажа существуют ограничения по перегрузкам;
- 3) *класс В* – неманевренные самолеты; к ним относятся тяжелые самолеты (практически все самолеты гражданской авиации), на которых не разрешается выполнять фигуры высшего пилотажа.

Для расчета конструкции на прочность выбирают наибольшие нагрузки, которые могут возникнуть при эксплуатации. Конструкция самолета должна быть не только прочной, но и достаточно жесткой, т.е. способной противостоять деформациям от нагрузок.

Требования достаточной надежности, прочности и жесткости включают в себя:

- отсутствие разрушающих напряжений в элементах конструкции при действии расчетных нагрузок;

– отсутствие повреждений и разрушений в элементах конструкции самолета от явления усталости материала при действии повторных и динамических нагрузок;

– отсутствие остаточных деформаций, превышающих допустимые значения, при действии эксплуатационных нагрузок и температур;

– достаточную жесткость всей поверхности самолета.

Все перечисленные требования должны удовлетворяться при минимальной массе конструкции.

История развития авиации связана с непрерывной борьбой за снижение массы конструкции, так как масса воздушного судна существенно влияет на его технические характеристики

Аналогичные требования прочности и надежности предъявляются и к вертолетам.

*Это интересно:*

Во время Великой Отечественной войны борьба за снижение массы самолетов стимулировалась материально: за снижение массы самолета на один грамм выплачивалась премия в размере пяти рублей. По тем временам это было очень много. Так, на одном авиационном заводе в Новосибирске одному из рационализаторов удалось уменьшить массу самолета сразу на пять килограммов! На премию, которую этот человек получил, можно было купить три автомобиля. Правда, в то время автомобилей в свободной продаже не было.

## Глава 3

# ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

### 3.1. Горизонтальный полет самолета

Каждый вид движения самолета определяется величиной и направлением скорости. Движение самолета с постоянной по величине и направлению скоростью называется *установившимся*.

Из механики известно, что для прямолинейного движения необходимо равновесие сил в направлении, перпендикулярном к траектории движения, а для постоянства скорости – равновесие сил по траектории движения. Следовательно, для установившегося движения самолета равнодействующая внешних сил, действующих на него, должна быть равна нулю.

*Установившимся горизонтальным полетом* называется равномерное движение самолета по прямолинейной горизонтальной траектории. Схема сил, действующих на самолет в горизонтальном полете, показана на рис. 3.1.

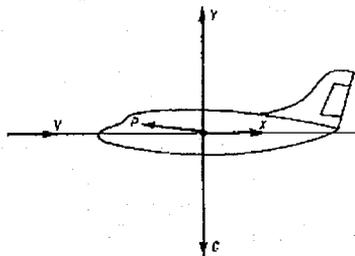


Рис. 3.1. Схема сил, действующих на самолет в горизонтальном полете.

На горизонтально летящий самолет действуют следующие силы:  $G$  – масса самолета,  $P$  – тяга двигателя,  $Y$  – подъемная сила и  $X$  – лобовое сопротивление.

Для нашего анализа можно считать, что все силы, действующие на самолет, приложены в одной точке – центре тяжести.

Тогда уравнения движения центра тяжести самолета можно записать в виде очень простой системы:

$$Y = G, \quad (3.1)$$

$$X = P. \quad (3.2)$$

Уравнение (3.1) дает условие прямолинейности движения самолета, а уравнение (3.2) – постоянства скорости.

В аэродинамике обычно интересуются минимальной скоростью, с которой можно выполнять полет на заданной высоте. Такая скорость называется *потребной скоростью горизонтального полета* ( $V_{\text{гп}}$ ). Если вспомнить формулу подъемной силы  $Y$ , то выражение (3.1) можно записать иначе:

$$Y = G = c_y S \frac{\rho V_{\text{гп}}^2}{2}. \quad (3.3)$$

Решая это равенство относительно ( $V_{\text{гп}}$ ), получим:

$$V_{\text{гп}} = \sqrt{\frac{2G}{c_y S \rho}}. \quad (3.4)$$

Из выражения (3.4) видно, что потребная скорость горизонтального полета зависит от угла атаки, высоты полета самолета и величины  $G/S$ , которую называют *удельной нагрузкой на крыло*.

Как видно из последней формулы,  $V_{\text{гп}}$  уменьшается при увеличении угла атаки и достигает минимума при  $\alpha = \alpha_{\text{кр}}$ . Однако полеты выполняются не на критических углах атаки, а на так называемых *допустимых углах атаки*, которые чуть меньше критических.

Разделив (3.1) на уравнение (3.2), получим

$$\frac{P}{G} = \frac{X}{Y} = \frac{1}{Y/X} = \frac{1}{K}. \quad (3.5)$$

Если обозначить тягу двигателя, необходимую для горизонтального полета (потребную тягу), как  $P_{\text{гп}}$ , то она будет равна

$$P_{\text{гп}} = \frac{G}{K}. \quad (3.6)$$

В отличие от потребной тяги максимально возможная тяга двигателя называется *располагаемой тягой* и обозначается  $P_{\text{расп}}$ .

Из выражения (3.6) видно, что тяга двигателя должна быть меньше массы самолета в  $K$  раз, где  $K$  – аэродинамическое качество самолета, о котором мы уже говорили [см. формулу (1.8)].

*Это интересно:*

Очень простая на вид формула (3.6) позволяет решать важные вопросы самолетостроения. Когда разрабатывается техническое задание на строительство, вернее еще на проектирование, самолета, то сначала параметры воздушного судна задаются в самом общем виде: указывается его грузоподъемность, скорость полета, дальность полета и максимальная высота полета. На первых порах этого бывает достаточно. Опытный авиаконструктор всегда может по этим данным, не вдаваясь в тонкости конструирования, примерно определить массу самолета ( $G$ ) и форму фюзеляжа, т.е. аэродинамическое качество ( $K$ ).

А вот далее, используя формулу (3.6), определяется необходимая для такого самолета тяга двигателей. Если нужные двигатели есть, то никаких проблем не возникает, а если нет – начинается «торговля», т.е. какие из заданных параметров технического задания на самолет можно изменить, чтобы использовать уже имеющиеся двигатели, или для нового самолета нужны и новые двигатели. Это тоже реальный подход к проблеме, но в этом случае проектирование самолета обойдется заказчику значительно дороже. А все решает простая формула – формула (3.6).

### 3.2. Набор высоты самолетом. Понятие о потолках

Подъем самолета является одним из видов движения для набора высоты. *Подъемом называется прямолинейное движение самолета вверх с постоянной скоростью*. Угол между траекторией движения самолета и горизонтальной плоскостью называется *углом подъема* и обозначается  $\theta$ .

На рис. 3.2 показана схема сил, действующих на самолет при подъеме.

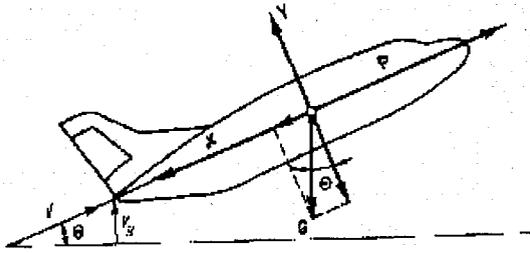


Рис. 3.2. Схема сил, действующих на самолет при подъеме.

Как и в первом случае (при горизонтальном полете), разложим все силы, действующие на самолет, по двум осям, одна из которых совпадает с продольной осью самолета, а другая – перпендикулярна ей. По законам механики при прямолинейном движении с постоянной скоростью должно быть равенство сил, действующих как по одной, так и по другой оси.

Следовательно, уравнения движения для центра тяжести самолета можно записать в следующем виде:

$$Y = G \cos \theta, \quad (3.7)$$

$$P = X + G \sin \theta. \quad (3.8)$$

Уравнения (3.7) и (3.8) представляют простейшую систему уравнений движения самолета при подъеме.

Для случая подъема самолета, как и при горизонтальном полете, принято, что угол между вектором силы тяги и вектором скорости равен нулю.

Из анализа уравнений (3.7) и (3.8) видно, что подъемная сила при подъеме меньше подъемной силы горизонтального полета, а тяга двигателей должна быть больше лобового сопротивления на величину  $G \sin \theta$ . Эту величину обозначают  $\Delta P$  и называют *избытком тяги*. Следовательно,

$$\Delta P = G \sin \theta. \quad (3.9)$$

Из рис. 3.2 видно, что  $\sin \theta = V_y / V$ , где  $V_y$  – вертикальная скорость подъема самолета. Подставив значение  $\sin \theta$  в выражение (3.9), определим  $V_y$ :

$$V_y = \frac{V \Delta P}{G}. \quad (3.10)$$

Так как с увеличением высоты избыток тяги уменьшается, то и уменьшается и вертикальная скорость. Чем больше вертикальная скорость, тем меньше времени требуется самолету для набора заданной высоты. Именно вертикальная скорость, а не угол подъема представляют наибольший интерес.

На практике под *скороподъемностью* понимают время, которое затрачивает экипаж самолета для набора заданной высоты. Для современных самолетов гражданской авиации вертикальная скорость составляет десятки метров в секунду.

*Это интересно:*

Естественно, что военные самолеты, особенно истребители, имеют значительно большую скороподъемность, чем самолеты гражданской авиации. Так, с 1977 г. «держится» абсолютный мировой рекорд скороподъемности, установленный на российском

самолете Е-266 (облегченный вариант истребителя МиГ-25). На этом самолете летчик-испытатель Александр Федотов поднялся на высоту 12 000 м за 58,6 с! Это значит, что скороподъемность этого самолета была более 200 м/с. Иными словами, каждый километр высоты самолет набирал всего за 5 с!

Как указывалось выше, с подъемом на высоту избыток тяги постепенно уменьшается и на определенной высоте становится равным нулю, а следовательно, и на этой же высоте вертикальная скорость полета станет равной нулю.

Высота полета, на которой  $V_y = 0$ , называется *теоретическим* (или *статическим*) *потолком самолета*.

На высоте теоретического потолка из-за отсутствия избытка тяги полет практически невозможен, так как нельзя устранить любые нарушения режима полета. Поэтому, кроме теоретического потолка, введено понятие *практического потолка самолета*. На этом потолке самолет имеет необходимый для безопасного полета избыток тяги. Считают, что практический потолок самолета – это такая высота, на которой максимальная вертикальная скорость подъема равна для реактивных самолетов 5 м/с, а для поршневых самолетов – 0,5 м/с. Для современных самолетов разница в высоте между теоретическим и практическим потолком не превышает 200–500 м.

*Это интересно:*

Помимо уже названных двух потолков самолета, в военной авиации говорят еще о двух потолках: *боевом потолке* – максимальной высоте, на которой самолет может выполнять горизонтальный полет с креном  $20^\circ$ , и *динамическом потолке* – максимальной высоте, на которую самолет может подняться, используя не только тягу двигателей, но и инерцию разгона. Боевой потолок, как правило, ниже практического на 500–1000 м, а динамический потолок выше практического на 15–20 тыс. м. Так, на том же самолете Е-266, у которого практический потолок около 20 000 м, установлен и мировой рекорд высоты, который равен 37 650 м.

### 3.3. Планирование самолета

Прямолинейное снижение самолета с постоянной скоростью называется *планированием*. Рассмотрим планирование самолета для случая, когда подъемная сила равна нулю, т.е.  $P = 0$ .

Схема сил, действующих на самолет при планировании, представлена на рис. 3.3.

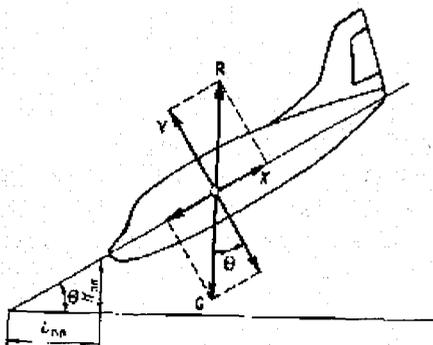


Рис. 3.3. Схема сил, действующих на самолет при планировании.

При  $P = 0$  уравнения движения центра тяжести самолета будут иметь вид:

$$Y = G \cos \theta, \quad (3.11)$$

$$X = G \sin \theta. \quad (3.12)$$

Первое уравнение этой системы характеризует условие прямолинейности движения, а второе – условие постоянства скорости по траектории.

Разделим первое уравнение системы (3.11) на второе (3.12). Тогда получим

$$\frac{Y}{X} = K = \frac{G \cos \theta}{G \sin \theta} = \operatorname{ctg} \theta = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta}. \quad (3.13)$$

Отсюда

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{1}{K}. \quad (3.14)$$

Следовательно, минимальный угол планирования будет при максимальном аэродинамическом качестве самолета  $K$ . Однако здесь, пожалуй, важнее другое. Из рис. 3.3 видно, что

$$\frac{L_{\text{пл}}}{H_{\text{пл}}} = \operatorname{ctg} \theta = K \quad \text{или} \quad L_{\text{пл}} = H_{\text{пл}} K. \quad (3.15)$$

Последнее уравнение для дальности планирования, выраженное через высоту планирования и аэродинамическое качество самолета, является очень важным. Все дело в том, что планирование самолета с нулевой тягой (тот случай, который мы рассматриваем) на практике возможно только в двух случаях: при исправных, но специально выключенных двигателях или при вынужденной остановке двигателей в полете, т.е. тогда, когда на самолете возникает аварийная ситуация.

В последнем случае командир экипажа обязан немедленно доложить диспетчеру об аварийной остановке двигателей. Первый вопрос диспетчера командиру экипажа: «Ваша высота?». Диспетчер спрашивает об этом не из любопытства. Получив ответ командира воздушного судна и, естественно, зная тип самолета (а следовательно, его  $K$ ), диспетчер на земле принимает решение, на какой аэродром в пределах досягаемости по дальности планирования можно направить этот самолет для посадки.

*Это интересно:*

Несмотря на существующую инструкцию, обязывающую командиров ВС немедленно докладывать о случившемся, они часто этого не делают. Каждый командир сначала осмотрится в кабине, попробует сам запустить двигатели и, может быть, не один раз, и только после того, как это не получится, доложит на «землю» о чрезвычайной ситуации. При этом происходит потеря времени в 1–2 минуты, небольшая потеря высоты, но как-то не очень поворачивается язык ругать за это экипаж и его командира, хотя по инструкции – следует.

#### 3.4. Этапы взлета и посадки самолетов

Наиболее ответственными участками полета любого воздушного судна являются взлет и посадка. Известный летчик М.М. Громов, современник В.П. Чкалова, однажды сказал, что *на любом самолете взлет всегда сложен, полет – приятен, посадка – опасна.*

Начальным участком полета является взлет. *Взлетом* называется ускоренное движение самолета от начала разбега до набора высоты 10 м. Взлет самолета состоит из следующих этапов (рис. 3.4): разбег, отрыв, разгон с подъемом.

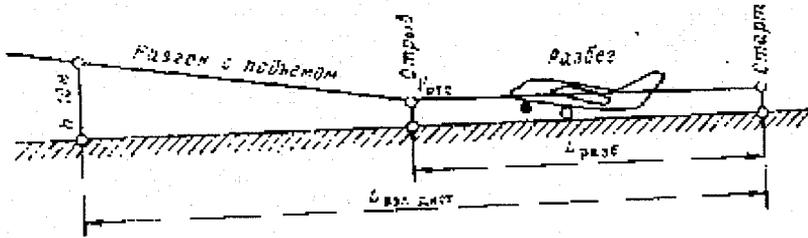


Рис. 3.4. Этапы взлета самолета.

Разбег самолета – это ускоренное движение его по земле, необходимое для набора скорости, при которой происходит безопасный отрыв. Минимальная скорость безопасного отрыва самолета от земли называется *скоростью отрыва* ( $V_{отр}$ ).

Разгон с подъемом есть ускоренный прямолинейный полет с малым углом подъема до высоты 10 м.

Расстояние от начала разбега до набора высоты 10 м называют *взлетной дистанцией*  $L_{взл. дист.}$ , а расстояние от начала разбега до отрыва – *длиной разбега* ( $L_{разб.}$ ). Длина разбега, естественно, определяет необходимую длину взлетно-посадочной полосы (ВПП). Основными характеристиками взлета являются длина разбега самолета и скорость его отрыва.

В момент отрыва самолета его подъемная сила становится равной его массе ( $Y = G$ ). Следовательно,

$$Y = G = c_{y_{отр}} S \rho \frac{V_{отр}^2}{2}. \quad (3.16)$$

Отсюда

$$V_{отр} = \sqrt{\frac{2G}{c_{y_{отр}} S \rho}}. \quad (3.17)$$

Из выражения (3.17) видно, что для уменьшения скорости отрыва необходимо до возможного предела увеличить  $c_{y_{отр}}$ . Это достигается использованием так называемой *механизации крыла*, которая и позволяет увеличить на взлете коэффициент подъемной силы.

Основные виды механизации крыла – *щитки, закрылки и предкрылки* (рис. 3.5).

*Щиток* представляет собой отклоняющуюся поверхность, которая в убранном положении примыкает к нижней задней поверхности крыла (рис. 3.5, а). При отклонении щитка вниз за ним создается область разрежения, а перед ним давление повышается. Вследствие перераспределения скоростей обтекания на верхней и нижней поверхностях крыла происходит увеличение  $c_y$ , что приводит к увеличению подъемной силы при той же скорости движения самолета.

*Закрылок* – отклоняющаяся часть задней кромки крыла (рис. 3.5, б). При отклонении закрылков изменяется профиль крыла, причем изменение профиля

происходит таким образом, что скорость обтекания поверхности крыла увеличивается сверху и уменьшается снизу и вследствие этого увеличивается  $c_y$ .

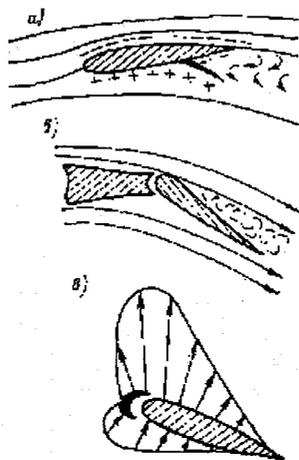


Рис. 3.5. Основные виды механизации крыла:  
а – щиток, б – закрылок, в – предкрылок.

*Предкрылок* представляет собой небольшое крыло, расположенное на некотором расстоянии от носка основного крыла (рис. 3.5, в). Между профилем предкрылка и контуром носка крыла воздушный поток разгоняется (щель сужается) и направляется вдоль верхней поверхности крыла. За счет этого скорость потока сверху крыла увеличивается и как следствие – увеличивается подъемная сила.

Все перечисленные виды механизации крыла в заметной мере увеличивают лобовое сопротивление. Поэтому механизация крыла делается подвижной и используется только на взлете и при посадке.

Существует еще много различных видов механизации крыла, однако в нашем курсе мы их рассматривать не будем.

Обычно на самолетах гражданской авиации элементы механизации крыла используют в комплексе, что позволяет уменьшить скорость отрыва примерно на 100 км/ч.

#### *Это интересно:*

Сидя в салоне самолета у окна (иллюминатора) на таком месте, откуда видно крыло, можно наблюдать достаточно необычную, на первый взгляд, картину. На взлете ее, как правило, не замечают. А вот перед посадкой, если посмотреть на крыло, то может стать страшно. Представьте себе такую картину: задняя часть крыла «поехала» куда-то назад и «загнулась» вниз, передняя часть крыла «уехала» вперед, на крыле во всю длину зияют огромные щели и дыры, и совершенно непонятно, почему при этих щелях и дырах в крыле самолет еще летит. Оказывается, что перед заходом на посадку командир воздушного судна для обеспечения безопасности посадки просто «выпустил» щитки, закрылки и предкрылки. Так что «дыр» в крыле самолета при заходе на посадку можно не бояться.

Завершающим этапом полета самолета является посадка. *Посадкой* называется замедленное движение самолета с высоты 15 м до полной остановки на земле. Посадку самолета можно разделить на пять этапов (рис. 3.6): *снижение, выравнивание, выдерживание, парашютирование и пробег.*

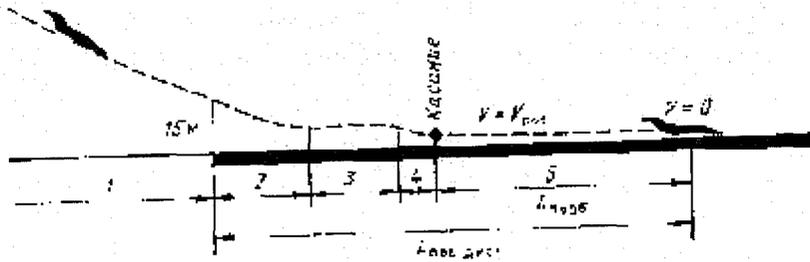


Рис. 3.6. Этапы посадки самолета.  
 1 – снижение, 2 – выравнивание, 3 – выдерживание,  
 4 – парашютирование, 5 – пробег.

Посадке предшествует снижение самолета с эшелона полета и заход на посадку. Снижение самолета с эшелона полета по маршруту начинается примерно за 200–250 км от аэродрома посадки. На высоте около 400 м самолет, продолжая снижаться, входит в глиссаду. Этот этап посадки называется *снижением по глиссаде* (глиссада – траектория снижения самолета в вертикальной плоскости на конечном этапе захода на посадку).

Обычно для самолетов гражданской авиации угол наклона глиссады к горизонтальной плоскости составляет  $2^{\circ}40' - 3^{\circ}00'$ . Такой диапазон углов установлен, исходя из условий оптимальных вертикальных скоростей снижения самолета, режимов работы двигателей и условий ухода на второй круг.

Высота 15 м над уровнем ВПП на глиссаде при посадке самолета считается концом этапа снижения. С этого момента начинается собственно посадка самолета. Следующий этап посадки – *выравнивание* (рис. 3.6). На этом этапе траектория полета переходит из наклонной в горизонтальную с постепенным уменьшением вертикальной скорости. Выравнивание заканчивается на высоте около 1 м. Его осуществляют путем увеличения угла атаки, что приводит к увеличению коэффициента подъемной силы  $c_y$  и уменьшению скорости полета. После окончания этапа выравнивания самолет должен иметь некоторый запас скорости для обеспечения устойчивости в полете.

За этапом выравнивания следует этап *выдерживания*, который необходим для дальнейшего уменьшения скорости полета. Это достигается постепенным увеличением угла атаки, что приводит, как и на этапе выравнивания, к увеличению коэффициента  $c_y$  и уменьшению скорости полета  $V$  при сохранении равенства  $Y = G$ . Далее, при движении самолета в процессе этапа выдерживания подъемная сила постепенно уменьшается и становится меньше массы самолета. Самолет начинает *парашютировать* и мягко касается ВПП.

Движение самолета по взлетной полосе после касания до полной остановки называется *пробегом* самолета. Пробег в самом начале выполняется на основных (двух) колесах (стойках) шасси, а затем происходит постепенное опускание носового колеса и торможение.

Основными характеристиками посадки самолета являются *длина пробега*, *посадочная дистанция* и *посадочная скорость*.

*Длина пробега самолета* – это расстояние, которое проходит самолет по ВПП от точки касания до полной остановки.

*Посадочная дистанция* – расстояние по горизонтали, которое проходит самолет при посадке с момента пролета высоты 15 м до полной остановки на ВПП.

*Посадочная скорость* ( $V_{\text{пос}}$ ) – это минимальная скорость безопасного приземления самолета. Значение посадочной скорости можно определить из равенства  $Y = G$  в конце этапа выдерживания. Если учесть влияние так называемой воздушной подушки между самолетом и землей, то посадочная скорость меньше скорости в конце выравнивания примерно на 5%. Следовательно,

$$V_{\text{пос}} = 0,95 \sqrt{\frac{2G}{c_{y\text{пос}} \rho}}. \quad (3.18)$$

Для современных самолетов посадочная скорость равна 200–250 км/ч. При такой скорости самолеты с большой посадочной массой имеют достаточно большую длину пробега. Для ее уменьшения используются мощные тормоза на колесах, воздушные тормоза (тормозные парашюты), реверс тяги (изменение направления тяги двигателей самолета на обратное) и другие средства торможения. Применение этих средств сокращает длину пробега самолета примерно в 2–2,5 раза. Кроме того, на современных самолетах для уменьшения длины пробега и посадочной дистанции на этапе посадки, как и на этапе взлета, используются средства механизации крыла. Известно, что при выпуске щитка (закрылка или предкрылка) увеличиваются коэффициенты  $c_{y\text{ макс}}$  и  $c_x$  самолета. При увеличении коэффициента  $c_{y\text{ макс}}$  уменьшается посадочная скорость, а при увеличении  $c_x$  увеличивается гашение скорости при пробеге.

Вопросы динамики полета самолета рассматривались для условий стандартной атмосферы, т.е. влияние отклонения параметров атмосферы на параметры полета самолетов не учитывалось. Этому влиянию будет посвящен следующий раздел данного учебника.

*Это интересно:*

Несколько мыслей по поводу различных тормозных устройств.

В 90-е годы на наших экранах шел фильм-катастрофа «Экипаж». Не вдаваясь в подробности его содержания, остановимся лишь на одном эпизоде, иллюстрирующем «мысли по поводу». В этом эпизоде самолет Ту-154 производит аварийную посадку. Фюзеляж самолета имеет очень большую трещину, и после команды командира экипажа «Переложить реверс тяги» у самолета в буквальном смысле слова отрывается хвост (ведь двигатели у Ту-154 расположены в хвостовой части, и фюзеляж с трещиной не выдержал увеличенных нагрузок). Отметим, что теоретически такое вполне могло произойти.

Еще одно тормозное устройство, имеющееся не на всех аэродромах, называется АТУ (автоматическое тормозное устройство). Оно состоит из нескольких автоматических приборов, которые устанавливают вдоль ВПП. Эти приборы фиксируют скорость пробега самолета на разных участках взлетно-посадочной полосы после его посадки. Если скорость пробега самолета оказывается больше заданной, то за торцом ВПП, перегораживая полосу, автоматическим поднимается очень крепкая капроновая сетка, в которую и попадает самолет. Самолет часто рвет эту сетку, но свое дело она делает – гасит скорость пробега самолета практически до нуля.

Пожалуй, самой трудной посадкой является посадка самолета на палубу авианосца. У этого корабля длина ВПП не более 300 м. Чтобы самолет при такой длине ВПП смог остановиться, поперек ВПП натянуты стальные тросы, которые в обычном положении «утоплены» в палубу. При посадке самолета

эти тросы чуть приподнимают над полосой, а самолет, заходящий на посадку, выпускает из хвостовой части специальный крюк или командир экипажа «выбрасывает кошку» (очень похожую на ту, с помощью которой из колодца достают упавшее в него ведро). С помощью этого крюка или «кошки» самолет и останавливается на такой короткой ВПП.

### 3.5. Режимы полета вертолетов

Материал о различных режимах полетов вертолетов в этом разделе будет изложен очень коротко.

Полет вертолета начинается с использования комплекса различных режимов движения: *руление по взлетной площадке, вертикальный подъем на высоту контрольного висения, горизонтальный разгон скорости в воздухе или на взлетной полосе, набор высоты по наклонной траектории.*

*Руление* (или буксировка) вертолета осуществляется для передвижения его на небольшое расстояние по аэродрому (например, со стоянки на старт или с места посадки на стоянку). Руление вертолетов разрешается только на ровной твердой поверхности. По запыленной или снежной поверхности (площадке) рулить рекомендуется таким образом, чтобы вихри пыли или снега оставались позади кабины.

*Взлет* представляет собой неустановившееся ускоренное движение вертолета от места старта до набора высоты стандартного препятствия (15 или 25 м).

*Режим висения* – наиболее характерный режим, при котором вертолет не перемещается относительно земли, а висит на определенной высоте. Этот режим выполняется при каждом взлете для проверки расчета центровки, исправности системы управления и других жизненно важных агрегатов и систем вертолета. Режим висения фиксирует вертолет на высоте менее 10 м (чаще всего на высоте около 3 м). На этой же высоте после опробования всех систем управления выполняется перемещение (полет) вертолета со скоростью не более 10 км/ч. Снижение и приземление вертолета с режима висения производится всегда строго вертикально, против ветра и с вертикальной скоростью 0,1–0,2 м/с.

*Взлет по-вертолетному* является основным способом взлета. В зависимости от размера взлетной площадки, конфигурации и высоты окружающих ее препятствий, температуры воздуха, скорости и направления ветра взлет может быть выполнен по различным траекториям. Самое главное: при таком взлете подъемная сила вертолета возникает только за счет работы несущего винта.

*Взлет по-самолетному* выполняется в том случае, если избыточная сила тяги несущего винта недостаточна для взлета по-вертолетному из-за перегрузки вертолета. При таком взлете для разбега вертолета нужна посадочная площадка длиной 80–100 м. После отрыва вертолет выдерживают на высоте около 0,5 м до выхода на скорость 50–60 км/ч, а затем продолжают разгон с плавным набором высоты.

*Горизонтальный разгон вертолета и набор высоты* – завершающие этапы любого способа взлета вертолета. Разгон вертолета производится по слабо наклонной траектории и заканчивается на высоте 30–50 м, а затем продолжается набор высоты до заданного эшелона полета.

*Горизонтальный полет вертолета* может происходить с любой скоростью – от нулевой до максимально возможной.

Помимо установившегося горизонтального полета различают горизонтальные прямолинейные маневры вертолета (разгон, торможение, вираж, восьмерка, змейка), выполняемые для изменения скорости или (и) направления при неизменной высоте полета, маневры в вертикальной плоскости (горки и пикирование), а также пространственные маневры (спираль, боевой разворот и т.д.). Перечисленные фигуры относятся к фигурам *простого пилотажа*. К фигурам *сложного пилотажа*, которые в последнее время стали выполнять на вертолетах со спортивными или рекламными целями, относится петля Нестерова, так называемая «бочка», и др.

Для выполнения *посадки* также используется комплекс неустановившихся режимов движения вертолета: снижение по наклонной траектории, вывод из планирования (выравнивание), горизонтальное торможение (выдерживание), зависание, вертикальное снижение, приземление, пробег и руление с посадочной площадки на стоянку.

Посадка вертолета может производиться *по-вертолетному* (практически без поступательного движения), *по-самолетному* (с поступательной скоростью) или *в режиме самовращения несущего винта*.

Посадка по-вертолетному – это посадка вертолета в обычных условиях. По-самолетному вертолет садится в тех случаях, когда по каким-либо причинам нельзя «зависнуть» над местом посадки, а на режиме самовращения несущего винта посадка осуществляется в аварийных ситуациях.

## Глава 4

# КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И АЭРОДРОМОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

### 4.1. Классификация самолетов и вертолетов

Все воздушные суда (самолеты и вертолеты) делятся на две большие группы – гражданские и военные. Особую группу составляют экспериментальные ВС.

В России, так же как и в других странах, гражданская авиация, используется для перевозки пассажиров, багажа, груза и почты; для выполнения авиационных работ в интересах отдельных отраслей народного хозяйства (сельского хозяйства, строительства, охраны лесов и т.д.); для оказания медицинской помощи населению и проведения санитарных мероприятий; для проведения экспериментальных и научно-исследовательских работ, а также учебных, культурно-просветительных и спортивных мероприятий; для проведения поисково-спасательных работ и оказания помощи при стихийных бедствиях.

Транспортные самолеты перевозят пассажиров, почту и различные грузы, а поэтому их подразделяют на пассажирские и грузовые. Часто один и тот же тип ВС может быть и пассажирским, и грузовым и отличается при этом только оборудованием. На грузовых ВС отсутствует бытовое оборудование, обеспечивающее необходимые удобства пассажирам. На этих самолетах увеличены размеры грузовых отсеков, имеются специальные грузовые двери, средства механизации для выполнения погрузо-разгрузочных работ.

Воздушные суда специального назначения выполняют различные задачи для народного хозяйства и отличаются от транспортных ВС специальным оборудованием, а в отдельных случаях и большой емкостью топливных баков.

Учебные воздушные суда предназначены для обучения технике пилотирования и самолетовождению пилотов.

Гражданскими воздушными судами России считаются ВС, занесенные в Государственный реестр гражданских воздушных судов России. После занесения ВС в Государственный реестр Инспекция Государственной службы гражданской авиации (ГС ГА) выдает свидетельство о его регистрации и удостоверение о годности воздушного судна к полетам. При занесении воздушного судна в Государственный реестр ему присваивается государственный регистрационный опознавательный знак, который наносится на ВС.

К опознавательным знакам относятся также написанный у кабины воздушного судна тип этого самолета или вертолета, бортовой номер, принадлежность к той или иной авиакомпании и флаг государства. На военных самолетах вместо флага на киле и крыльях изображена красная звезда. На воздушные суда, предназначенные для медико-санитарной службы, кроме опознавательных знаков, наносится изображение красного креста и полумесяца.

#### *Это интересно:*

Всем самолетам гражданской авиации присвоен пятизначный номер. Этот номер очень крупными цифрами написан на крыле самолета (на одном крыле сверху, на другом – снизу) и на его борту. Первые две цифры номера обозначают тип самолета, а три последующие – его порядковый номер. Вот поэтому иногда говорят, что прилетел не самолет, а такой-то борт (предположим: «произвел посадку борт 42319» – и специалистам все ясно).

И еще одно обстоятельство: одни и те же (по типу) самолеты и вертолеты могут быть как у военных, так и у гражданских организаций. Как же различить, чей самолет

произвел посадку? Оказывается, очень просто. Если на хвостовом оперении (на киле) нарисован флаг России – это самолет гражданский, а если звезда – самолет военный. На аэродроме часто так и спрашивают: что у прилетевшего нарисовано на хвосте – флажок или звезда? – и опять специалистам все понятно.

До перестройки на всех самолетах страны было написано всегда одно слово – «Аэрофлот», так как в СССР была всего одна авиакомпания. Сейчас авиакомпаний много, и поэтому на фюзеляже самолетов могут быть написаны самые разные названия. Да и самолеты эти компаний стали раскрашивать по-разному. Раньше такого не было.

Естественно, что для выполнения разнообразных задач гражданская авиация России имеет в своем распоряжении воздушные суда разных типов. Все они классифицируются по следующим признакам.

*В зависимости от взлетной массы* воздушным судам присваиваются классы:

– *первый класс* – взлетная масса более 75 т для самолетов и более 10 т для вертолетов;

– *второй класс* – взлетная масса 30–75 т для самолетов и 5–10 т для вертолетов;

– *третий класс* – взлетная масса 10–30 т для самолетов и 2–5 т для вертолетов;

– *четвертый класс* – взлетная масса до 10 т для самолетов и до 2 т для вертолетов.

Только самолеты ГА в зависимости от дальности полета подразделяются на *магистральные дальние* (дальность полета более 6000 км), *магистральные средние* (дальность полета 2500–6000 км), *магистральные ближние* (дальность полета 1000–2500 км) и самолеты *местных воздушных линий* (дальность полета до 1000 км).

Все воздушные суда обязательно оборудуются рулежно-посадочными фарами, имеют внутреннее освещение кабины и аэронавигационные огни. Кроме того, на самолетах и вертолетах устанавливают проблесковые маячки, а на вертолетах – еще и контурные огни. Также на всех воздушных судах должна быть аппаратура для регистрации параметров полета, работы авиационной техники и переговоров экипажа (так называемый «черный ящик»).

*Это интересно:*

Название «черный ящик», естественно, слышали практически все. Но далеко не все знают, что «черный ящик» – это не ящик, а скорее шар, и что он не черный, а желтого или оранжевого цвета. Он устроен таким образом, что при любом летном происшествии информация, хранящаяся внутри шара, остается неповрежденной. На воздушном судне в «нужных местах» установлены датчики, а самописцы всех датчиков находятся внутри «ящика» и таким образом сохраняются. Аппаратура «черных ящиков» устроена так, что практически все параметры полета записываются на бесконечную магнитную ленту. На ленту фиксируются параметры 31-й минуты полета и стираются первой минуты. Следовательно, в «черном ящике» всегда записаны параметры последних тридцати минут полета. Существующая сейчас система МСРП (магнитная система регистрации параметров) позволяет одновременно записывать и хранить до 95 параметров полета. И это не предел. Специалисты заказали промышленности новую систему, которая способна регистрировать 144 параметра! Стати, эту систему можно устанавливать не только на воздушных судах, но и на кораблях, в поездах и даже на автомобиле.

Характеристики основных типов самолетов и вертолетов, используемых в настоящее время в гражданской авиации, приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОЛЕТОВ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ РОССИИ**

Техническая характеристика	Тип самолета						
	Ил-86	Ил-62	Ту-154	Ту-134	Ан-24	Як-42	Як-40
Взлетная масса, т	206	160	94	44	21	52	14
Максимальная грузоподъемность, т	42	23	18	8	5	14	2
Количество пассажиров	350	до 186	до 164	72	48	120	30
Заправка топливом, т	41,5	82,5	33,2	13,2	4,1	12,0	3,1
Крейсерская скорость, км/ч	920	870	900	830	470	820	550
Скорость отрыва, км/ч	280	300	270	260	180	215	175
Посадочная скорость, км/ч	240	240	230	225	170	180	160
Практический потолок, м	11000	12000	11800	11800	8900	9000	11000
Дальность полета, км	5800	10000	4000	2900	2000	2000	510
Длина разбега, м	1920	2000	1215	1900	600	900	550
Длина пробега, м	800	1000	710	850	550	700	520

Таблица 4.2

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТОЛЕТОВ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ РОССИИ**

Техническая характеристика	Тип вертолета				
	Ми-6	Ми-8	Ми-4	Ми-2	Ка-26
Взлетная масса, т	42,5	12,0	7,3	3,5	3,2
Максимальная грузоподъемность, т	12,0	4,0	1,6	0,7	1,0
Количество пассажиров		28		7-8	6-7
Заправка топливом:					
без дополнительных баков, т	6,3	0,7	0,4	0,5	1,4
с дополнительными баками, т	13,3	1,4	0,7	0,8	-
Крейсерская скорость, км/ч	250	200	150	205	140
Дальность полета, км	810	640	650	590	410

Воздушные суда, характеристики которых приведены в табл. 4.1 и 4.2, перевозят примерно 85% пассажиров и грузов. На смену этим самолетам и вертолетам уже готовятся другие (Ил-96, Ту-204, Ту-214 и т.д.). Однако, к великому сожалению, наша авиационная промышленность сейчас готова выпускать не более десятка новых самолетов в год, а их нужны сотни. Поэтому гражданской авиации России еще достаточно продолжительное время придется пользоваться старым самолетным парком. Технические данные новых самолетов и вертолетов будут приведены уже в новом учебнике.

#### 4.2. Классификация аэродромов

*Аэродромом* называется земельный или водный участок, специально оборудованный для взлета, посадки, размещения и обслуживания воздушных судов. Сейчас в России около 3000 аэродромов, среди которых есть как крупные аэродромы, такие, как Пулково (Санкт-Петербург), Шереметьево, Домодедово и Внуково (Москва), Кольцово (Екатеринбург), Толмачево (Новосибирск) и другие, так и совсем небольшие. Самые маленькие аэродромы представляют

собой поляну, на краю которой стоит сарай, оборудованный хорошей антенной, а рядом один-два самолета или вертолета.

Все аэродромы гражданской авиации классифицированы. Их классификация проведена по следующим признакам.

1. *По видам поверхности ВПП.* По этому признаку аэродромы подразделяются на аэродромы с искусственным покрытием ВПП, аэродромы с грунтовой ВПП, гидроаэродромы, а также снежные и ледовые аэродромы. Пожалуй, пояснить этот признак деления аэродромов нецелесообразно – все и так понятно.

*Это интересно:*

Во время Великой Отечественной войны и сразу после нее на территории страны было много грунтовых аэродромов. Для увеличения несущей способности грунта специалисты делали временное искусственное покрытие, которое состояло из облегченных большими отверстиями металлических пластин. Эти пластины выглядели как доски, собирались встык и, конечно, значительно увеличивали несущую способность грунта. Сейчас грунтовых аэродромов уже не осталось, но в тех населенных пунктах, около которых раньше были такие аэродромы, еще и сегодня можно наткнуться на забор, сделанный из таких металлических досок.

2. *По характеру использования.* В зависимости от характера использования аэродромы подразделяются на постоянные и временные, дневного и круглосуточного действия.

Постоянные аэродромы используются для работы на них авиации круглогодично, временные – только какое-то определенное время года (при выполнении сельскохозяйственных работ, ледовые аэродромы и т.д.).

На аэродромах дневного действия авиация выполняет полеты только в светлое время суток, а на аэродромах круглосуточного действия – в течение всех суток.

3. *По эксплуатационному назначению.* По этому признаку аэродромы подразделяются на трассовые и аэродромы специального назначения (заводские, учебные и аэродромы для выполнения авиационных работ).

Трассовые аэродромы предназначены для выполнения взлета и посадки при полетах по маршруту. Заводские аэродромы используются авиационными заводами при выполнении испытательных полетов. Учебные аэродромы предназначены для выполнения полетов в летных училищах при подготовке пилотов. Специальные аэродромы используются для выполнения различных авиационных работ (от сельского хозяйства до охраны лесов и т.д.).

4. *По расположению и использованию экипажами при полетах по воздушным трассам.* В этом случае аэродромы подразделяются на базовые, промежуточные, аэродромы вылета, назначения и запасные.

Базовый аэродром определяется дислокацией авиаотряда (авиапредприятия). Например, если какой-либо экипаж Петербургского авиапредприятия выполняет полет по любому маршруту, то для этого экипажа базовым аэродромом всегда будет аэродром Пулково, так как в этом городе экипаж живет, в этом городе ему платят зарплату. Это *база* экипажа, поэтому аэродром и называется базовым.

Промежуточные аэродромы – это такие аэродромы, на которых воздушное судно совершает промежуточную посадку при выполнении дальних рейсов,

например, Санкт-Петербург–Екатеринбург (посадка)–Новосибирск (посадка)–Иркутск. В данном случае аэродромы Екатеринбурга и Новосибирска являются промежуточными.

Для этого же примера аэродром Санкт-Петербурга является аэродромом вылета, а аэродром Иркутска – аэродромом назначения. В случае если по каким-либо причинам произвести посадку в Иркутске невозможно (нелетная погода, технические причины и т.д.), то экипажу заранее (до вылета) определяется другой аэродром для посадки, например, Чита. В этом случае аэродром Читы будет являться запасным аэродромом.

5. По высоте над уровнем моря. По этому признаку аэродромы подразделяются на горные и равнинные. Горный аэродром – аэродром, расположенный на местности с пересеченным рельефом и относительными превышениями более 500 м в радиусе 25 км от аэродрома, а также аэродром, расположенный на высоте 1000 м и более над уровнем моря. Остальные аэродромы относятся к равнинным.

*Это интересно:*

При такой классификации аэродром Адлер (район Большого Сочи, побережье Черного моря) относится к горным аэродромам, так как совсем рядом с ним есть горы, превышающие по высоте более 500 м, сама же взлетно-посадочная полоса находится практически на берегу моря.

6. В зависимости от длины ВПП и несущей способности покрытий. По этому признаку аэродромы делятся на классы: А, Б, В, Г, Д, Е и посадочные площадки. Так, аэродром класса А должен иметь длину ВПП не менее 2500 м и обеспечить взлет самолетов со взлетной массой более 200 т.

### 4.3. Составные части аэродрома

На любом аэродроме гражданской авиации можно выделить две зоны: летную и служебно-техническую.

К *летной зоне* относится та часть территории аэродрома, которая занята основной и запасной ВПП, рулежными дорожками (РД), местом стоянки ВС, концевыми и боковыми полосами безопасности. К летной зоне относится также воздушное пространство, примыкающее к аэродрому. Одним словом, к летной зоне относится та площадь на аэродроме, где могут находиться самолеты и воздушное пространство в районе аэродрома. Одна из возможных схем аэродрома представлена на рис. 4.1.

К *служебно-технической зоне* относится территория, на которой размещены наземные службы, обеспечивающие работу авиации, в том числе и метеорологическая служба.

Рассмотрим состав летной зоны более подробно (см. рис. 4.1). Взлетно-посадочная полоса 1 предназначена для взлета и посадки ВС. Самолет после посадки должен освободить ВПП для другого самолета. Освободить ВПП можно по одной из трех рулежных дорожек (2, 3, 4). С рулежной дорожки самолет попадает на параллельную ВПП рулежную дорожку 5, часто называемую перроном.

Воздушные суда, которые по какой-либо причине в ближайшее время не используются для перевозки пассажиров и груза, размещают на стоянке 6. Для обеспечения безопасности полетов при нештатных ситуациях или при ошибках летчиков в технике пилотирования на аэродромах оборудуются концевые по-

полосы безопасности 7, 8, боковая полоса безопасности 9 и запасная ВПП 10. Полосы безопасности и запасная ВПП представляют собой подготовленный грунт, на котором нет никаких препятствий, и попадание воздушного судна в эти зоны не должно вызвать летного происшествия.

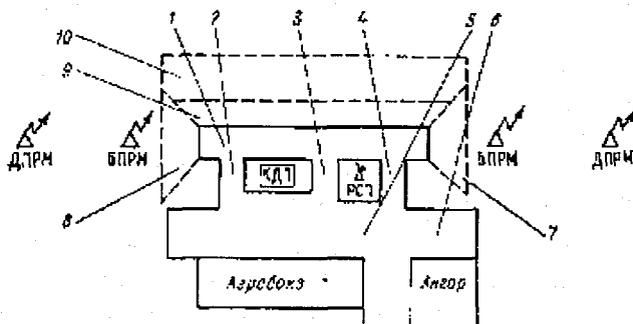


Рис. 4.1. Схема аэродрома (вариант):

КДП – командно-диспетчерский пункт, РСП – радиолокационная система посадки, БПРМ – ближний приводной радиомаркер, ДПРМ – дальний приводной радиомаркер; 1 – ВПП, 2, 3, 4 – РД, 5 – перрон, 6 – стоянка ВС, 7, 8 – концевые полосы безопасности, 9 – боковая полоса безопасности, 10 – запасная ВПП.

Воздушное пространство, примыкающее к аэродрому, разделено как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. В вертикальной плоскости воздушное пространство делится на *нижнее* (до высоты 6100 м в стандартных условиях) и *верхнее* – выше высоты 6100 м.

В горизонтальной плоскости воздушное пространство делится на *секторы подхода, входные и выходные коридоры, зоны ожидания, трассы, местные воздушные линии и другие зоны.*

Воздушная трасса представляет собой коридор (если хотите – улицу) в воздушном пространстве, который предназначен для безопасного выполнения полетов воздушными судами. Каждая воздушная трасса имеет свои ограничения по высоте и ширине и обеспечена средствами навигации, управления воздушным движением и аэродромами. Ширина воздушных трасс, как правило, равна 10 км, однако в отдельных случаях (над океанами при межконтинентальных полетах, а также для полетов сверхзвуковых самолетов) она может быть увеличена до 20 км.

Местные воздушные линии (МВЛ) это такие же воздушные трассы, которые устанавливаются для самолетов МВЛ обычно только в нижнем воздушном пространстве. По новым документам, регламентирующим летную работу, ширина МВЛ устанавливается такая же, как и для воздушных трасс (10 км).

*Служебно-техническая зона* аэродрома на рис. 4.1 представлена командно-диспетчерским пунктом (КДП), откуда производится управление воздушным движением; пунктами, где размещены навигационные службы (РСП, БПРМ, ДПРМ); пунктом, где расположены технические службы (ангар), и пунктом, в котором находится служба перевозок (аэровокзал). На рис. 4.1 показаны только основные объекты на аэродроме. В действительности аэродром – современное многопро-

фильное предприятие, работа в котором (не только работа, но даже просто передвижение по аэродрому) требует специальных знаний.

Если аэродром – специально оборудованный земельный или водный участок, то аэропорт – комплекс сооружений, предназначенный для приема и отправки воздушных судов и обслуживания воздушных перевозок. Для этих целей в аэропорту имеется аэродром, аэровокзал и другие наземные сооружения и оборудование.

Вопросы размещения метеорологической службы в аэропорту будут подробно рассмотрены в последующих главах.

#### **4.4. Оборудование воздушных судов и аэродромов навигационными приборами и системами**

Одной из наиболее сложных задач при обслуживании авиации является *управление воздушным движением* (УВД), которое возложено на диспетчерскую службу. Главная задача этой службы – организация, планирование и обеспечение безопасности движения ВС на земле и в воздухе. Для решения своих задач диспетчерская служба имеет современные средства УВД, которые взаимодействуют с бортовыми самолетными системами и таким образом позволяют в автоматизированном или ручном режиме решать вопросы безопасности полетов.

Ни в коей мере не претендуя на полноту изложения вопроса (это отдельный и очень большой курс), остановимся на основных принципах оборудования аэродромов и воздушных судов средствами навигации.

*Это интересно:*

В тридцатые годы XX века, когда авиация только-только «становилась на ноги» и на самолетах практически никаких навигационных приборов не было, летчики для ориентировки часто использовали так называемую «железную привязку». Суть ее заключалась в следующем. У летчика в специальном наколенном планшете всегда была карта района полетов. Если летчик терял ориентировку и не знал, где расположен его аэродром, то он поступал следующим образом. Свое местонахождение пилот всегда приблизительно знал. Воспользовавшись картой района полетов, летчик определял курс на расположенную поблизости железную дорогу (в то время полеты проводились только в дневное время), находил ее с воздуха, снижался и летел вдоль дороги до ближайшей железнодорожной станции, из самолета читал ее название, находил эту станцию на карте, теперь уже без труда привязывался к местности и благополучно возвращался на свой аэродром. Такая привязка у летчиков и называлась «железной». Даже после появления посадочных систем отучить летчиков от «железной привязки» оказалось очень непростым делом.

*Радиотехнические средства навигации (радиотехническая система посадки)* представляют собой на земле радиостанции, работающие в различных режимах и на разных частотах, а также радиомаячные системы посадки. На борту ВС эта группа средств навигации представлена *автоматическим радиоконпасом* (АРК), который, в отличие от обычного компаса, указывает направление не на север, а на работающую радиостанцию. Примерная схема работы радиотехнических средств представлена на рис. 4.2.

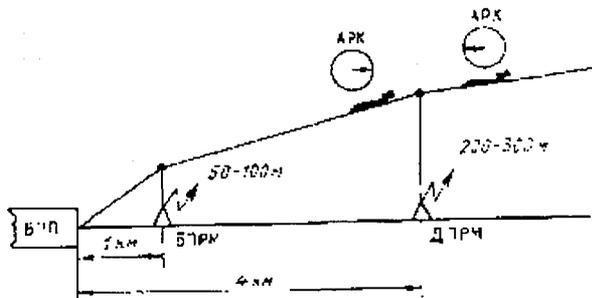


Рис. 4.2. Примерная схема работы радиотехнических средств навигации.

На рисунке показано начало ВПП и последний участок глиссады снижения. На расстоянии 1 км от начала ВПП на аэродроме оборудуется ближний приводной радиомаркер (БПРМ), а на расстоянии 4 км – дальний приводной радиомаркер (ДПРМ). Каждый привод (так эти радиостанции называют на аэродроме) представляет собой радиостанцию, которая через определенные (очень небольшие) интервалы времени передает в эфир свои позывные. Обычно это две буквы азбуки Морзе. Каждый из маркеров (а их четыре: два с одного и два с другого торца ВПП, но одновременно работают только два привода с одного торца) имеет свой позывной и свою рабочую частоту. Если на ВС автоматический радиоконпас настроен на частоту работы ДПРМ, то мы будем иметь следующую картину работы всей системы. В том случае, когда ВС находится от ВПП дальше ДПРМ, стрелка АРК направлена влево (на работающую станцию, рис. 4.2), а когда ближе ДПРМ – стрелка АРК направлена вправо (тоже на работающую станцию). При прохождении непосредственно над приводом летчик получает дополнительно звуковой сигнал (громкий прерывистый звонок). Таким образом, летчик всегда знает момент, когда его самолет пролетает над ДПРМ.

По правилам пилотирования каждое воздушное судно должно быть над приводными радиостанциями на определенной высоте, а перестройка АРК с частоты работы дальнего привода на частоту работы ближнего привода происходит за очень короткое время. Поэтому в действительности в полете происходит следующее.

Пилот знает, с каким курсом ему нужно лететь, чтобы выйти в район ДПРМ, и знает момент прохода ДПРМ. Находясь над дальним приводом и проконтролировав высоту ВС, а также переключив АРК на частоту работы БПРМ (нажатием кнопки), летчик знает, с каким курсом надо лететь, чтобы оказаться над БПРМ, а там до начала ВПП остается 1000 м, и командир ВС должен из кабины самолета увидеть начало ВПП или другие наземные ориентиры.

Следовательно, радиотехнические средства навигации (радиотехническая система посадки) позволяет экипажу воздушного судна подойти к началу ВПП на расстояние, равное 1 км. Дальше уже летчик ориентируется визуально. Таким образом, при видимости в 1 км и более радиотехническая система посадки обеспечивает безопасность полета.

*Радиолокационные средства навигации или радиолокационная система посадки (РСН)* представляют собой в самом общем виде радиолокационную станцию примерно такого же устройства, как и метеорологический радиолокатор (МРЛ).

Эта станция с комплектом дополнительного оборудования и является радиолокационной системой посадки, которую обслуживает диспетчерская служба. Перед диспетчером РСП находятся два экрана этой станции: индикатор кругового обзора (ИКО) и индикатор дальность – высота (ИДВ). Схематично оба индикатора представлены на рис. 4.3 (в действительности экраны РСП имеют темный фон, на котором светлыми линиями высвечивается нужная информация).

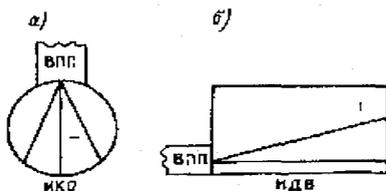


Рис. 4.3. Индикаторы системы РСП:

а – индикатор кругового обзора, б – индикатор «дальность–высота».

Через экран ИКО проходят вертикальная линия, которая соответствует посадочному курсу, и две наклонные линии, между которыми находится сектор безопасной посадки. Отметка от цели (воздушного судна) на ИКО представляет собой короткую светлую горизонтальную черту (горизонтальный штрих). Если на экране она наблюдается там, где показано на рис. 4.3, а, то самолет находится правее посадочного курса, и диспетчер РСП по радио передает командиру ВС, чтобы тот «подвернул влево».

На индикаторе «дальность–высота» проведены горизонтальная линия (земная поверхность) и наклонная линия – глиссада снижения. На ИДВ отметка от самолета видна как короткая вертикальная черта (вертикальный штрих). Если отметка от самолета находится там, где показано на рис. 4.3, б, то самолет заходит на посадку выше установленной глиссады, и командир ВС получает от диспетчера РСП команду на более энергичное снижение.

Таким образом, диспетчер РСП, видя перед собой оба экрана, заводит самолет на посадку. По ИКО диспетчер корректирует курс полета самолета, а по ИДВ – высоту полета. Такую коррекцию можно проводить как в ручном, так и в автоматическом режиме, но на последнем участке снижения (примерно с высоты 30 м и удаления от начала ВПП, равного 300 м) летчик должен взять управление на себя, так как пока визуальная оценка с таких высот и расстояний при посадке оказывается точнее приборной.

*Это интересно:*

Если вы читали роман А. Хейли «Аэропорт», то вы могли заметить, как сложен труд диспетчера и это на самом деле так. Работа диспетчера требует предельной собранности и внимательности, очень большого напряжения. Ведь нельзя перепутать и сказать экипажу «снижайтесь поэнергичней», если самолет заходит на посадку ниже глиссады. Хейли описывает работу зарубежных диспетчеров. Наша диспетчерская служба работает с не меньшим напряжением. На аэродромах России меньше интенсивность воздушного движения, но у диспетчерской службы значительно больше «ручной работы».

*Оптическая система посадки (ОСП) или светосигнальное оборудование аэропортов позволяет совместно с радиотехнической и радиолокационной системами обеспечить посадку или взлет ВС днем и ночью, а также безопасное передвижение воздушных судов по аэродрому.*

Эта система представляет собой комплекс электрических огней разного цвета и разной интенсивности, которые позволяют пилоту из кабины самолета определить местоположение торцов и боковых границ ВПП, рулежных дорожек и даже осевой линии ВПП.

*Это интересно:*

В специальных авиационных наставлениях и руководствах написано, какого цвета и какой интенсивности должны быть огни в разных точках аэродрома. Однако это, пожалуй, читателю в деталях запоминать не нужно. Мы приведем здесь только основные огни светосигнального оборудования. Итак, осевая линия ВПП, как редкая строчка швейной машинки, подсвечивается «утопленными» в бетон огнями белого цвета. Также огнями белого цвета подсвечена вся длина ВПП (лампы, которые используются для подсветки, представляют собой специальные светильники, которые хорошо видны из кабины самолета и хорошо защищены от воздействия внешней среды). Торцы взлетной полосы подсвечены лампами зеленого и красного цветов, а рулежные дорожки – лампами синего цвета. От торца ВПП до дальнего привода по курсу взлета (посадки) расположены огни красного цвета.

А теперь представьте себе на аэродроме «иллюминацию» длиной в 7 километров – это очень красивое зрелище (7 километров – расстояние, равное длине ВПП, плюс расстояние от торца полосы до дальнего привода). Оптическая система посадки включается всегда только с одной стороны ВПП.

На аэродромах гражданской авиации всегда выполняется маркировка всех препятствий (башни, мачты, здания и т.д.) и используются дополнительно следующие оптические системы посадки: *огни малой интенсивности* (ОМИ) – для захода на посадку визуально или по приборам и *огни высокой интенсивности* (ОВИ) – для захода на посадку при более сложных погодных условиях. Система ОВИ бывает трех категорий: ОВИ-1, ОВИ-2 и ОВИ-3.

Каждая из перечисленных систем (ОМИ и ОВИ) представляет собой комплекс, состоящий из огней приближения, которые устанавливаются по осевой линии ВПП между ее торцом и БПРМ, и световых горизонтов – групп близко расположенных друг от друга огней, размещенных перпендикулярно осевой линии ВПП на определенных расстояниях от ее торца. Все огни системы устанавливаются в соответствии с определенными правилами таким образом, чтобы из кабины самолета, заходящего на посадку, при плохой видимости эти огни были достаточно хорошо видны и помогали пилоту определить зону подхода к ВПП и положение самой ВПП.

*Это интересно:*

В последнее время много говорят о телевизионной системе посадки. Принцип работы этой системы следующий. При посадке на аэродроме в «хорошую» погоду летчик записывает на видеомagnetофон весь процесс посадки. Затем эта видеопленка тиражируется и передается экипажам, у которых возможна посадка на данном аэродроме. В принципе уже давно решен вопрос о том, что видеоизображение можно проецировать на лобовое стекло кабины самолета. Если самолет садится на этот же аэродром в «плохую» погоду, то летчик может не смотреть на наземные ориентиры, а просто включить «видик» и садить самолет по телевизионному изображению. Все очень просто, однако для такой посадки нужна очень жесткая синхронизация по высоте полета, скорости полета и времени включения видеопленки. Эти проблемы пока еще до конца не решены, и телевизионная система посадки находится сейчас в стадии опытной поверки и опытной эксплуатации.

Перечисленные выше навигационные приборы и системы позволяют успешно решать задачи безопасности полетов.

## Глава 5

# КЛАССИФИКАЦИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕТОВ

### 5.1. Классификация полетов гражданской авиации

Полеты воздушных судов гражданской авиации классифицируются в зависимости от назначения, условий пилотирования и самолетовождения, района, высоты полета, физико-географических условий, времени суток и метеорологических условий.

В зависимости от назначения полеты подразделяются на *транспортные* – для перевозки пассажиров, грузов, почты и багажа; *полеты для выполнения авиационных работ* – при использовании гражданской авиации в отдельных отраслях народного хозяйства, а также для оказания медицинской помощи населению и проведения санитарных мероприятий; *учебные* – для обучения курсантов и слушателей авиационных учебных заведений; *тренировочные* – для тренировки и проверки квалификации летного состава; *методические* – для изыскания рациональных (оптимальных) траекторий движения ВС и методов управления ими, разработки и внедрения программ и методик обучения летного состава, а также для проверки методической подготовки летного состава; *исследовательские* (научные) – для проведения научных исследований; *испытательные* – для испытания ВС или их оборудования; *облеты* – для проверки, настройки радиотехнических средств, а также для проверки в полете работы различных систем воздушного судна, которые не могут быть проверены на земле; *перегоночные* – для перегонки ВС; *демонстрационные* – для показа авиационной техники; *поисково-спасательные* и *аварийно-спасательные* – для проведения поиска и оказания помощи экипажам, пассажирам и различным судам, терпящим бедствие, а также в случаях стихийных бедствий.

По условиям пилотирования и самолетовождения полеты подразделяются на *визуальные* и *полеты по приборам*. Полет считается визуальным тогда, когда положение ВС и его местонахождение определяются экипажем визуально по естественному горизонту и наземным ориентирам. Полет по приборам – это такой полет, во время которого положение самолета и его местонахождение определяются экипажем полностью или частично по пилотажным и навигационным приборам.

По району выполнения полеты подразделяются на *аэродромные*, выполняемые в районе аэродрома; *трассовые*, выполняемые при полетах по трассам и местным воздушным линиям; *площадные*, которые выполняются в зонах авиационных работ; *маршрутно-трассовые*, выполняемые по установленному маршруту вне трассы и частично по трассе в одном полете.

По высоте полеты подразделяются на полеты *на предельно малых высотах* – до 200 м над рельефом или водной поверхностью; *на малых высотах* – от 200 до 1000 м над рельефом или водной поверхностью; *на средних высотах* – от 1000 до 4000 м над уровнем моря; *на больших высотах* – от 4000 до 12 000 м над уровнем моря или до тропопаузы и *полеты в стратосфере* – выше 12 000 м или выше тропопаузы.

По физико-географическим условиям полеты подразделяются на полеты *над равнинной и холмистой местностью* (отдельные превышения рельефа не

превышают 200 и 500 м соответственно); *над горной местностью* (отдельные превышения рельефа более 500 м на расстоянии менее 25 км от оси маршрута); *над пустынной местностью*; *над большими водными пространствами* и *в полярных районах северного и южного полушарий*. Последние три деления этой классификации пояснений не требуют.

По времени суток полеты подразделяются на *дневные, ночные и смешанные*. Днем в авиации считается время от восхода до захода солнца, а ночью – период от захода солнца до его восхода. Отсюда понятно, какой полет следует отнести к дневному, а какой – к ночному. Если полет начинается днем, а заканчивается ночью (или наоборот), то такой полет называется смешанным.

По метеорологическим условиям полеты подразделяются на *полеты в простых или сложных метеорологических условиях* (ПМУ или СМУ). К сложным метеорологическим условиям относятся такие условия, при которых горизонтальная дальность видимости не превышает 2000 м и (или) высота нижней границы облаков не более 200 м при общем количестве облачности не менее 4 баллов (3 октантов). Октанты в предыдущем предложении указаны не зря, так как при метеорологическом обеспечении авиации количество облачности указывается всегда в октантах, а не в баллах.

Любой полет любого воздушного судна, в каких бы условиях он не проводился, должен быть организован таким образом, чтобы была обеспечена *безопасность, регулярность и экономичность воздушных перевозок*.

## **5.2. Организация полетов гражданской авиации**

Организация полетов – это комплекс мероприятий, проводимый на земле и предназначенный для планирования летной работы и управления летными подразделениями и экипажами воздушных судов. Организация полетов включает в себя следующие основные мероприятия: планирование полетов, подготовку к полетам, выполнение полетов, управление полетами и разбор полетов.

Планирование полетов осуществляется в соответствии с перспективными, текущими и оперативными планами работы управлений, предприятий и подразделений ГА. В какой-то мере условно планирование полетов можно разделить на долгосрочное, суточное и текущее. *Долгосрочное планирование* производится за 10 суток и более. Его основой является расписание движения воздушных судов, а также долгосрочный план работы в интересах какой-либо отрасли народного хозяйства. Если же говорить только о расписании движения воздушных судов, то это расписание «очень долгосрочное», так как изменяется обычно два раза в год: с летнего на зимнее и наоборот. *Суточное планирование* осуществляется за сутки до намеченного времени вылета ВС. Оно учитывает реальную обстановку в аэропорту (наличие задержанных рейсов, разовые полеты, о которых известно заранее, и т.д.). *Текущее планирование* связано с выполнением таких полетов, которые не были намечены даже при суточном планировании (аварийно-спасательные, санитарные и др.).

Планы полетов составляются в летных подразделениях и передаются в диспетчерскую службу для составления сводного оперативного плана, который и является основанием для выполнения полетов. Один экземпляр такого плана передается и на АМСГ (авиационную метеорологическую станцию, гражданскую), которая расположена на этом же аэродроме.

*Это интересно:*

Сегодня, в начале XXI века, план полетов на следующий день может передаваться от диспетчерской службы не в распечатанном виде, а «сбрасываться» по локальной компьютерной сети. Если это не делается, то метеослужба ежедневно от диспетчерской службы получает «простыню», большая часть которой не меняется (расписание движения воздушных судов), затем идет маленький «кусочек» плана, учитывающий так называемую сбойную ситуацию – суточное планирование, а уж почти совсем ничего не передается (или совсем ничего, без «почти») при текущем планировании. Такой порядок составления плана полетов на следующие сутки позволяет метеослужбе своевременно решать задачи по метеорологическому обеспечению всех запланированных вылетов.

Подготовка к полетам должна предшествовать (и предшествует) каждому полету. Все лица, входящие в состав экипажа, независимо от занимаемой должности и опыта летной работы, обязаны пройти подготовку и проверку готовности к полету. Подготовка к полету подразделяется на *предварительную* и *предполетную*.

*Предварительная подготовка* проводится накануне дня вылета. Она включает уяснение задачи на полет; подбор и подготовку документации, необходимой для выполнения полета; изучение особенностей техники пилотирования; порядок взаимодействия членов экипажа в особых случаях в полете. Предварительную подготовку включает контроль готовности экипажа к выполнению полета.

При систематических полетах по трассе или при частом выполнении одного и того же вида авиационных работ предварительная подготовка может проводиться в неполном составе экипажа.

*Это интересно:*

Пожалуй, следует сказать о том, что иногда предварительная подготовка не проводится совсем. И тому есть две причины. Во-первых, если экипаж годами летает по одной и той же воздушной трассе (ведь без романтики: гражданская авиация представляет собой транспортную систему, а летчики гражданской авиации – «воздушные извозчики»), то, как говорят летчики, эту трассу от взлета до посадки они могут пролететь с закрытыми глазами. Во-вторых, представьте себе, что самолет летит по маршруту Пулково (Санкт-Петербург)–Кольцово (Екатеринбург)–Толмачево (Новосибирск). Как накануне дня вылета можно провести предварительную подготовку экипажа в Кольцово, если самолет находится еще в Пулково?

*Предполетная подготовка* проводится командиром ВС всегда перед каждым полетом с учетом конкретной аэронавигационной и метеорологической обстановки. Предполетная подготовка начинается не позднее чем за час до вылета, а в промежуточных аэропортах – с момента прихода экипажа на командно-диспетчерский пункт. В процессе предполетной подготовки командир ВС обязан доложить диспетчеру о готовности экипажа к прохождению предполетной подготовки; получить информацию о технической готовности ВС; состоянии аэродромов вылета, посадки и запасных; изучить метеорологическую обстановку на аэродроме вылета, по маршруту (району) полета, на аэродроме назначения и запасных аэродромах; проверить правильность штурманского расчета и других данных, необходимых для выполнения полета; определить конкретные действия экипажа при возникновении аварийной обстановки; принять решение о возможности вылета и получить диспетчерское разрешение на вылет.

*Это интересно:*

Помня о том, что гражданская авиация – это транспортный конвейер, попробуем представить, как на практике выглядит предполетная подготовка. Предположим, что самолет приземлился на каком-нибудь промежуточном аэродроме. Сразу после посадки каждый член экипажа занят своим делом. Бортинженер следит за заправкой самолета топливом, бортпроводники – за выгрузкой и погрузкой багажа, за высадкой и посадкой пассажиров, командир ВС отправляется к диспетчеру получать разрешение на продолжение полета, штурман уточняет новую информацию по связи, а второй пилот получает на АМСГ информацию о погоде. Иногда в экипаже обязанности на стоянке могут быть распределены иначе, но кто-нибудь из перечисленных выше членов экипажа обязательно идет за разрешением на полет, информацией по связи и информацией о погоде. На все дела экипажу нужен примерно час. За это время работники аэропорта и члены экипажа успевают заправить самолет топливом, один багаж выгрузить, другой загрузить, одних пассажиров высадить, других посадить, получить разрешение на полет, информацию по связи и информацию о погоде. Час прошел – предполетная подготовка закончена. Самолет и экипаж готовы к продолжению полета. Вот так (или примерно так) все выглядит на самом деле.

Выполнение полетов производится после получения командиром экипажа диспетчерского разрешения на вылет. Весь полет от взлета до посадки включительно должен выполняться в соответствии с требованиями Наставления по производству полетов гражданской авиации России (НПП ГА).

Управление полетами заключается в осуществлении постоянного контроля и регулирования процесса выполнения полетов с целью поддержания установленного порядка движения ВС на аэродроме и в воздушном пространстве. Непосредственное управление воздушным движением производится диспетчером службы УВД. За каждым диспетчером закрепляется зона (район) ответственности, в которой осуществляется УВД на принципе единоначалия, т.е. в одной зоне экипажем воздушного судна руководит только один диспетчер, который отвечает за безопасность полетов и управление воздушным движением в этой зоне.

Указания диспетчера являются обязательными для экипажа ВС. В случае явной угрозы безопасности полета командир воздушного судна имеет право принимать самостоятельные решения с обязательным докладом об этом диспетчеру, который в данный момент руководит полетом.

Зона ответственности каждого диспетчера обусловлена интенсивностью полетов в зоне аэродрома, а также наличием технических средств УВД. Рассмотрим порядок работы диспетчерской службы в крупном аэропорту при вылете самолета.

После готовности самолета к вылету (экипаж и пассажиры на своих местах, трап отошел от самолета, двери и люки самолета закрыты) управление этим самолетом берет на себя *диспетчер руления*, в задачу которого входит довести самолет от стоянки (перрона) до рулежной дорожки, по которой этот самолет будет выруливать на ВПП. На рулежной дорожке происходит передача управления самолетом от диспетчера руления к диспетчеру старта.

*Это интересно:*

Диспетчер руления, как видно из его зоны ответственности за безопасность движения, отвечает только за те воздушные суда, которые готовятся к полету на земле. Этот диспетчер может находиться на так называемой «вышке» – верхнем этаже командно-

диспетчерского пункта, откуда открывается хороший обзор всего аэродрома, или в специальной машине с радиостанцией. Как правило, это легковой автомобиль, на котором сверху закреплено светящееся табло с надписью на русском и английском языках: «Следуйте за мной». Иногда можно увидеть такую картину. По аэродрому со скоростью 5–10 км/ч «ползет» маленькая машина (быстрее рулить запрещено), а за ней с такой же скоростью медленно движется лайнер с размахом крыльев под 70 м. Это зрелище! Особенно в те моменты, когда самолет находится уже на рулежной дорожке (РД). Ведь ширина РД обычно не превышает 30 м, а следовательно, концы крыльев этого самолета метров по 20 с каждой стороны зависнут над «травкой». Постарайтесь увидеть такую ситуацию – не пожалеете.

*Диспетчер старта*, исходя из конкретной воздушной обстановки, дает разрешение на запуск двигателей (если они еще не запущены), на выруливание на ВПП и на выполнение взлета. В принципе этот же диспетчер разрешает или не разрешает посадку на аэродроме всех воздушных судов. После взлета ВС диспетчер старта передает управление взлетевшим самолетом *диспетчеру круга*, в задачу которого входит управление самолетом на кругу.

Круг над аэродромом в плане больше напоминает прямоугольник (рис. 5.1). Частью одной стороны прямоугольника является ВПП. После взлета самолет выполняет полет по прямой и подходит к точке 1, которая является местом первого разворота (не поворота! – этого летчики не поймут и не простят). Обычно это какой-либо заметный ориентир (дом, лес, озеро и т.д.) в районе аэродрома. При подходе к месту первого разворота пилот изменяет курс полета на  $90^\circ$  (выполняет первый разворот) и определенное время летит курсом, перпендикулярным направлению ВПП. Такой полет продолжается до подлета к месту второго разворота, где летчик снова изменяет курс полета на  $90^\circ$  обязательно в ту же сторону, что и на первом развороте. С курсом, обратным посадочному (взлетному), самолет выполняет полет до места третьего разворота, где пилот еще раз меняет курс на  $90^\circ$  и летит далее к месту четвертого разворота. Изменив в районе четвертого разворота направление полета еще раз на  $90^\circ$ , летчик оказывается на посадочном (взлетном, но так не говорят) курсе и при продолжении полета в этом направлении пройдет над ВПП. Вот такая фигура в плане (см. рис. 5.1) называется кругом. Если все четыре разворота выполняются влево, то круг называется левым, а если вправо – то правым. Круг над аэродромом и высоты полета на кругу устанавливаются специальной инструкцией.

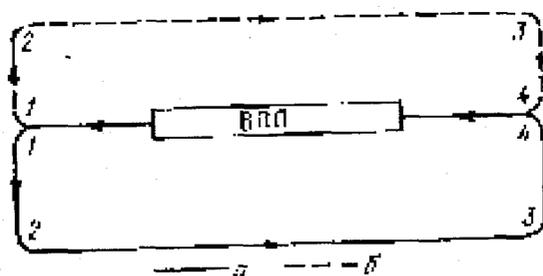


Рис. 5.1. Схема круга над аэродромом:  
 а – левый круг, б – правый круг; 1, 2, 3, 4 – места первого, второго, третьего и четвертого разворотов соответственно.

В задачу диспетчера круга входит управление ВС на кругу, так как совершенно необязательно, чтобы каждый взлетающий или заходящий на посадку самолет полностью выполнял круг над аэродромом (это время, это керосин – дорого), а «развести» эти самолеты для обеспечения безопасности на кругу – задача диспетчера круга.

При выходе из зоны круга управление самолетом передается *диспетчеру подхода*. Зона ответственности диспетчера подхода начинается от границы круга и заканчивается на внешней границе района аэродрома (100–150 км). В этой зоне диспетчер подхода направляет воздушное судно или на нужную трассу, или на местную воздушную линию (МВЛ), или по нужному маршруту. При приближении самолета к внешней границе зоны подхода диспетчер подхода передает управление ВС диспетчеру районного центра Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД), который и осуществляет управление самолетом по трассе или по маршруту. На структуре и организации ЕС ОрВД мы остановимся чуть позже.

Зона подхода интересна и сложна для диспетчерской службы тем, что в ней как раз находится тот отрезок полета, в котором самолет или набирает высоту для выхода на заданный эшелон полета, или снижается для посадки. Это значит, что в зоне подхода все воздушные суда могут находиться на разных курсах, на разных высотах, причем эти высоты постоянно меняются. Задача диспетчера подхода – дать нужную команду нужному самолету в нужное время и этим самым обеспечить безопасность полетов в своей зоне ответственности.

Выше был рассмотрен случай передачи управления ВС при взлете самолета. При заходе на посадку передача управления происходит в обратном порядке.

Разбор полетов преследует вполне определенную цель – повышение уровня безопасности полетов, а также повышение эффективности и качества работы экипажа и авиапредприятия.

Командир экипажа проводит разбор полета после выполнения полетного задания, а в авиапредприятиях ГА разбор полетов происходит не реже одного раза в месяц. На разборе полетов дается оценка выполнения своих обязанностей каждым членом экипажа (экипажами), оценка работы всех наземных служб, в том числе и метеорологической службы, и даются указания и рекомендации по улучшению качества летной работы, по профилактике летных происшествий и предпосылок к ним.

*Это интересно:*

Разбор полетов, который проводится руководством авиапредприятия – мероприятие серьезное. К нему привлекается не только летный и диспетчерский состав, но и руководители всех наземных служб, в том числе и начальник АМСГ. Метеослужбу могут не привлекать на разбор полетов только в том случае, если за прошедший с предыдущего разбора период не было никаких нареканий на работу метеослужбы. Да и тогда толковый начальник АМСГ будет присутствовать на разборе для того, чтобы лучше понять и уяснить задачи своего авиапредприятия.

Разбор каждого полета, который проводит командир корабля, имеет свои особенности. Как правило, у каждого экипажа, который много времени летает вместе, есть свои традиции. Эти традиции летный состав, как люди суеверные, стараются никогда не нарушать. Ну, например, после посадки и заруливания самолета на стоянку командир ВС может сказать: «Ребята, спасибо. Все было хорошо». Это и есть разбор полета. Или вот еще пример: «Ребята, спасибо. Все было нормально. А ты... (и кому-то из членов экипажа)

жа показывается кулак)». До рукоприкладства дело, естественно, не доходит, но тот член экипажа, которому кулак показывают часто, с этим экипажем долго летать не будет. Проблема психологического климата и психологической совместимости в экипажах в гражданской авиации уделяется достаточно серьезное внимание.

### **5.3. Структура Единой системы организации воздушного движения**

Количество полетов ВС в России после заметного спада в конце 90-х годов прошлого столетия стало ежегодно увеличиваться. Прокладываются новые воздушные трассы, строятся новые аэропорты, растет интенсивность воздушного движения по уже существующим маршрутам. Получает свое развитие и ведомственная авиация, которая не входит в состав Государственной службы гражданской авиации (ГС ГА). Одним словом, в воздухе становится «тесно», и существовавшая раньше система УВД перестала удовлетворять требованиям обеспечения безопасности воздушного движения.

Это обстоятельство явилось предпосылкой для создания межведомственной организации по управлению воздушным движением. Так была создана Единая система управления воздушным движением (ЕС УВД), которая в настоящее время называется Единой системой организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Ее основные функции заключаются в следующем: планирование воздушного движения, координирование полетов авиации всех ведомств, непосредственное управление воздушным движением, а также контроль за соблюдением заданного режима полетов экипажами воздушных судов, особенно в 100-километровой пограничной зоне.

Организационно ЕС ОрВД состоит из Главного центра (ГЦ) ЕС ОрВД, который является центральным органом, предназначенным для решения указанных задач над всей территорией России. Главный центр состоит из гражданского и военного секторов. Гражданский сектор ГЦ ЕС ОрВД решает следующие основные задачи: общее планирование, координирование и контроль движения ВС всех ведомств по воздушным трассам и местным воздушным линиям (МВЛ) в целях обеспечения безопасности и регулярности полетов; регулирование воздушных потоков с учетом пропускной способности воздушных трасс и МВЛ; участие в подготовке центрального и местного расписания движения ВС; контроль за обеспечением безопасности и управлением движения воздушных судов, выполняющих литерные рейсы; согласование с военным сектором ГЦ ЕС ОрВД вопросов, связанных с использованием средств радиотехнического обеспечения и аэродромов других ведомств для обеспечения безопасности полетов ВС ГА.

Вся территория страны для целей управления воздушным движением разделена на зоны, а каждая зона – на районы. Во главе каждой зоны (района) находится зональный (районный) центр УВД – ЗЦ ЕС ОрВД (РЦ ЕС ОрВД). Зона или район такого центра являются зоной его ответственности за безопасность и регулярность воздушного движения. Зональный и районный центры ОрВД, как и Главный центр, состоят из гражданского и военного секторов. Гражданский сектор зонального центра ЕС ОрВД выполняет следующие задачи: планирование и координирование общего порядка выполнения полетов в зоне ответственности; разработку и утверждение суточного плана полетов; согласование с

военным сектором ЗЦ ЕС ОрВД местных режимов полетов по трассам и МВЛ; обеспечение полетов ВС, следующих вне расписания, и др.

Районный центр ЕС ОрВД предназначен для решения задач непосредственного управления движением воздушных судов всех ведомств в границах зоны ответственности. Гражданский сектор РЦ ЕС ОрВД решает следующие основные задачи: непосредственное управление движением ВС по трассам и МВЛ; контроль за выполнением экипажами ВС установленного режима полетов.

Обычно рабочие места дежурных диспетчеров гражданского и военного секторов любого центра ЕС ОрВД находятся в одной комнате, и все вопросы, связанные с управлением воздушным движением, решаются ими при личном контакте без всяких задержек. Это позволяет повысить как безопасность, так и регулярность полетов.

*Это интересно:*

Помимо оперативности в результате личного общения, когда не нужно ни звонить по телефону, ни вызывать коллегу по селекторной связи, у размещения диспетчеров в одной комнате есть еще несколько преимуществ. Во-первых, один из диспетчеров (а только эти два человека имеют право передавать команды на борт летящего воздушного судна) с согласия другого может без ущерба для безопасности полетов на некоторое время отлучиться. Во-вторых, в ночное время, когда интенсивность воздушного движения, как правило, уменьшается, у одного из диспетчеров появляется возможность какое-то время отдохнуть (поспать), оставив на другого всю работу в зоне ответственности. И хотя так делать не разрешается, иногда все же так поступают. На наш взгляд, если это не угрожает безопасности полетов, ничего «страшного» в этом нет.

Общий порядок управления воздушным движением будет понятен из анализа рис. 5.2.

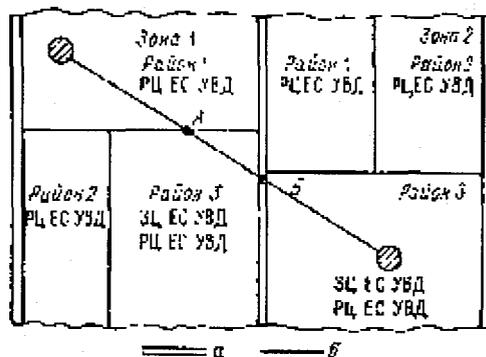


Рис. 5.2. К вопросу организации управления воздушным движением:  
 а – граница зон ответственности между соседними ЗЦ ЕС ОрВД;  
 б – граница зон ответственности между соседними РЦ ЕС ОрВД.

Предположим, что планируется и выполняется полет с аэродрома, расположенного в 1-м районе зоны 1, на аэродром, расположенный в 3-м районе зоны 2. После взлета самолета, набора высоты и приближения к внешней границе зоны подхода аэродрома вылета по указанию диспетчера подхода командир воздушного судна связывается по радио с диспетчером РЦ ЕС ОрВД 1-го района зоны 1. После установления такой связи командир ВС докладывает диспет-

черу подхода, что связь с диспетчером РЦ установлена. После этого управление ВС переходит от диспетчера подхода аэродрома вылета к диспетчеру РЦ ЕС ОрВД 1-го района первой зоны. Контролирует правильность управления этим воздушным судном диспетчер ЗЦ ЕС ОрВД зоны 1.

При подлете самолета к точке *A* – границе между 1-м и 3-м районами зоны 1 – происходит передача управления экипажем (самолетом) от диспетчера РЦ ЕС ОрВД 1-го района к диспетчеру РЦ ЕС ОрВД 3-го района. Передача управления осуществляется аналогично передаче управления от диспетчера подхода к диспетчеру РЦ ЕС ОрВД 1-го района. Контроль за выполнением этого полета пока еще осуществляет диспетчер первого зонального центра.

При подлете к точке *B* происходит передача управления от диспетчера РЦ ЕС ОрВД 3-го района зоны 1 к диспетчеру РЦ ЕС ОрВД 3-го района зоны 2. В этом случае передается не только непосредственное управление, но и контроль за выполнением режима полета от диспетчера РЦ ЕС ОрВД 1-го района к диспетчеру РЦ ЕС ОрВД 2-го района. Диспетчер РЦ ЕС ОрВД 3-го района зоны 2 управляет самолетом до передачи управления ВС диспетчеру подхода аэродрома посадки.

*Это интересно:*

Любой диспетчер, обращаясь к командиру воздушного судна, произносит бортовой пятизначный номер этого судна. Здесь все просто. А вот командир воздушного судна, переговариваясь с диспетчером, называет позывной того или иного пункта управления (например, «Роза», «Сокол» или еще проще – «Пулково, подход»). Традиции давать пунктам управления позывные не нарушаются с момента появления на самолетах радиосвязи.

#### **5.4. Эшелонирование полетов**

Под *эшелонированием полетов* понимается вертикальное, продольное или боковое рассредоточение воздушных судов в воздушном пространстве на установленные интервалы, обеспечивающие безопасность воздушного движения.

Нормы эшелонирования полетов обусловлены как техническими возможностями измерения параметров полета, так и возможностями летчика (автопилота) выдерживать заданный режим полета. Исходя из этого приняты следующие правила эшелонирования.

*Вертикальное эшелонирование.* При полетах с курсом от 0 до 179° определены следующие эшелоны полетов: 900, 1500, 2100, 2700, 3300, 3900, 4500, 5100, 5700, 6300, 6900, 7500, 8100, 9100, 10 100, 11 100, 12 100, 14 100 м ... и т.д. через 2000 м. При полетах с курсом от 180 до 359° установлены следующие эшелоны полетов: 1200, 1800, 2400, 3000, 3600, 4200, 4800, 5400, 6000, 6600, 7200, 7800, 8600, 9600, 10 600, 11 600, 13100, 15 100 м ... и т.д. через 2000 м.

*Это интересно:*

Эшелоны полетов от 0 до 179° называют нечетными, а от 180 до 359° – четными. По высоте это понятно (9, 15, 21 и т.д. эшелоны нечетные, а 12, 18, 24 и т.д. – четные). Но интересно другое. Номера поездов из Петербурга в Москву (направление движения примерно 150°) тоже нечетные, а из Москвы в Петербург (направление движения 330°) – четные.

*Продольное эшелонирование.* В зависимости от условий полета (визуальный или по приборам, дневной или ночной и т.д.) при полете на одном эшелоне и на одной трассе минимальное расстояние между самолетами может колебаться от 2 до 30 км или оно может быть равно расстоянию, которое самолет преодолевает за период не менее 10 мин полета.

*Боковое эшелонирование.* По правилам бокового эшелонирования расстояние между осями соседних воздушных трасс должно быть не менее 50 км. При полете вне трасс боковое расстояние между самолетами, летящими в одном или противоположных направлениях, должно быть не менее 10 км.

При смене эшелона (например, при снижении) пересечение нижнего эшелона можно производить в том случае, если на нижнем эшелоне от расчетной точки пересечения эшелона нет других воздушных судов ближе 20–30 км.

При пересечении воздушных трасс на одном эшелоне одно из воздушных судов должно пройти точку пересечения трасс в тот момент, когда другое ВС находится от этой точки на расстоянии от 20 до 30 км или на таком расстоянии, которое самолет преодолевает за период не менее 15 мин полета.

Полностью правила бокового и продольного эшелонирования изложены в Основных правилах полета над территорией России (ОПП) и в Наставлении по службе движения в гражданской авиации России (НСД ГА).

## **5.5. Основы самолетовождения**

Самолетовождение, или воздушная навигация, как наука изучает теорию и практику безопасного пилотирования ВС в воздушном пространстве. Под процессом *самолетовождения* понимается комплекс действий экипажа и наземных служб УВД, направленных на постоянное знание местонахождения самолета и обеспечивающих безопасность и точный полет по заданному маршруту, а также прибытие в пункт назначения на заданной высоте в установленное время. Последняя фраза взята из ОПП. Скажем проще: *самолетовождение – это действия экипажа и наземных служб, которые позволяют всегда знать, где самолет находится в настоящее время и каким курсом и с какой скоростью ему надо лететь, чтобы попасть в заданную точку в заданное время.*

Получив задание на полет, экипаж ВС производит подготовку к полету, которая включает прокладку на карте маршрута полета, составление предварительного штурманского расчета полета и целый ряд других мероприятий. После взлета экипаж, используя технические средства, выводит самолет из зоны аэродрома вылета, затем на заданную трассу (маршрут) полета и в конце маршрута – в зону аэродрома посадки.

Точность самолетовождения зависит от точности выполненных предварительных расчетов и соблюдения режима полета: курса, скорости и высоты. Ошибки, допущенные экипажем в расчетах, и нарушение режима полета могут привести к значительному отклонению самолета от маршрута и большим ошибкам во времени прихода ВС на аэродром посадки. Чтобы своевременно обнаружить и исправить эти ошибки, экипаж должен постоянно осуществлять в полете контроль пути, т.е. вести ориентировку. Пользуясь техническими средствами, необходимо периодически во время полета определять фактическое местонахождение своего самолета и вносить, если это нужно, изменения в

навигационный режим полета – в курс, скорость и высоту. Осуществляя самолетовождение, экипаж использует не только бортовую аппаратуру, но и данные наземных радиотехнических средств контроля, расчеты которых оказывают в полете существенную помощь.

Современные технические средства самолетовождения по характеру первичной информации и принципу действия делятся на четыре группы: *геотехнические, радиотехнические, астрономические и светотехнические*. Технические средства самолетовождения могут быть автономными и неавтономными. Автономные средства не требуют специального наземного оборудования и применяются в полетах любой дальности. К таким средствам относятся геотехнические, астрономические и часть радиотехнических средств самолетовождения. К неавтономным средствам относятся в основном самолетные радиотехнические средства, которые могут быть использованы только в комплексе с различными наземными устройствами.

Принцип действия геотехнических средств самолетовождения основан на измерении различных параметров геофизических полей Земли. Геотехнические средства в комплексе с другими средствами применяются в каждом полете для выдерживания заданного навигационного режима. Простота устройства и малые габариты большинства геотехнических средств, их надежность и автономность являются главными достоинствами этой группы средств самолетовождения, что позволяет широко применять их на всех типах ВС и относить к средствам основного назначения. К недостаткам некоторых геотехнических средств самолетовождения можно отнести сравнительно невысокую точность навигационных измерений и ее зависимость от пройденного самолетом расстояния, а также ограниченные возможности использования при полете в сложных метеорологических условиях. К геотехническим средствам самолетовождения относятся магнитные компасы, гироскопические навигационные и пилотажные приборы, дистанционные гиромагнитные компасы, курсовые системы, указатели воздушной скорости, барометрические высотомеры, термометры наружного воздуха, навигационные индикаторы, инерциальные системы, механические часы и др.

Радиотехнические средства самолетовождения применяются в основном при сложных метеорологических условиях, так как они позволяют решать почти все основные задачи самолетовождения с достаточной для практики точностью. Благодаря высокой точности и автоматизации измерений некоторые радиотехнические средства незаменимы при посадке самолетов в сложных метеорологических условиях. Радиотехнические средства самолетовождения имеют и свои недостатки. К ним в первую очередь относятся ограниченная дальность действия, особенно при полетах на малых высотах, зависимость точности измерений от расстояния между ВС и наземной станцией, а также подверженность естественным и искусственным радиопомехам. К радиотехническим средствам самолетовождения относятся угломерные радиотехнические системы, дальномерные системы, наземные и самолетные радиолокаторы, доплеровские измерители и системы, радиовысотомеры, посадочные системы с их наземным и самолетным оборудованием и др.

Принцип действия астрономических средств самолетовождения основан на измерении различных параметров небесных светил. Автономность и незави-

симось точности измерений от дальности полета создают возможность широкого применения астрономических средств в различных условиях полета. К недостаткам этой группы средств следует отнести ограниченность (невозможность) их применения при отсутствии видимости небесных светил и сравнительная сложность работы с ними в условиях летящего самолета.

К астрономическим средствам самолетовождения относятся самолетные секстанты, астрокомпасы, астрономические ориентиры и др.

Светотехнические средства самолетовождения представляют собой наземные и бортовые источники света. Эта группа средств применяется главным образом ночью и при полетах в сложных метеорологических условиях для создания световых ориентиров. Сравнительно небольшая их дальность действия привела к тому, что светотехнические средства относят к средствам вспомогательного назначения.

К светотехническим средствам самолетовождения относят световые наземные маяки, световое и импульсно-световое оборудование ВПП и ВС, световое оборудование аэродромов и трасс, а также различные пиротехнические средства.

В основе безопасного и точного полета по маршруту, в районе аэродрома, а также при взлете и посадке лежит принцип комплексного использования всех имеющихся технических средств самолетовождения – как наземных, так и бортовых.

## **5.6. Основы инженерно-штурманских расчетов полета**

Инженерно-штурманский расчет полета выполняется экипажем с целью определить общую длину маршрута, время полета по маршруту, запас летного времени в зависимости от продолжительности полета и запаса топлива на самолете, время восхода и захода солнца и т.д. Расчет полета подразделяется на предварительный и окончательный.

*Предварительный расчет полета* производится штурманом без учета ветра по так называемой «штилевой прокладке». Зная расписание полетов (время вылета ВС), штурман ориентировочно определяет продолжительность полета по маршруту и количество топлива, необходимое для выполнения полета. Результаты предварительного расчета записываются в специальный журнал.

*Окончательный расчет полета* производится непосредственно перед вылетом на основе данных о ветре и температуре воздуха в свободной атмосфере (на эшелоне полета), полученных на метеорологической станции в аэропорту (АМСГ – авиационная метеорологическая станция, гражданская). Выполняя окончательный расчет полета, штурман уточняет предварительный расчет, который был сделан заранее.

Общая длина маршрута и расчетное время полета определяется как сумма расстояний и времени между основными точками маршрута (аэродром вылета, исходный пункт маршрута, промежуточные пункты маршрута, конечный пункт маршрута, аэродром посадки).

В результате инженерно-штурманского расчета определяются для каждого прямолинейного участка маршрута аэронавигационные характеристики полета (высота, скорость, курс), а также расход топлива на этом участке и количество оставшегося топлива на борту воздушного судна.

Все расчеты вручную штурман выполняет за 40–45 мин перед полетом и заносит их результаты на бланк штурманского бортового журнала, в его левую половину. В правую половину боржурнала данные заносятся в полете и сравниваются с расчетными. Совершенно очевидно, что от точности расчетов и, самое главное, от точности метеорологической информации о фактической и ожидаемой погоде зависит правильность инженерно-штурманских расчетов.

В начале 90-х годов прошлого столетия в ряде аэропортов страны была введена в действие Автоматизированная система штурманского обеспечения полетов (АСШОП), разработанная сотрудниками РГГМУ совместно с рядом научных организаций гражданской авиации.

Эта система позволяет, используя прогностические данные о распределении геопотенциала в свободной атмосфере, полученные в результате расчета в Гидрометцентре России, выполнять инженерно-штурманские расчеты примерно для 1000 воздушных трасс. Применяя эту систему, можно не только повысить производительность труда летного состава и освободить штурмана от довольно сложных работ, но и получить заметный экономический эффект. Экономический эффект АСШОП возникает из-за того, что используя эту систему, можно достаточно быстро обчислить различные варианты полета из аэропорта вылета до аэропорта назначения (различные эшелоны полета на одной трассе или на различных трассах) и выбрать оптимальный режим и маршрут полета. Существующая сейчас система, основы которой были разработаны С.В. Солониным еще в середине 60-х годов прошлого столетия, дает годовой экономический эффект около 10 млн рублей.

*Это интересно:*

С созданием системы АСШОП связано три интересных эпизода. Во-первых, сообщение С.В. Солонина на научной конференции в Москве о том, что ЭВМ в состоянии выполнить самостоятельно инженерно-штурманский расчет полета, вызвало бурную реакцию Главного штурмана гражданской авиации. Он возразил, сказав, что если ЭВМ сделает штурманский расчет полета, то он, штурман, демонстративно съест свою фуражку. Через год АСШОП была сдана в опытную эксплуатацию и выполняла расчеты по пяти трассам. Съел Главный штурман после этого свою фуражку или нет – осталось неизвестным.

Во-вторых, систему АСШОП разработчики (РГГМУ, а тогда ЛГМИ) первоначально хотели назвать АСМОП – автоматизированная система метеорологического обеспечения полетов. Но заказчик настоял на слове «штурманское». Разработчикам казалось и кажется сейчас, что название АСМОП более соответствует решаемым системой задачам. Однако здесь вступило в силу известное правило: кто платит – тот и заказывает музыку, и систему переименовали.

В-третьих, все штурманские расчеты в рамках АСШОП были выполнены в Главном вычислительном центре гражданской авиации (ГВЦ ГА), который находился в Москве в здании городского аэровокзала. Вся исходную информацию для расчетов получали в Гидрометцентре (ГМЦ), расположенном в трех километрах от ГВЦ ГА. Очень долго (несколько лет) для передачи информации из ГМЦ в ГВЦ ГА использовался оригинальный способ «межмашинного обмена». В ГМЦ необходимая информация записывалась тогда еще на ленту, а не на диск, техник садился в такси и *на машине* вез эту ленту 3 км в ГВЦ ГА. Вот он «межмашинный обмен информацией» в буквальном смысле слова. Сейчас, уже давно таких проблем, естественно, не существует.

### Контрольные вопросы к разделу 1

1. Назовите основную причину возникновения подъемной силы.
2. Какая величина называется аэродинамическим качеством самолета?
3. Что такое поляра крыла самолета?
4. От какой характеристики атмосферы зависит скорость звука?
5. Что такое *число Маха*?
6. Какая скорость полета называется критической?
7. На какой высоте самолеты могут летать со сверхзвуковой скоростью?
8. Назовите основные элементы конструкции самолетов и вертолетов.
9. Какая разница между потребной и располагаемой тягами двигателя?
10. Какая высота называется потолком самолета?
11. Назовите основные этапы взлета и посадки самолета.
12. Для каких целей используются элементы механизации крыла самолета?
13. Какой вид полета самолета называется планированием?
14. Назовите примерные значения скорости отрыва и посадочные скорости для современных самолетов.
15. По каким признакам классифицируются самолеты и вертолеты гражданской авиации?
16. По каким признакам классифицируются аэродромы гражданской авиации?
17. Какая разница между аэродромом и аэропортом?
18. Назовите основные составные части аэродрома.
19. На какие основные части делится воздушное пространство в районе аэродрома?
20. Какие основные типы посадочных систем используются на аэродромах?
21. Что представляет из себя система огней высокой и малой интенсивности (ОВИ и ОМИ)?

## Раздел 2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Уважаемый читатель!

В первом разделе учебника мы познакомили вас с основами аэродинамики, организацией диспетчерской службы в гражданской авиации, системами посадки воздушных судов и многими другими интересными вещами. Теперь вы знаете, почему самолет летает, хотя он большой, тяжелый и железный.

В этом разделе учебника мы займемся – «чистой авиационной метеорологией». В последующих главах мы рассмотрим, как влияют параметры атмосферы на параметры полета воздушного судна, и расскажем, для чего в авиационных прогнозах погоды указывается та или иная метеорологическая величина.

### Глава 6

### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

#### 6.1. Стандартная атмосфера и ее назначение

Все параметры атмосферы значительно изменяются в пространстве и времени. Действительно, при производстве наблюдений на земном шаре зафиксированы температуры воздуха у земли от 50° тепла до 85° мороза, а атмосферное давление – от 890 до 1080 гПа.

Такие перепады значений метеорологических величин приводят к тому, что становится невозможным прямое сравнение результатов различных испытаний техники, особенно авиационной, которые проводятся в разных условиях. Для того чтобы эти результаты можно было сравнивать, и введено понятие *стандартная атмосфера*. Стандартная атмосфера представляет собой осредненные значения метеорологических величин у земли и на высотах, которые приняты во всем мире и которые не зависят ни от географического района, ни от времени года, ни от времени суток.

В настоящее время в нашей стране принята стандартная атмосфера (СА-81), которая соответствует международной. Данные стандартной атмосферы являются осредненными величинами многолетних наблюдений и соответствуют летнему периоду на широте примерно 45°.

На практике наиболее широкое распространение и применение получили следующие параметры стандартной атмосферы:

- атмосферное давление у земли ( $p_0 = 760$  мм рт. ст. = 1013,2 гПа);
- температура воздуха у земли ( $T_0 = 15$  °С = 288 К);
- ускорение свободного падения ( $g = 9,80665$  м/с<sup>2</sup>);
- плотность воздуха у земли ( $\rho = 1,2255$  г/см<sup>3</sup>);
- относительная влажность воздуха на всех высотах ( $R = 0$ );
- ветер на всех высотах – *штиль*;
- вертикальный градиент температуры в слое 0–11 км ( $\gamma_{0-11} = 0,65$  К/100 м);
- вертикальный градиент температуры в слое 11–20 км ( $\gamma_{11-20} = 0$ );
- температура нижней и средней стратосферы ( $T_{11-20} = -56,5$  °С = 216,5

К = const);

– скорость звука [ $a = 20,05 T^{0,5}$  (м/с), где  $T$  – температура воздуха (К)].

Изменение атмосферного давления с высотой в стандартной атмосфере от земли до высоты 11 км происходит по закону политропной атмосферы (температура воздуха с высотой убывает по линейному закону  $T_H = T_0 - \gamma H$ ), а выше, до высоты 20 км – по закону изотермической атмосферы ( $T = \text{const}$ ).

В табл. 6.1 приведены значения трех основных параметров стандартной атмосферы от земли до высоты 20 км.

Таблица 6.1

**ПАРАМЕТРЫ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ**  
(сокращенные данные)

Высота, м	Температура воздуха		Атмосферное давление		Скорость звука, м/с
	К	°С	гПа	мм рт. ст.	
1	2	3	4	5	6
0	288,15	15,0	1013,2	760,0	340,3
500	284,90	11,8	954,6	716,0	338,4
1000	281,65	8,5	898,8	674,1	336,4
2000	275,15	2,0	795,0	596,3	332,5
3000	268,65	-4,5	701,1	525,9	328,6
4000	262,15	-11,0	616,4	462,3	324,6
5000	255,65	-17,5	540,2	405,2	320,5
6000	249,15	-24,0	471,8	353,9	316,4
7000	242,65	-30,5	410,6	308,0	312,3
8000	236,15	-37,0	356,0	267,0	308,1
9000	229,65	-43,5	307,4	230,6	303,8
10 000	223,15	-50,0	264,4	198,3	299,5
12 000	216,5	-56,5	193,3	145,0	295,1
14 000	216,5	-56,5	141,0	105,8	295,1
16 000	216,5	-56,5	102,9	77,2	295,1
18 000	216,5	-56,5	75,0	56,3	295,1
20 000	216,5	-56,5	54,8	41,1	295,1

Используя параметры стандартной атмосферы, можно успешно решать различные вопросы, связанные с оценкой и сравнением результатов испытаний и проверки любой техники, особенно авиационной.

**6.2. Влияние температуры и давления на показания барометрического высотомера**

Проблема измерения высоты, на которой летит воздушное судно, не такая простая, как может показаться на первый взгляд. Действительно, если самолет летит горизонтально (рис. 6.1), то о какой высоте полета или о каких высотах полета можно говорить?

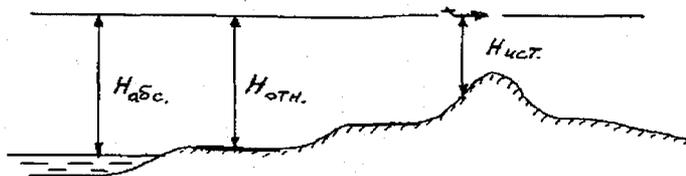


Рис. 6.1. К определению высоты полета самолета.

Как видно из рисунка, можно говорить об истинной высоте полета ( $H_{ист}$ ), абсолютной высоте полета ( $H_{абс}$ ) – высоте полета над уровнем моря, а также об относительной высоте полета ( $H_{отн}$ ) – высоте полета относительно аэродрома вылета (посадки) или относительно стандартного давления у земли.

Высота полета может определяться или с помощью радиотехнических средств, или с помощью барометрического высотомера. При использовании радиовысотомера определяется истинная высота полета ( $H_{ист}$ ). Принцип работы прибора основан на измерении времени прохождения радиоволны расстояния от передатчика, установленного на борту самолета, до поверхности земли и обратно.

Радиовысотомеры обеспечивают высокую точность измерений, их показания не зависят от метеорологических условий и скорости полета. Однако использовать радиовысотомеры при полетах трудно, особенно над пересеченной местностью, так как в этом случае показания высотомера будут «прыгать» со скоростью изменения высоты рельефа.

Основным методом измерения высоты в полете является барометрический метод, использующий закономерности изменения атмосферного давления с высотой. Иными словами, летчик в полете измеряет не высоту полета, а давление на высоте полета и, введя в показания высотомера необходимые поправки, определяет высоту полета. Основная шкала барометра (высотомера) градуируется в единицах высоты для условий стандартной атмосферы. Принципиальная схема барометрического высотомера представлена на рис. 6.2.

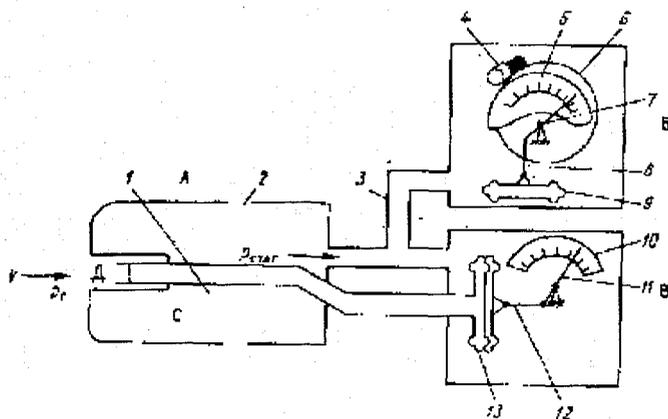


Рис. 6.2. Принципиальная схема приемника воздушного давления (А), барометрического высотомера (Б) и указателя воздушной скорости (В):

- 1 – приемник полного давления; 2 – приемник статического давления; 3 – трубопровод;
- 4 – кремальера; 5 – шкала высот; 6 – подвижная шкала давления; 7, 8 – передаточный механизм барометрического высотомера; 9 – барометр-анероид; 10 – шкала указателя скорости; 11, 12 – передаточный механизм указателя воздушной скорости; 13 – манометрическая коробка;
- С – статическая камера ПВД; Д – динамическая камера ПВД.

Высотомер устанавливается в кабине самолета на приборной доске. Так как давление в кабине может существенно отличаться от давления воздуха на уровне полета, то прибор при помощи специального трубопровода соединяется с приемником воздушного давления (ПВД), который имеет отверстия для связи

с атмосферой (рис. 6.2). ПВД устанавливается таким образом, чтобы самолет не оказывал искажающего влияния на воздушный поток. При этом уменьшаются аэродинамические ошибки, зависящие от скорости полета самолета, типа ПВД и места его расположения.

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

*Барометрическая ошибка* устраняется при внесении поправки на давление путем установки подвижной шкалы высотомера в соответствующее положение. Перед взлетом самолета пилот при помощи кремальеры 4 устанавливает стрелки прибора на нулевое деление. При этом нулю высоты по шкале 5 соответствует значение давления на подвижной шкале 6, равное давлению воздуха на уровне ВПП. В дальнейшем высотомер будет показывать *относительную высоту* – высоту, относительно аэродрома вылета.

Чтобы выдерживать в полете высоту эшелона, летчик после достижения безопасной высоты обязан на подвижной шкале 6 установить давление 760 мм рт. ст. в качестве исходного значения для отсчета высоты эшелона относительно давления на уровне моря в условиях СА. И так делают все экипажи, находящиеся в воздухе.

*Это интересно:*

Перед полетом летчик должен по подвижной шкале высотомера установить то значение атмосферного давления, которое ему сказали на АМСГ. Обычно он этого не делает, а просто на высотомере устанавливает стрелки на «ноль высоты». Установив стрелки высотомера на ноль, летчик может проверить, правильно или нет синоптик замерил давление. Для этого после установки стрелок на ноль нужно отсчитать по подвижной шкале прибора значение атмосферного давления, приведенного к уровню ВПП. Если значение давления, указанное летчику на АМСГ, и давление на подвижной шкале высотомера в момент, когда стрелки прибора показывают «ноль», совпадают, то давление замерено правильно.

И еще одно замечание по этому же поводу: летчик во время полета «касается» высотомера всего три раза: *первый* – устанавливает ноль высоты перед вылетом; *второй* – после набора безопасной высоты устанавливает по подвижной шкале давление 760 мм рт. ст. и *третий* – перед посадкой устанавливает давление на уровне ВПП аэродрома посадки. Все остальное время он на высотомер только смотрит.

На вопрос диспетчера: «Ваша высота?» командир летящего самолета может ответить: «6000 м по стандарту» или, предположим, «500 м по вашему давлению». В первом случае на высотомере на подвижной шкале установлено давление 760 мм, а во втором – давление на уровне ВПП аэродрома посадки.

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

Сведения об атмосферном давлении в миллиметрах ртутного столба на уровне ВПП обязательно передаются на борт самолета в сводке погоды, составляемой на авиаметеорологической станции. Если АМСГ, на которой производится измерение атмосферного давления, расположена выше или ниже уровня ВПП, то давление приводится к уровню «рабочего старта» взлетной полосы, а его значение переводится из гектопаскалей в миллиметры ртутного столба. Ошибки в определении давления на уровне ВПП могут явиться причи-

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

*Это интересно:*

– поправка к показанию барометра при приведении давления к уровню ВПП вводится в тех случаях, когда разница в высотах нуля барометра и «рабочего старта» ВПП превышает 2 м. Здесь не напрасно говорится именно о «рабочем старте». Очень часто бывает так, что один торец ВПП расположен выше другого на несколько метров, и иногда при полете с одним курсом поправку на приведение к уровню ВПП вводить не нужно (превышение менее 2 м), а при полете с противоположным стартом – обязательно;

– измерение давления с ошибкой в 5 мм рт. ст. и более и передача этого давления на борт самолета, заходящего на посадку, считается предпосылкой к летному происшествию по вине метеослужбы. Однако ошибки в 5 мм рт. ст. встречаются крайне редко. Намного чаще наблюдатели ошибаются на ... 10 мм рт. ст. Дело в том, что при отсчете давления значения «755» и «750» практически перепутать невозможно, а вот «750» и «760» перепутать достаточно легко. А ведь это уже ошибка на 100 метров высоты! Это очень много.

Температурная ошибка возникает за счет отклонения средней температуры слоя от земли до заданной высоты полета от стандартного значения. Значение этой ошибки рассчитывается штурманом, но по нашим (метеорологическим) данным о распределении температуры воздуха с высотой. Расчет производится по формуле

$$Z_{\phi} = Z_{ca} \frac{T_{cp.\phi}}{T_{cp.ca}}, \quad (6.1)$$

где  $T_{cp} = 0,5(T_o + T_z)$ ;  $T_o$  и  $T_z$  – температура у земли и на эшелоне полета соответственно.

В принципе, сохраняя постоянную высоту полета, самолет летит не по какой-то горизонтали, а по изобаре, раз высота в полете измеряется по барометрическому высотомеру. Если не учитывать отклонение средней температуры слоя от стандартного значения, то ошибки в определении высоты полета могут составить 8–13 %, а это уже достаточно много.

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

### **6.3. Влияние температуры и давления на показания указателя воздушной скорости**

Для определения скорости движения самолета относительно воздуха (воздушной скорости  $V$ ) используется специальный прибор – *указатель воздушной скорости*. Принцип его действия основан на измерении динамического давления (скоростного напора  $q$ ) – разности между полным  $p_n$  и статическим  $p_{стат}$  давлением воздуха в полете.

Приемной частью указателя воздушной скорости, как и барометрического высотомера, является приемник воздушного давления (ПВД, рис. 6.2). В динамическую камеру ПВД через отверстие, обращенное в сторону потока, попадает полное давление ( $p_n$ ). По трубопроводу это давление передается в полость

манометрической коробки 13. Через боковые отверстия 2 в статическую камеру ПВД передается статическое давление ( $p_{\text{стат}}$ ). Это же давление благодаря наличию второго трубопровода устанавливается в герметическом корпусе прибора. Под действием разности динамического и статического давлений происходит деформация манометрической коробки 13, которая при помощи передаточного механизма 11, 12 передается стрелкам указателя воздушной скорости.

Таким образом, если статическое давление ( $p_{\text{стат}}$ ) – это давление на высоте полета, то полное давление ( $p_{\text{п}}$ ) больше статического на величину скоростного напора  $q$ :

$$q = (p_{\text{п}} - p_{\text{стат}}) = A \frac{\rho_{h, \phi} V_{\text{ист}}^2}{2}, \quad (6.2)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности;  $\rho_{h, \phi}$  – плотность воздуха на высоте полета;  $V_{\text{ист}}$  – истинная скорость полета.

Если к мембранной коробке «приделать» стрелку и шкалу, то такой прибор будет показывать скорость полета. Однако тут есть одна проблема: на каждой высоте «своя» плотность, а это значит, что при одной и той же скорости полета на разных высотах будет «своя» скорость. Поэтому шкалу указателя воздушной скорости градуируют относительно плотности воздуха у земли в стандартных условиях ( $\rho_{0, \text{ст}}$ ). При этом указатель скорости покажет так называемую приборную скорость ( $V_{\text{пр}}$ ). Показания прибора можно определить по формуле:

$$q = A \frac{\rho_{0, \text{ст}} V_{\text{пр}}^2}{2}. \quad (6.3)$$

Так как показания прибора зависят только от значения скоростного напора ( $q$ ), то на основании выражений (6.2) и (6.3) можно записать выражение (6.4):

$$\rho_{h, \phi} V_{\text{ист}}^2 = \rho_{0, \text{ст}} V_{\text{пр}}^2. \quad (6.4)$$

Из последнего выражения просто находится истинная скорость полета в зависимости от показаний указателя воздушной скорости:

$$V_{\text{ист}} = V_{\text{пр}} \sqrt{\frac{\rho_{0, \text{ст}}}{\rho_{h, \phi}}}. \quad (6.5)$$

В настоящее время на воздушных судах используются не указатели скорости, а комбинированные указатели скорости, так называемые КУСы. Эти приборы имеют две стрелки, а не одну. Толстая стрелка показывает приборную скорость полета, а тонкая стрелка – истинную скорость полета, но только в случае стандартного распределения температуры воздуха с высотой. В реальных условиях скорость полета, измеренная по тонкой стрелке, может отличаться от фактической скорости полета на 10–15 %. Все поправки при определении скорости полета в показания КУСа вводит и определяет штурман по метеорологическим данным, полученным от синоптика.

Если вспомнить уравнение состояния ( $p = \rho RT$ ), то еще раз становится понятным, почему метеослужба прогнозирует температуру воздуха и атмосферное давление в интересах обеспечения авиации.

*Это интересно:*

При полете сверхзвуковых самолетов в стратосфере иногда может получиться очень интересная картина. Представьте себе, что самолет летит на высоте 20 000 м со

скоростью около 2000 км/ч, а приборная скорость этого самолета, определяемая по толстой стрелке КУСа, покажет нам скорость не более 600 км/ч. Все дело в скоростном напоре и небольшой плотности воздуха на такой высоте. А вот тонкая стрелка этого прибора уже обязательно покажет нам сверхзвуковую скорость полета.

#### 6.4. Влияние температуры и давления на аэродинамические характеристики воздушных судов

Основные аэродинамические характеристики воздушных судов были рассмотрены в третьей главе этого учебника, причем с точки зрения аэродинамики, а не метеорологии. Сейчас попробуем подойти к этой проблеме с другой стороны.

Известно (см. главу 3), что самолет может лететь горизонтально в том случае, если подъемная сила равна его массе, т.е.  $Y = G$ . Следовательно, исходя из формулы подъемной силы,

$$Y = G = c_y S \frac{\rho V_{\text{гн}}^2}{2}, \quad (6.6)$$

потребная скорость горизонтального полета будет равна

$$V_{\text{гн}} = \sqrt{\frac{2G}{c_y S \rho}} = \sqrt{\frac{2GRT}{c_y S p}}. \quad (6.7)$$

Как видно из двух последних выражений, потребная скорость горизонтального полета будет увеличиваться в том случае, если на высоте полета уменьшается плотность воздуха (уменьшается давление и увеличивается температура). Таким образом, становится понятно, почему при определении потребной скорости полета тоже не обойтись без прогноза температуры воздуха.

Из выражения (6.7) видно, что с увеличением высоты полета увеличивается и потребная скорость горизонтального полета, так как с высотой уменьшается плотность воздуха. Кроме того, из последнего выражения видно, что увеличение температуры приводит также к увеличению потребной скорости.

Для оценки влияния температуры на потребную скорость полета логарифмически продифференцируем выражение (6.7). Тогда получим

$$\Delta V_{\text{потр}} = \frac{1}{2} V_{\text{потр}} \frac{\Delta T}{T}, \quad (6.8)$$

где  $\Delta T$  — отклонение температуры воздуха от стандартного значения.

Только за счет отклонения температуры воздуха от стандартной потребная скорость полета может измениться на 100 км/ч и более, но ее определение уже дело штурмана, а не метеослужбы.

#### 6.5. Влияние температуры и давления на тягу двигателя и расход топлива

По принципу создания тяги авиационные двигатели подразделяются на *винтовые*, создающие тягу вращением воздушного винта, *реактивные*, в которых тяга возникает за счет истечения газов из реактивного сопла двигателя, и комбинированные — *турбовинтовые* (ТВД), в которых основная тяга создается

воздушным винтом, а примерно 8–12 % «добавляется» за счет истечения продуктов сгорания.

Винтовые или поршневые двигатели устанавливаются на самолетах с небольшой скоростью полета (200–500 км/ч), а также на вертолетах. Турбовинтовые двигатели нашли свое применение, в основном, на самолетах со скоростью полета 500–800 км/ч, а реактивные или турбореактивные (ТРД) – как на дозвуковых, так и на сверхзвуковых самолетах.

Наибольшая сила тяги, которую может развить двигатель на данной высоте при максимальном режиме его работы, называется *располагаемой тягой* и обозначается  $P_p$ .

Располагаемая тяга ТРД в значительной мере определяется давлением и температурой воздуха на высоте полета. Эта зависимость следует из принципа работы двигателя, схема которого представлена на рис. 6.3.

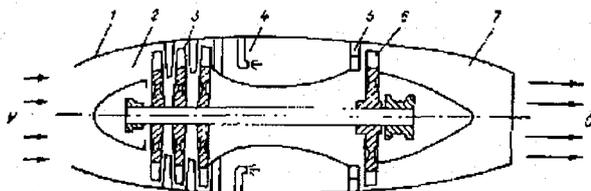


Рис. 6.3. Принципиальная схема турбореактивного авиационного двигателя:

1 – корпус; 2 – воздухозаборник; 3 – компрессор; 4 – камера сгорания;  
5 – сопловый аппарат; 6 – турбина; 7 – реактивное сопло.

Атмосферный воздух, поступающий в ТРД при полете самолета со скоростью  $V$ , сжимается в воздухозаборнике и далее в турбокомпрессоре. Сжатый, а следовательно, и нагретый воздух подается в камеру сгорания, в которую поступает топливо (авиационное топливо для реактивных самолетов – керосин). Образовавшиеся при сгорании топлива газы вращают турбину и через реактивное сопло вытекают наружу. Скорость истечения газов  $C$  значительно превышает скорость полета самолета  $V$ , за счет чего и возникает реактивная тяга. Таким образом, в двигателе происходит изменение количества движения газов.

Из механики, на основании третьего закона Ньютона, известно, что импульс силы равен изменению количества движения, т.е. в общем случае можно записать:

$$P_p dt = d(mV) = m dV + V dm. \quad (6.9)$$

Примем  $dt = 1$  с. Тогда в левой части выражения (6.9) у нас останется только располагаемая тяга  $P_p$ , а в правой –  $(m dV + V dm)$ . Для нашего случая можно записать:

$$P_p = \frac{G_{\text{воз}}}{g} (C - V) + \frac{G_{\text{т}}}{g} C, \quad (6.10)$$

где  $G_{\text{воз}}$ ,  $G_{\text{т}}$  – масса воздуха и топлива, проходящие через двигатель за секунду;  $g$  – ускорение свободного падения.

Так как масса воздуха, проходящая через двигатель, значительно больше массы топлива, сгорающей в двигателе за это же время, то вторым слагаемым в

правой части уравнения (6.10) можно пренебречь. Тогда в окончательном виде получим

$$P_p = \frac{G_{\text{воз}}}{g} (C - V). \quad (6.11)$$

Из последнего выражения видно, что тяга двигателя зависит от массы воздуха, проходящей через него в единицу времени, а следовательно, от температуры и давления. При полете на постоянной высоте тяга двигателя зависит только от температуры (вспомните уравнение состояния).

Вот еще одна причина, для чего в прогнозах погоды для авиации указывается температура воздуха.

*Это интересно:*

Иногда в таких простых схемах двигателей (см. рис. 6.3) дополнительно показывают так называемую форсажную камеру. Эта камера расположена за турбиной и служит для дополнительного поступления топлива в двигатель. Топлива поступает много, что позволяет значительно, примерно на четверть, увеличить тягу двигателя. Такой режим полета используется для взлета самолета, а также для кратковременного увеличения скорости полета (для военных самолетов). Постоянно лететь на форсажном режиме нельзя из-за большого расхода топлива. Так, при включении форсажа расход керосина в двигателе составляет *ведро в секунду!* Попробуйте за секунду вылить ведро воды, а в двигателе ведро керосина сгорит. Вот это и создает дополнительную тягу.

Говоря о расходе топлива, следует иметь в виду, что в авиации чаще всего используются два понятия о расходе топлива: часовой и километровый.

Часовой расход топлива ( $c_h$ ) показывает, сколько топлива расходует воздушное судно за час полета. Часовой расход зависит только от температуры воздуха, его плотности и скорости полета (оборотов двигателя). Измеряется часовой расход в кг/ч и в среднем составляет для самолета Ту-154 примерно 7000 кг/ч, для Ту-134 – 3500 кг/ч и для Ил-62 или Ил-86 – 9000–10 000 кг/ч.

Километровый расход топлива ( $c_k$ ) показывает, какое количество топлива необходимо воздушному судну для того, чтобы пролететь 1 км. Измеряется километровый расход топлива в кг/км и зависит не только от температуры, плотности воздуха и скорости полета, но и от скорости и направления ветра и направления полета (об этом подробнее мы остановимся ниже). Если учесть, что скорость наших магистральных самолетов равна 800–900 км/ч, то километровый расход топлива составляет для них 5–10 кг/км.

Часовой и километровый расходы топлива связаны между собой соотношением

$$c_h = c_k V, \quad (6.12)$$

где  $V$  – скорость полета.

Из теории подобия можно получить зависимость фактического часового расхода топлива ( $c_{h, \phi}$ ) от фактической температуры воздуха на высоте полета ( $T_{\phi}$ ). Эта зависимость выглядит следующим образом:

$$c_{h, \phi} = c_{h, \text{ca}} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{\text{ca}}}}. \quad (6.13)$$

Из последнего выражения видно, что при переходе от зимы к лету, в отличие от автомобильного транспорта, часовой расход топлива на воздушном транспорте увеличивается, и это увеличение составляет 5–6 %.

Кроме часового и километрового расходов топлива, иногда в авиации используется такое понятие, как *удельный расход топлива* ( $c_p$ ), который показывает, какое количество топлива необходимо для создания 1 кг тяги. Измеряется удельный расход в [кг топлива/кг тяги], и для наших магистральных самолетов он равен  $c_p = 0,4 - 0,6$ . Однако удельный расход топлива является «более авиационной величиной», чем это нужно специалистам-метеорологам, поэтому о нем мы больше говорить не будем.

### 6.6. Влияние температуры и давления на взлет и посадку воздушных судов

Перед взлетом самолет выруливает на взлетную полосу, останавливается, а затем, получив разрешение диспетчера старта, начинает разбег по ВПП. Самолет взлетит тогда, когда при разбеге его скорость станет равна скорости отрыва, т.е.

$$V_{\text{отр}} = \sqrt{\frac{2G}{c_{y,\text{отр}} \rho}} \quad (6.14)$$

Очевидно, что раз в последней формуле есть плотность воздуха  $\rho$ , то любые изменения температуры и давления, приводящие к уменьшению плотности, увеличивают скорость отрыва. Это, в свою очередь, увеличивает длину разбега самолета. Для определения длины разбега в любых условиях можно воспользоваться формулой

$$L_{\text{разб, ф}} = \frac{L_{\text{разб, са}}}{\Delta^3}, \quad (6.15)$$

где  $L_{\text{разб, ф}}$  – фактическая длина разбега самолета,  $L_{\text{разб, са}}$  – длина разбега самолета в стандартных условиях, а  $\Delta = \frac{\rho_{0,\text{ф}}}{\rho_{0,\text{са}}}$  – соотношение фактической и стандартной плотности воздуха у земли.

Простые расчеты показывают, что увеличение температуры воздуха на 1° приводит к увеличению длины разбега на 1%, а увеличение атмосферного давления на 1% приводит к уменьшению длины разбега на 2%.

Аналогичные процессы происходят и при посадке ВС. Так, при увеличении температуры воздуха и уменьшении давления (уменьшении плотности) посадочная скорость самолетов увеличивается, а следовательно, увеличивается и длина пробега. Фактическую длину пробега самолета при любой температуре можно определить по формуле

$$L_{\text{проб, ф}} = L_{\text{проб, са}} (0,95 + 0,0031t), \quad (6.16)$$

где  $t$  – температура воздуха, °C;  $L_{\text{проб, ф}}$  и  $L_{\text{проб, са}}$  – фактическая и стандартная длина пробега соответственно.

Установлено, что изменение температуры воздуха на 3° изменяет посадочную скорость на 1 км/ч, что соответствует изменению массы самолета на 250–300 кг.

*Это интересно:*

– в России (да и не только в России) есть аэродромы, на которых при высоких температурах воздуха нельзя выполнять ни взлет, ни посадку – слишком короткая ВПП. Приходится переносить вылеты самолетов на вечернее и ночное время, когда станет не так жарко, и температура воздуха понизится до значений, при которых полеты разрешены.

– иногда студентам на зачетах или экзаменах можно задать вопрос «на засыпку»: в каких условиях зимой или летом при одинаковом давлении будет больше длина разбега самолета?, или: где больше длина разбега самолета при одинаковой температуре – в циклоне или антициклоне? Попробуйте сами ответить на эти вопросы.

### **6.7. Влияние температуры и давления на скороподъемность и потолок**

О скороподъемности и потолке самолетов мы говорили в третьей главе учебника. Там же были введены понятия теоретического, практического, динамического и боевого потолка. Если забыли – посмотрите, пожалуйста, еще раз эту главу. Ниже мы рассмотрим только влияние температуры и давления на эти характеристики.

Совершенно очевидно, что увеличение плотности воздуха приводит к увеличению тяги двигателя, а следовательно, и к увеличению потолка самолета. Величина фактического потолка ВС может быть определена по следующей формуле:

$$H_{\text{пот, ф}} = H_{\text{пот, са}} - (760 - p_{\text{o, ф}})10 - (T_{\text{трпп, ф}} - T_{\text{трпп, са}})80, \quad (6.17)$$

где  $H_{\text{пот, ф}}$ ,  $H_{\text{пот, са}}$  – высота потолка самолета фактическая и в стандартных условиях соответственно;  $p_{\text{o, ф}}$  – фактическое давление воздуха у земли, мм рт. ст.;  $T_{\text{трпп, ф}}$  и  $T_{\text{трпп, са}}$  – фактическая и стандартная температура тропопаузы соответственно.

Иногда последнее выражение записывают несколько иначе, определяя по формуле не потолок самолета, а его отклонение от стандартного значения. В этом случае выражение (6.17) принимает вид:

$$\Delta H_{\text{пот}} = H_{\text{пот, ф}} - H_{\text{пот, са}} = (p_{\text{o, ф}} - 760)10 - (T_{\text{трпп, ф}} - T_{\text{трпп, са}})80. \quad (6.18)$$

Анализируя формулу (6.18), легко убедиться в том, что повышение давления у земли и понижение температуры на высоте полета (и то, и то приводит к увеличению плотности воздуха, а следовательно, и тяги двигателя) являются теми причинами, из-за которых потолок самолета может быть выше стандартного значения. Из этой же формулы видно, что влияние температуры на изменение потолка самолета примерно на порядок больше, чем влияние атмосферного давления у земли. Поэтому для определения потолка самолета иногда пользуются упрощенной формулой

$$\Delta H_{\text{пот}} = \kappa \Delta T_H, \quad (6.19)$$

где  $\kappa$  – коэффициент, зависящий от типа самолета и показывающий, на сколько метров изменится потолок при изменении температуры на  $1^\circ$ ;  $\Delta T_H$  – отклонение температуры воздуха от стандартного значения на высоте потолка самолета.

Коэффициент  $\kappa$  измеряется в *м/град* и равен для Ту-134 (–40), для Ту-154 (–55), для Ил-62 (–100) и для Ил-86 (–130).

Имеет свои особенности определение потолка сверхзвуковых самолетов. Как известно, выполнять полеты на сверхзвуковой скорости на высотах ниже 10 000 м запрещено (об этом мы говорили в первом разделе учебника). Поэтому самолет сначала на дозвуковом режиме набирает высоту 10 000–11 000 м, затем летчик в горизонтальном полете разгоняет самолет до сверхзвуковой скорости и только после этого снова переводит самолет на режим набора высоты. Используя инерцию разгона и свои аэродинамические качества, самолет или попадает в область динамических высот, или набирает заданную высоту полета (рис. 6.4).

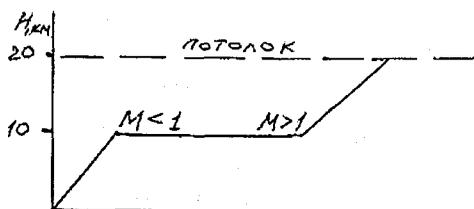


Рис. 6.4. Траектория полета сверхзвукового самолета при полете на потолок.

Совершенно очевидно, что стратосферный самолет всегда наберет высоту 10 000–11 000 м (высоту разгона), а на его потолок будет оказывать влияние, в основном, только распределение температуры воздуха в слое от высоты разгона до потолка (рис. 6.5).

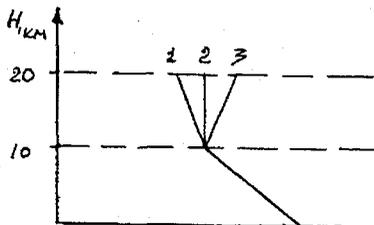


Рис. 6.5. К определению потолка сверхзвукового самолета.

На рис. 6.5 приведены три возможных варианта распределения температуры воздуха в слое от высоты разгона до потолка. Естественно, что в первом случае, при котором температура воздуха продолжает понижаться (плотность воздуха уменьшается медленнее, чем в двух других случаях), потолок самолета будет самым высоким. Следовательно, можно в слое от высоты разгона самолета до его потолка найти такую высоту, на которой температура будет характеризовать общие температурные условия набора высоты во всем этом слое. Если учесть, что разгон производится на высотах 10 000–11 000 м, а потолок самолетов близок к 20 000 м, то такой «реперной» высотой может служить высота поверхности 100 гПа (это около 16 км). Эта высота удобна еще и тем, что информация о температуре на уровне 100 гПа всегда есть в данных температурно-ветрового зондирования атмосферы. Поэтому мы можем построить график зави-

симости высоты потолка самолета от температуры воздуха на уровне 100 гПа и конечной скорости разгона. Образец такого графика приведен на рис. 6.6.

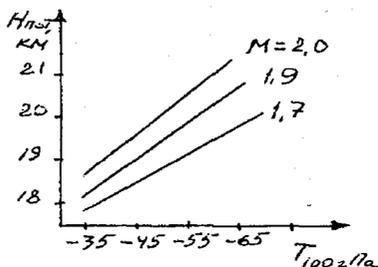


Рис. 6.6. График зависимости потолка самолета от температуры на уровне 100 гПа и конечной скорости разгона.

Пользование последним графиком дополнительных пояснений не требует. Однако хотелось бы заострить ваше внимание, уважаемый читатель, вот на каком моменте. Дело в том, что ни по каким документам, регламентирующим работу метеослужбы по метеорологическому обеспечению авиации, ей не вменяется в обязанность определять потолок самолета. Делать это — значит наживать себе «головную боль». Так нужно ли это делать?! И все-таки, пожалуй, нужно. Если мы вспомним, что являемся службой, которая должна обеспечивать безопасную работу гражданской авиации, то такой вопрос даже не должен возникать. Единственное, что нужно сделать, так это предварительно (до внедрения в практику метеорологического обеспечения) ознакомить с этим графиком руководство авиапредприятия, научить им пользоваться, показать его преимущества перед другими методами определения потолка и получить разрешение руководства на его использование. Если ваше авиационное руководство не пойдет на этот шаг, то это, как говорят, их проблемы, но ваша совесть в этом случае должна быть спокойна — вы сделали все, что в ваших силах.

*Это интересно:*

Обычно считают, что разгон самолета производится на уровне тропопаузы, и поэтому пилоты часто спрашивают у синоптика и высоту, и температуру тропопаузы. В принципе это не совсем верно (совсем неверно). Дело в том, что даже в наших широтах высота тропопаузы может быть равна и 9 км, и 13 км. Однако на этих высотах самолет разогнаться никогда не будет, так как в первом случае ВС будет долго разгоняться до заданной скорости из-за большого лобового сопротивления на сравнительно небольшой высоте и израсходует слишком много топлива. Во втором случае самолет на дозвуковом режиме будет очень долго набирать высоту разгона и тоже израсходует слишком много топлива. Поэтому при выборе высоты разгона нужно «привязываться» не к высоте тропопаузы, а к той высоте, на которой в слое от 10,0 до 11,5 км наблюдается минимальная температура. Эта высота будет оптимальной для разгона самолета.

Давнишняя «привязанность» летчиков к тропопаузе объясняется тем, что в то время, когда только-только начинали летать в стратосфере (конец 50-х годов прошлого века), за эти полеты платили дополнительно 1 рубль за минуту нахождения в стратосфере. По тем временам это были достаточно большие деньги. И вот летчики из поколения в поколение интересуются с тех пор тропопаузой. Безусловно, тропопауза является задерживающим слоем, где чуть сильнее турбулентность и чуть хуже видимость, чем в соседних слоях, но относить ее к слоям, опасным для полетов, пожалуй, смысла нет. Кстати, при полете в зоне тропопаузы ее можно увидеть. Если перед вами на высоте

полета белесое небо, а выше – синее или даже фиолетовое, то граница между белесым и фиолетовым небом и есть верхняя граница задерживающего слоя, т.е. тропопауза. Будете в полете – присмотритесь к небу. Если вам повезет, то и вы увидите тропопаузу.

## 6.8. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз температуры воздуха у земли и на высотах

### 6.8.1. Прогноз минимальной температуры воздуха

Для прогноза минимальной температуры воздуха на практике может использоваться целый ряд методов и приемов, которые прошли в течение нескольких лет (а иногда и десятков лет) оперативную проверку в различных регионах России. К таким методам можно отнести следующие.

**Метод А.С. Зверева.** Метод Зверева позволяет определить по номограммам ночное понижение температуры с учетом облачности и ветра (рис. 6.7 и 6.8).

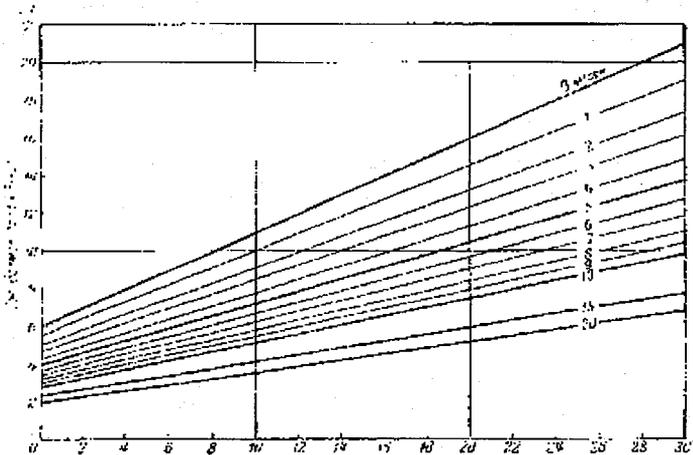


Рис. 6.7. Номограмма для определения ночного понижения температуры по данным наблюдений в 13 ч.

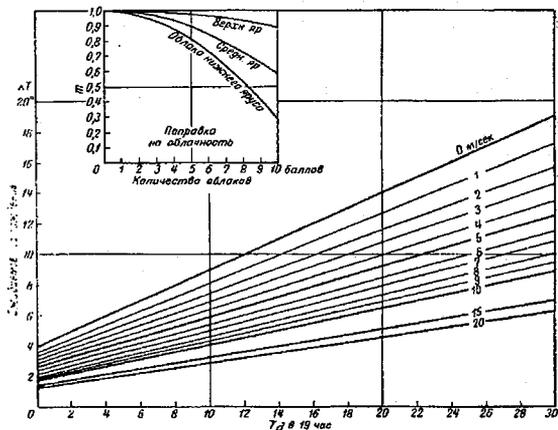


Рис. 6.8. Номограмма для определения ночного понижения температуры по данным наблюдений в 19 ч.

В обеих номограммах по горизонтальной оси откладывается значение (фактическое) температуры точки росы за 13 или 19 ч, а по вертикальной оси – ночное понижение температуры при безоблачном небе. Наклонные линии указывают прогностическое значение скорости ветра.

Для получения ночного понижения температуры ( $\Delta T$ ) нужно от исходного значения температуры точки росы подняться по вертикали до линии, соответствующей спрогнозированному значению скорости ветра, а затем по вертикальной оси определить  $\Delta T$ .

Для получения ночного понижения температуры при наличии облачности следует воспользоваться формулой

$$\Delta T_{\text{обл.}} = m\Delta T,$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий количество и высоту облачности в ночное время (прогноз) и определяющийся по дополнительному графику на рис. 6.8.

Тогда в окончательном виде минимальную температуру воздуха можно определить следующим образом:

$$T_{\text{мин}} = T_{13} - m\Delta T_{13} \text{ или } T_{\text{мин}} = T_{19} - m\Delta T_{19}. \quad (6.20)$$

А.С. Зверев предложил также простые формулы для определения минимальной температуры при ясной и тихой погоде. Эти формулы имеют вид:

$$T_{\text{мин}} = T_{13} - 0,5(T_{13} - T_{d13}) - 6$$

или

$$T_{\text{мин}} = T_{19} - 0,5(T_{19} - T_{d19}) - 4, \quad (6.21)$$

где  $T$  и  $T_d$  – температура и температура точки росы за соответствующий срок.

В принципе метод прогноза температуры, предложенный Зверевым, очень простой, но есть одна тонкость, которая делает его не очень удобным на практике. Обычно прогноз погоды на ночь должен быть готов к 17 ч местного времени [в формулах (6.20) и (6.21) – время местное], а это значит, что в 19 ч его составлять уже поздно. Следовательно, использование второй записи формул (6.20) и (6.21) на практике проблематично. Справедливости ради нужно отметить, что этим же недостатком «страдают» и другие методы прогноза минимальной температуры.

*Метод М.Е. Берлянда.* М.Е. Берлянд предложил две формулы для прогноза минимальной температуры, которые получили достаточно широкое распространение. Первая формула имеет вид

$$T_{\text{мин}} = T_{\text{макс}} - mA, \quad (6.22)$$

где  $T_{\text{макс}}$  – максимальная (наблюдавшаяся) температура воздуха,  $m$  – коэффициент, учитывающий прогноз облачности, как и в формуле (6.20),  $A$  – амплитуда суточного хода температуры с учетом времени года и географического положения пункта, для которого дается прогноз, или амплитуда суточного хода температуры за предшествующие сутки.

Совершенно очевидно, что, несколько видоизменив формулу (6.22), можно по ней определять и максимальную температуру воздуха. Эта процедура настолько проста, что не требует каких-либо пояснений.

Вторая формула М.Е. Берлянда имеет вид:

$$T_{\text{мин}} = 1/5 (2T_{19} + T_{07} + T_{01} + T_{19 \text{ пред. сут}}), \quad (6.23)$$

где  $T$  – температуры воздуха за предшествующие сроки по местному времени.

*Это интересно:*

Температура воздуха (и не только она) в значительной степени подвержена влиянию местных условий. Например, если в Петербурге в центре города зимой температура воздуха равна  $-10$  °С, то на аэродроме Пулковое, до которого от центра города не более 15 км, может быть  $-18$  °С. Поэтому, решая локальную задачу для конкретного пункта, нужно обязательно воспользоваться рядом наблюдений на этом пункте, получить интересующие вас зависимости именно для этого пункта, и тогда прогнозы для этого пункта будут иметь большую оправдываемость. Так вы получите физико-статистический или синоптико-статистический метод прогноза для своего пункта.

*Формула Михельсона.* Михельсоном для прогноза минимальной температуры предложена формула:

$$T_{\text{мин}} = T_{d21} - 2, \quad (6.24)$$

где  $T_{d21}$  – температура точки росы за срок 21 ч; 2 – коэффициент, полученный путем подбора.

*Формулы Куприянова.* Куприяновым предложены несколько необычные формулы для определения минимальной и максимальной температуры. Эти формулы имеют вид:

$$T_{\text{мин}} = 0,5(T_{\text{макс}} + T_{850}) - \Delta T_{\text{мин}} \quad (6.25)$$

и 
$$T_{\text{макс}} = 0,5(T_{\text{мин}} + T_{850}) + \Delta T_{\text{макс}}, \quad (6.26)$$

где  $\Delta T_{\text{мин}} = 0,5(T_{\text{макс}}^* + T_{850}) - T_{\text{мин}}$  и  $\Delta T_{\text{макс}} = T_{\text{макс}} - 0,5(T_{\text{мин}}^* + T_{850})$ , а  $T_{\text{макс}}$  и  $T_{\text{мин}}$  – температуры за текущий день,  $T_{\text{макс}}^*$  и  $T_{\text{мин}}^*$  – температуры предыдущих суток.

*Метод прогноза минимальной температуры, применяемый на одной из АМСГ на Сахалине.* На этой АМСГ для прогноза минимальной температуры воздуха в зимний период используется формула

$$T_{\text{мин}, 0} = 1,5 T_{850}, \quad (6.27)$$

где 1,5 – коэффициент, установленный путем анализа собственного ряда наблюдений,  $T_{850}$  – температура воздуха на уровне 850 гПа в срок вечернего зондирования.

*Метод прогноза минимальной температуры, применяемый в Якутске.* В Якутске для прогноза минимальной температуры используется формула

$$T_{\text{мин}} = T_{12} - [0,5(T - T_{d12}) + B], \quad (6.28)$$

где  $T_{12}$  и  $T_{d12}$  – температура и температура точки росы за 12 ч местного времени;  $B$  – коэффициент. В период с ноября по январь и с мая по июль включительно  $B = 3$ , а в остальные месяцы при температуре воздуха выше  $-15$  °С  $B = 6$ , а при температуре ниже  $-15$  °С  $B = 8$ .

### 6.8.2. Прогноз максимальной температуры воздуха

Для многих отраслей народного хозяйства прогноз максимальной температуры воздуха также представляет значительный интерес. Дадим описание двух методов прогноза максимальной температуры воздуха.

По аэрологической диаграмме. На практике максимальную температуру чаще всего определяют по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы (по аэрологической диаграмме) за утренний срок. С этой целью от исходного уровня на кривой стратификации проводится до значения давления у земли в теплый период года сухая, а в холодный период – влажная адиабата. Изотерма, проходящая через точку пересечения, укажет максимальную температуру воздуха (рис. 6.9).

Начальные высоты, от которых проводится сухая или влажная адиабата, представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

**ИСХОДНЫЕ ВЫСОТЫ (КМ) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ (по О.П. Глазовой)**

Месяц	Начало месяца	Конец месяца	Месяц	Начало месяца	Конец месяца
Январь	0,4	0,4	Июль	2,5	2,0
Февраль	0,4	0,4	Август	2,0	1,5
Март	0,7	1,0	Сентябрь	1,5	1,0
Апрель	1,0	1,5	Октябрь	1,0	0,7
Май	1,5	2,0	Ноябрь	0,4	0,4
Июнь	2,0	2,5	Декабрь	0,4	0,4

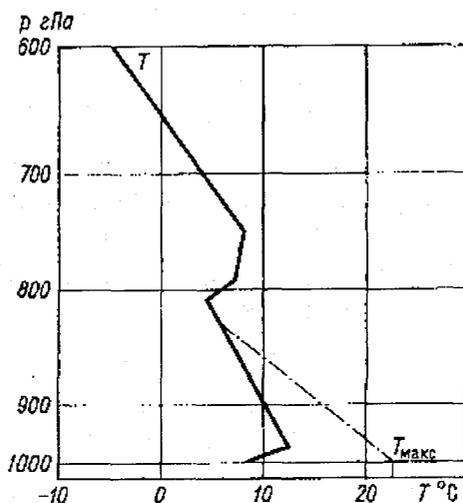


Рис. 6.9. Пример прогноза максимальной температуры воздуха.

Для учета влияния облачности на максимальную температуру следует воспользоваться формулой

$$T_{\text{макс}} = T_0 + m\Delta T, \quad (6.29)$$

где  $T_0$  – температура в срок зондирования;  $\Delta T$  – разность между максимальной температурой при безоблачном небе и температурой в срок зондирования;  $m$  – коэффициент, учитывающий влияние облачности (определяется аналогично тому, как определяется коэффициент  $m$  при прогнозе минимальной температуры по методу Зверева на рис. 6.8).

В тех случаях, когда на кривой стратификации ниже уровня, указанного в табл. 6.2, наблюдается инверсия температуры, то сухую адиабату следует проводить от нижней границы слоя инверсии. При этом необходимо иметь в виду, что небольшие по мощности приземные инверсии или инверсии, расположенные близко к земной поверхности, за счет прогрева быстро разрушаются, и их не следует принимать во внимание.

Пример прогноза максимальной температуры показан на рис. 6.9. На этом рисунке обе инверсии учитывать не следует, так как нижняя (приземная) инверсия будет разрушена дневным прогревом, а инверсия, расположенная на уровне 810 гПа, находится не ниже, а выше исходного уровня, от которого следует определять максимальную температуру воздуха.

Оправдываемость данного метода прогноза максимальной температуры по данным исследователей достаточно высока и составляет 90–95 %. Основные ошибки при прогнозе возникают из-за неправильного прогноза облачности. Так, в нашем примере (рис. 6.9) при сравнительно невысокой температуре воздуха максимальная температура составляет при безоблачном небе 23 °С, а при сплошной низкой облачности 13 °С.

Вопросы прогноза облачности будут рассмотрены ниже.

*По полуэмпирическим формулам.* При прогнозе максимальной температуры воздуха по полуэмпирическим формулам обычно ее связывают с температурой воздуха на уровне 850 или 700 гПа, добавляя к значению этих температур какой-либо эмпирический коэффициент. На территории нашей страны наибольшее распространение получили формулы:

$$T_{\text{макс}} = T_{700} + 23 \quad (6.30)$$

или 
$$T_{\text{макс}} = T_{850} + 14. \quad (6.31)$$

Формула (6.30) получила достаточное распространение на юге Восточной и Западной Сибири, а формула (6.31) – в европейской части России.

### **6.8.3. Прогноз температуры воздуха на высотах**

При метеорологическом обеспечении авиации в прогнозах погоды следует указывать и температуру воздуха на высотах или ее отклонение от стандартного значения. Для прогноза этой температуры синоптики чаще всего пользуются синоптическим методом или просто заменяют прогноз диагнозом. При сроке прогноза до 12 ч и высоте, для которой дается прогноз температуры, более 5 км, это вполне оправдано. Кроме того, в распоряжении синоптика всегда (почти всегда) есть численный прогноз температуры и ветра на разных уровнях.

Если же по каким-либо причинам температуру воздуха на различных уровнях нужно определить точнее, то можно воспользоваться формулами:

$$T_{850} = 1,806(H_{700} - H_{850}), \quad (6.32)$$

$$T_{700} = 1,041(H_{500} - H_{700}), \quad (6.33)$$

$$T_{500} = 0,690(H_{300} - H_{500}). \quad (6.34)$$

В трех последних формулах температура воздуха указана в Кельвинах, а высота поверхности – в декаметрах.

Пользоваться формулами (6.32)–(6.34), в принципе, удобно, они простые. Однако не будет большим и заметным «загрублением» результатов расчета, если в формуле (6.32) взять коэффициент 1,8 вместо 1,806, в формуле (6.33) – коэффициент 1,0 вместо 1,041, а в формуле (6.34) – 0,7 вместо 0,690. При этом синоптик получает возможность быстро, без какой-либо вычислительной техники (в уме) получить результаты расчета. Это обстоятельство следует иметь в виду всем специалистам, работающим в области краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов погоды.

#### 6.8.4. Прогноз заморозков

Заморозком называется понижение температуры воздуха до отрицательных значений вечером и ночью при положительной температуре днем. Заморозки бывают адвективные с суточным ходом температуры ( $\Delta T$ ) около  $3^\circ$ , радиационные, с суточным ходом температуры  $10\text{--}15^\circ$  и адвективно-радиационные с суточным ходом температуры – от  $5$  до  $10^\circ\text{C}$ .

Нет сомнений в том, что заморозки наиболее опасны для сельского хозяйства и других отраслей народного хозяйства.

Принято считать, что если в 21 ч по местному времени  $T_a \leq 0^\circ\text{C}$  или  $T_a \leq 2^\circ\text{C}$  при ясном небе и штиле, то ночью следует ожидать заморозки. Если же температура точки росы в 21 ч больше  $2^\circ\text{C}$ , то заморозки маловероятны.

Для прогноза заморозков можно воспользоваться одним из двух методов.

*Метод Михельсона.* Михельсон предложил определять вероятность возникновения заморозка по графику, представленному на рис. 6.10.

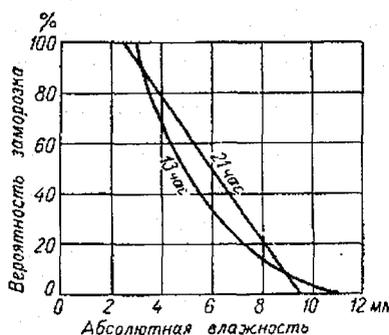


Рис. 6.10. График Михельсона для определения вероятности заморозков.

На этом графике по горизонтальной оси отложены значения абсолютной влажности воздуха (мм рт. ст.), а по вертикальной – вероятность возникновения заморозков. Наклонные линии соответствуют абсолютной влажности воздуха в 13 и 21 ч местного времени. Пользование данным графиком трудностей не вызывает. А вот принятие решения по полученной вероятности возникновения заморозков – не самая простая задача.

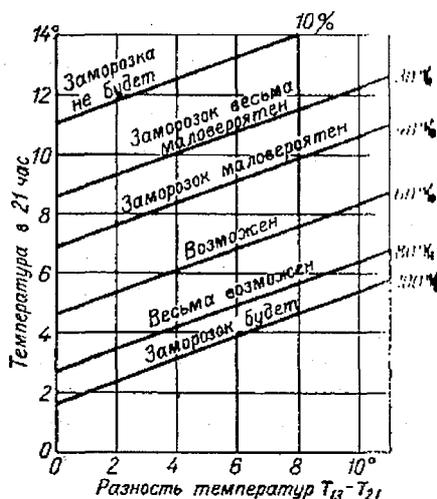


Рис. 6.11. График Броунова для определения вероятности заморозков.

*Метод Броунова.* График, предложенный Броуновым, также позволяет определить возможность возникновения заморозков в вероятностной форме. На этом графике (рис. 6.11) по горизонтальной оси откладывается разность температур в 13 и 21 ч по местному времени, а по вертикальной — температура воздуха в 21 ч. Шесть наклонных линий показывают различную вероятность возникновения заморозков.

Пользование этим графиком также не может вызвать никаких трудностей.

*Это интересно:*

О великий и могучий русский язык!

Обратите внимание, уважаемый читатель, Броунов сумел для шести различных вероятностей возникновения заморозков предложить шесть вариантов различных ответов на вопрос, будет заморозок или нет. Однако, как и у Михельсона, решение вопроса о том, будет или не будет заморозок, должен принимать потребитель метеоинформации. Здесь оба автора разумно подошли к разработке методики прогноза заморозков. А что делать, если прогноз нужно дать в альтернативной форме, т.е. синоптику принимать решение? По графику Михельсона это практически невозможно сделать, а на графике Броунова в этом случае следует оставить только одну нижнюю наклонную линию. Прочувствуйте, уважаемый читатель, еще раз разницу между альтернативным прогнозом и прогнозом в вероятностной форме.

## Глава 7

# ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

## 7.1. Влияние ветра на путевую скорость и дальность полета

В атмосфере на всех высотах есть ветер. По отношению к летящему самолету ветер представляет собой переносное движение. При наличии ветра направление движения самолета относительно земной поверхности не совпадает с продольной осью самолета, т.е. ветер *сносит* самолет с того курса, каким этот самолет летит. Если хотите, то практически всегда самолет летит «немногожко боком», и градус его поворота набок зависит от взаимного расположения направления полета и направления ветра, а также от скорости полета и скорости ветра. Летчику воздушного судна, естественно, еще до вылета необходимо знать, каким курсом и с какой скоростью нужно лететь, чтобы, выполняя полет в поле реального ветра, произвести посадку в заданное время на нужном аэродроме.

Все задачи, связанные с так называемым предварительным штурманским расчетом, выполняет экипаж самолета (обычно штурман) по исходным данным: маршрут и высота полета, время вылета и расчетное время посадки, направление и скорость ветра на эшелоне полета. Как видите, уважаемый читатель, и ветер в авиационных прогнозах погоды синоптик указывает не просто так, а для дела.

Задачи предварительного штурманского расчета помогает решить навигационный треугольник скоростей (рис. 7.1).

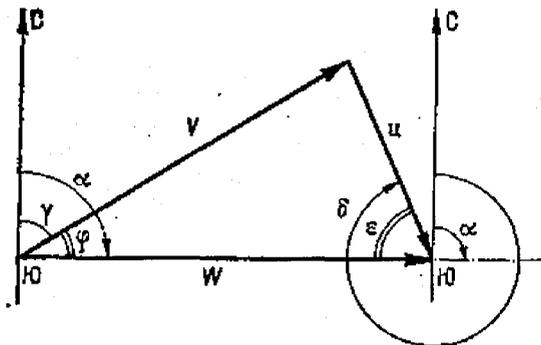


Рис. 7.1. Навигационный треугольник скоростей.

*Навигационный треугольник скоростей составляют три вектора:*

– *вектор воздушной скорости  $V$*  – вектор, показывающий, как перемещался бы (летел) самолет в неподвижном воздухе. Этот вектор направлен вдоль продольной оси самолета;

– *вектор скорости ветра  $U$*  – вектор, показывающий направление и скорость ветра в точке (районе), где находится самолет;

– *вектор путевой скорости  $W$*  – вектор, показывающий полное (общее) перемещение самолета относительно земли под воздействием воздушной скорости и скорости ветра. Иными словами, путевая скорость представляет собой векторную сумму воздушной скорости и скорости ветра.

Для того чтобы навигационный треугольник скоростей был «рабочим», в этом треугольнике нужно также обозначить все необходимые углы. Такими углами являются:

– курс самолета  $\gamma$  – угол между направлением на север и продольной осью самолета (вектором воздушной скорости);

– путевой угол  $\alpha$  – угол между направлением на север и вектором путевой скорости;

– угол сноса  $\varphi$  – угол между векторами воздушной и путевой скоростями. Этот угол отсчитывается от вектора воздушной скорости вправо (плюсовой, по часовой стрелке) или влево (минусовой, против часовой стрелки) и показывает, насколько изменилось направление движения самолета под действием ветра. Совершенно очевидно, что угол сноса равен

$$\varphi = \alpha - \gamma; \quad (7.1)$$

– угол направления ветра, или просто направление ветра  $\delta$  – угол между направлением на север и направлением вектора ветра (направлением, откуда дует ветер);

– угол ветра  $\varepsilon$  – угол между вектором ветра и вектором путевой скорости. Он отсчитывается от вектора путевой скорости до вектора ветра по часовой стрелке и изменяется от 0 до 360°.

Есть еще один угол, о котором следует сказать, но который не входит в навигационный треугольник скоростей. Это *курсовой угол ветра* – угол между вектором воздушной скорости и вектором ветра. Он отсчитывается по часовой стрелке от вектора воздушной скорости и может изменяться от 0 до 360°. Курсовой угол ветра на практике анализируется сравнительно редко.

Элементы навигационного треугольника скоростей при полете самолета могут существенно изменяться вследствие большой пространственной и временной изменчивости ветра и большой протяженности многих маршрутов. Учет пространственной и временной изменчивости ветра особенно важен для воздушной навигации. Такой учет можно осуществлять, анализируя изменение основных элементов навигационного треугольника скоростей.

Давайте остановимся более подробно на анализе этого треугольника.

Из тригонометрии известно, что в каждом треугольнике отношение стороны к синусу противолежащего угла есть величина постоянная (теорема синусов).

В нашем случае (см. рис. 7.1) можно записать:

$$\frac{U}{\sin \varphi} = \frac{V}{\sin \varepsilon} \quad (7.2)$$

или 
$$\sin \varphi = \frac{U}{V} \sin \varepsilon. \quad (7.3)$$

Проанализируем последнее выражение. Из (7.3) видно, что снос самолета зависит от скорости полета, скорости ветра и угла ветра. Для простоты расчетов зададимся скоростью ветра  $U = 100$  км/ч, скоростью полета (чуть-чуть ее завысим)  $V = 1000$  км/ч и возьмем самые значимые значения для углов ветра.

Так, при  $\varepsilon = 0^\circ$  (попутный ветер)  $\sin \varepsilon = 0$ , а следовательно, и  $\sin \varphi = 0$ , т.е. при строго попутном ветре никакого сноса самолета с курса нет. Аналогичная

картина наблюдается и при  $\epsilon = 180^\circ$  (встречный ветер). Максимальный снос самолета с курса будет наблюдаться при строго боковом ветре ( $\epsilon = 90$  или  $270^\circ$ ). В этом случае его можно определить по формуле (7.4), так как при  $\epsilon = 90^\circ$  и  $180^\circ \sin \epsilon$  по абсолютной величине равен единице:

$$\varphi = \arcsin (\pm U/V). \quad (7.4)$$

Для принятых нами значений скорости ветра и скорости полета соотношение  $(U/V) = 0,1$ , а следовательно, угол сноса  $\varphi = 6^\circ$ . Из выражения (7.4) видно, что чем больше соотношение  $(U/V)$ , тем больше снос самолета. В табл. 7.1 приведены значения углов сноса самолета при разной скорости полета и различных скоростях ветра.

Таблица 7.1

**ЗНАЧЕНИЯ УГЛОВ СНОСА САМОЛЕТА ( $\varphi^\circ$ )  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ПОЛЕТА И СКОРОСТИ ВЕТРА**

Тип ВС	V, км/ч	U, км/ч		
		50	100	200
Ил-18	600	5,0	9,5	19,5
Ил-62	900	3,5	7,0	14,0
Ту-144	2000	1,5	3,0	6,0

Из табл. 7.1 видно, насколько большим может быть снос самолета даже при большой скорости полета. Так что без информации о ветре штурману в полете не обойтись.

*Это интересно:*

Одно время самолет Ил-18Д ежегодно выполнял несколько полетов по маршруту Москва-Антарктида (ст. Молодежная). Последний, самый продолжительный и самый ответственный участок полета – над Южным океаном из аэропорта Мапуту (позже – Кейптаун) до побережья Антарктиды. Если бы самолет после вылета брал курс точно на станцию Молодежная и экипаж совсем бы не учитывал ветер, то при подлете к побережью Антарктиды Ил-18Д отклонился бы от маршрута на 800 км. Этому самолету пришлось бы еще полтора часа лететь до станции Молодежная вдоль антарктического побережья. Естественно, что ни над морем, ни над сушей так летать нельзя. Поэтому в зависимости от протяженности и сложности маршрута экипаж периодически определяет свое местоположение в воздухе (или это ему помогают сделать наземные службы), определяет направление и скорость ветра и вводит необходимые поправки в курс полета. Ведь самолету нужно лететь по вектору путевой скорости  $W$ . Чтобы так и было, экипаж должен на каждом участке достаточно точно знать направление и скорость ветра  $U$  и выбрать нужную воздушную скорость  $V$ .

Оценим связь между путевой скоростью, с одной стороны, и скоростью и направлением ветра – с другой. Из рис. 7.1 видно, что

$$W = V + U = V \cos \varphi + U \cos \epsilon. \quad (7.5)$$

Вот вроде бы и все – этой формулой может пользоваться любой штурман. Но не очень «любит» штурманский состав определять угол сноса. Ведь путевой угол (откуда и куда летит самолет) штурман всегда хорошо знает, и, узнав на метеостанции ветер по маршруту, просто определяет угол ветра. Так что хотелось бы для пользы дела убрать из выражения (7.5) угол сноса. Делается это следующим образом. Представим выражение (7.2) в несколько другом виде и обе части этого выражения возведем в квадрат. Тогда получим

$$V \sin \varphi = U \sin \varepsilon;$$

$$V^2 \sin^2 \varphi = U^2 \sin^2 \varepsilon.$$

Далее, вспомнив, что  $\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1$ , для выражения  $V \cos \varphi$  получим:

$$V^2 (1 - \cos^2 \varphi) = U^2 \sin^2 \varepsilon;$$

$$V^2 - V^2 \cos^2 \varphi = U^2 \sin^2 \varepsilon;$$

$$V^2 \cos^2 \varphi = V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon;$$

$$V \cos \varphi = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon}.$$

Теперь в окончательном виде можно записать, что

$$W = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon} + U \cos \varepsilon. \quad (7.6)$$

Как и при анализе формулы (7.4), зададимся наиболее значимыми углами ветра  $\varepsilon = 0, 180, 90$  или  $270^\circ$ .

Из формулы видно, что при попутном ветре ( $\varepsilon = 0^\circ$ ) путевая скорость становится больше воздушной на величину скорости ветра ( $W = V + U$ ), причем в данном случае никакого сноса самолета не наблюдается. Строго встречный ветер ( $\varepsilon = 180^\circ$ ) уменьшает путевую скорость на величину скорости ветра ( $W = V - U$ ), также без сноса самолета с курса, а строго боковой ветер ( $\varepsilon = 90$  или  $270^\circ$ ) не только изменяет скорость полета, но и вызывает максимальный снос. Хотелось еще раз подчеркнуть, что знание скорости и направления ветра по маршруту и его учет являются необходимым условием выполнения полетного задания и вывода самолета в пункт назначения.

Информация о ветре на уровне полета используется не только для штурманских расчетов, но и для ввода в автоматические навигационные устройства и бортовые ЭВМ.

*Это интересно:*

В полете штурман может и должен определять направление и скорость ветра. Чаще всего он поступает следующим образом. Определив по карте местоположение самолета, штурман просит командира экипажа сделать «площадку» — какое-то время (3–5 мин) не изменять ни высоту, ни курс, ни скорость полета. Тогда (см. рис. 7.1) через определенное время самолет должен был бы оказаться, предположим, в конце вектора воздушной скорости (полет при штиле), но вместо этого он оказывается в конце вектора путевой скорости. Туда он мог попасть (а эту точку определяет по карте штурман) только за счет сноса ветром. Таким образом, зная два вектора скоростей, просто определяется и третий — скорость и направление ветра. Так штурман в полете определяет направление и скорость ветра.

После посадки самолета штурман заходит на АМСГ и сообщает синоптику ветер по маршруту полета. Скорости ветра, которую скажет штурман, можно верить всегда. Здесь никаких «подводных камней» нет. С направлением ветра дело обстоит несколько иначе. Дело в том, что для штурмана существует еще так называемое *навигационное направление ветра* (не откуда дует, а куда сносит). Поэтому иногда штурман вместо «нашего» метеорологического направления ветра (откуда дует) указывает «свое» (куда сносит). Если направление ветра, указанное синоптиком в прогнозе, отличается от того, что сказал штурман, не более чем на  $30\text{--}60^\circ$ , то показаниям штурмана можно верить и внести кор-

ректив в свой прогноз. Если же штурман сообщает вам направление ветра, которое отличается от прогностического примерно на  $180^\circ$ , то в этом случае штурману уместно задать вопрос, о каком ветре идет речь: метеорологическом или навигационном? Обычно после такого вопроса все проблемы с направлением ветра решаются очень просто.

В последнее время разрабатываются принципиально новые системы определения ветра (и не только ветра) в полете, которые позволяют летчику считывать непосредственно с дисплея на приборной доске как скорость, так и направление ветра.

Дальность ( $L$ ) и продолжительность ( $T$ ) полета можно определить, если известны располагаемый запас топлива на самолете ( $G_T$ ), а также его километровый  $c_k$  и часовой расход  $c_h$ . Это можно сделать по формулам:

$$L = \frac{G_T}{c_k}, \quad T = \frac{G_T}{c_h}. \quad (7.7)$$

Известно также, что часовой и километровый расходы топлива связаны (при наличии ветра) между собой соотношением:

$$c_k = \frac{c_h}{W}. \quad (7.8)$$

Кроме того, простые логические рассуждения позволяют утверждать, что время полета и часовой расход топлива не зависят от ветра, а дальность полета и километровый расход топлива от ветра зависят. Действительно, если на самолете запас топлива на три часа полета, то при любом ветре самолет может три часа находиться в воздухе, какое бы расстояние он не пролетел. А километровый расход топлива от ветра зависит. Это хорошо видно из последнего выражения (7.8) – попутный ветер уменьшает километровый расход топлива, а встречный, наоборот, увеличивает.

Давайте попробуем оценить влияние ветра на дальность полета.

При штиле километровый расход топлива и дальность полета могут быть рассчитаны по формулам (7.9):

$$c_{k,0} = \frac{c_h}{V}, \quad L_0 = \frac{G_T}{c_{k,0}} = \frac{G_T}{c_h} V = VT, \quad (7.9)$$

а при наличии ветра – по формулам (7.10)

$$c_k = \frac{c_h}{W}, \quad L = \frac{G_T}{c_k} = \frac{G_T}{c_h} W = WT. \quad (7.10)$$

Если взять отношение  $L/L_0$ , то мы получим

$$\frac{L}{L_0} = \frac{c_{k,0}}{c_k} = \frac{W}{V} = \sqrt{1 - \frac{U^2}{V^2} \sin^2 \varepsilon} + \frac{U}{V} \cos \varepsilon \quad (7.11)$$

(было:  $W = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon} + U \cos \varepsilon$ ).

Таким образом, максимальная дальность полета, которая наблюдается при попутном ветре ( $\varepsilon = 0^\circ$ ), определяется выражением (7.12), а минимальная дальность (при встречном ветре  $\varepsilon = 180^\circ$ ) – выражением (7.13):

$$\left(\frac{L}{L_0}\right)_{\text{макс}} = 1 + \frac{U}{V}, \quad (7.12)$$

$$\left(\frac{L}{L_0}\right)_{\text{мин}} = 1 - \frac{U}{V}. \quad (7.13)$$

*Это интересно:*

В авиации существует несколько понятий дальности полета: *техническая дальность* – расстояние, которое самолет пролетает до полной выработки топлива; *максимальная дальность* – расстояние, которое самолет пролетает с таким расчетом, что в его топливных баках остается 7–10% топлива и *навигационная дальность* – расстояние, которое самолет может пролететь, причем после посадки у него в топливных баках должно остаться такое количество топлива, которого должно было бы хватить для полета до запасного аэродрома. Естественно, что гражданская авиация выполняет полеты только на навигационную дальность.

Кроме понятия о дальности полета, в авиации существует понятие и *радиуса действия* самолета – это такое расстояние, долетев до которого воздушное судно может вернуться на аэродром вылета. Радиус действия самолета чуть меньше половины дальности полета, однако более полное изложение этого вопроса не вписывается даже в рубрику «это интересно». Тем более, что это понятие наиболее часто применяется в военной авиации.

## 7.2. Влияние ветра на взлет и посадку

Самолет взлетает и садится всегда против ветра. Если рассуждать по обыкновению, то посадка против ветра – понятна, а вот взлет?! Однако здесь все написано правильно. Давайте вспомним формулу подъемной силы:

$$Y = c_y S \frac{\rho V^2}{2}. \quad (7.14)$$

Обычно считают, что в этой формуле  $V$  – скорость полета самолета. Для выполнения многих расчетов это справедливо, но на самом деле это не совсем так. Величина  $V$  – не скорость полета самолета, а скорость обтекания поверхности самолета воздушным потоком, т.е.  $V = V_{\text{с-та}} + U$  при встречном ветре и  $V = V_{\text{с-та}} - U$  при попутном ветре. Следовательно, взлетая при встречном ветре, самолет достигнет скорости отрыва при меньшей скорости собственного движения

$$V_{\text{с-та}} = V_{\text{отр}} - U. \quad (7.15)$$

Это означает, что самолет может взлететь с более короткой ВПП или при взлете у него уменьшится длина разбега. Аналогичная картина будет наблюдаться и при посадке самолета. При взлете и посадке с попутным ветром, наоборот, увеличивается как длина разбега, так и длина пробег самолета.

Давайте количественно оценим влияние ветра на взлет и посадку самолета.

Из физики известно, что скорость равноускоренного движения  $V$  равна  $V = at$ , где  $a$  – ускорение, а  $t$  – время. Следовательно,  $t = V/a$ . Кроме того, путь при равноускоренном движении равен  $S = at^2/2 = V^2/2a$ .

Так как при разбеге самолет по ВПП совершает равноускоренное движение, воспользуемся законами физики, о которых мы только что говорили. Итак, самолет взлетит тогда, когда при разбеге он достигнет скорости отрыва  $V_{\text{отр}}$ .

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

$$t_{\text{разб},0} = \frac{V_{\text{отр}}}{j}, \quad L_{\text{разб},0} = \frac{V_{\text{отр}}^2}{2j}, \quad (7.16)$$

где  $j$  – ускорение самолета.

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

$$t_{\text{разб}} = \frac{V_{\text{отр}} - U}{j}, \quad L_{\text{разб}} = \frac{(V_{\text{отр}} - U)^2}{2j}, \quad (7.17)$$

а отношение времени и длины разбега при штиле и при ветре можно определить по формулам (7.18):

$$\frac{t_{\text{разб}}}{t_{\text{разб},0}} = 1 - \frac{U}{V_{\text{отр}}}, \quad \frac{L_{\text{разб}}}{L_{\text{разб},0}} = \left(1 - \frac{U}{V_{\text{отр}}}\right)^2. \quad (7.18)$$

Как видно из последнего выражения, и время разбега самолета, и длина разбега в значительной степени зависят от ветра. Если предположить, что скорость встречного ветра равна 10 м/с, а скорость отрыва самолета 250 км/ч (70 м/с), при таких условиях время разбега самолета уменьшится по сравнению со штилевыми условиями на 14 %, а длина разбега – на 26 %. Не учитывать влияние ветра на взлет и посадку, безусловно, нельзя.

*Это интересно:*

Наши магистральные самолеты при штиле разбегают по ВПП примерно 35–45 с. Увеличение или уменьшение времени разбега самолета мало кого волнует, так как это при скорости ветра 10 м/с составляет всего около 10 с. Другое дело – длина разбега самолета. Если при штиле она равна 1000 м, то при встречном ветре скоростью 10 м/с длина разбега сократится до 740 м, а при таком же попутном ветре – увеличится до 1260 м. Естественно, к уменьшению длины разбега все отнесутся спокойно, а вот ее увеличение примерно на четверть может привести к неприятным последствиям.

Аналогично можно оценить влияние встречного ветра на длину и время пробега самолета при посадке. Длина пробега самолета уменьшается за счет снижения посадочной скорости на величину скорости встречного ветра.

Пока мы рассмотрели только влияние встречного или попутного ветра на взлет и посадку самолета. Однако боковой ветер (*а ветер любого направления можно разложить на две составляющие таким образом, что одна из них будет строго попутная или встречная, а другая – строго боковая*) также оказывает неприятное, а иногда и опасное воздействие на самолет.

Не вдаваясь в подробности аэродинамики, понятно, что боковой ветер создает силу, стремящуюся развернуть самолет носом против ветра.

*Это интересно:*

Представьте, уважаемый читатель, самолет, его хвостовое оперение и боковой ветер. Нет сомнений в том, что парусность хвостового оперения самолета значительно больше, чем других его частей. Поэтому сила давления, создаваемая боковым ветром, в хвостовой части самолета будет больше, чем в передней. Следовательно, создается момент сил, который и будет разворачивать самолет носом против ветра. Если же учесть

то обстоятельство, что перед самым взлетом в момент разбега трение колес самолета о бетон ВПП уменьшается, то становится понятным, что летчику трудно выдержать направление разбега самолета при боковом ветре, особенно если этот ветер достаточно сильный.

При посадке самолета при сильном боковом ветре летчик сохраняет направление движения самолета с посадочным курсом, используя рули направления. Здесь, как говорится, все понятно. Однако при боковом ветре, скорость которого близка к допустимой, рули управления с такой нагрузкой не справляются, и летчику с сильным ветром приходится «бороться курсом». Для этого пилот заранее и сознательно летит не с посадочным курсом, а «немножко на ветер». Сильный боковой ветер сносит самолет, в результате чего его путевая скорость оказывается направленной как раз по посадочному курсу (см. рис. 7.1). Такая посадка достаточно сложна для экипажа и не очень приятна для лиц, находящихся на земле. Представьте себе, что на аэродроме достаточно близко от ВПП расположен командно-диспетчерский пункт (КДП), а боковой ветер как раз направлен от КДП к взлетной полосе. В этом случае, борясь с ветром курсом, летчик будет лететь «прямо на здание КДП». Уверяю вас, читатель, что у людей, находящихся в этом здании, такой полет самолета приятных ощущений не вызывает. Автору этих строк приходилось видеть, как молодые специалисты в буквальном смысле слова убежали из КДП, увидев как «семидесятитонная громадина» летит прямо на них.

Посадка при боковом ветре осложняется еще больше, чем взлет, вследствие сильного сноса самолета. Неточный учет ветра может привести к приземлению вне ВПП. Самолет, как и при взлете, при боковом ветре подвержен воздействию разворачивающего и кренящего моментов.

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

Существующее ограничение полетов по скорости встречного ветра почти символическое. Оно для большинства типов самолетов составляет 25–30 м/с. Во-первых, такой ветер на аэродроме бывает крайне редко. Во-вторых, при таком ветре наземным службам гражданской авиации не до взлетов и посадок – им бы сохранить технику на земле. Физическая причина ограничения по встречному ветру заключается в том, что ветер такой силы, как правило, бывает порывистым, с резкими изменениями скорости на достаточно заметную величину. Здесь очень быстро (в течение нескольких секунд) скорость ветра может колебаться от 10–12 до 25–30 м/с. Такие изменения скорости ветра приводят к резким изменениям подъемной силы [см. формулу (7.14)], что одинаково опасно как при взлете, так и при посадке.

Ограничения полетов по ветру для разных типов самолетов нужно знать специалистам метеослужбы, так как при превышении предельно допустимых скоростей ветра взлет и посадка самолетов запрещаются. Таким образом, при метеорологическом обеспечении полетов необходимо учитывать влияние скорости и направления ветра на безопасность взлета и посадки воздушных судов.

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

### 7.3. Струйные течения и их аэронавигационное значение

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

*Струйное течение* – это перенос воздуха в виде узкого течения с большими скоростями, обычно в верхней тропосфере и нижней стратосфере с осью вблизи тропопаузы. Максимальная скорость ветра (30 м/с и более) наблюдается на оси СТ. Изменение скорости ветра в области струйного течения обычно составляет 5–10 м/с на 1 км высоты и 10 м/с и более на 100 км в горизонтальном направлении.

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

Струйные течения подразделяются на *тропосферные* и *стратосферные*. В свою очередь тропосферные СТ делятся на *внетропические*, *субтропические* и *экваториальные*.

*Внетропические СТ* изменяют свое положение в зависимости от изменения положения атмосферных фронтов. Ось СТ, как правило, расположена в теплом воздухе, чаще всего на 1–2 км ниже тропопаузы. Ширина струйного течения составляет 700–1300 км, вертикальная мощность 6–10 км, а горизонтальная протяженность достигает нескольких тысяч километров. Иногда эти струйные течения могут опоясывать весь земной шар.

*Субтропические СТ* наблюдаются зимой в широтном поясе 25–35° с.ш., а летом на широтах 35–45° с.ш. Ось этих СТ находится на высоте около 12 км. Субтропические струйные течения более интенсивны и устойчивы по сравнению с внетропическими. Их ширина составляет в среднем 1500 км, а вертикальная мощность 8–12 км. Особенно значительные скорости ветра в субтропических СТ зафиксированы над Японией (до 650 км/ч) и Тихим океаном (до 750 км/ч).

*Экваториальные СТ*, в отличие от струйных течений других видов, имеют восточное направление. Они наблюдаются на высотах более 20 км и пока еще недостаточно хорошо изучены. Справедливости ради следует сказать, что эти струйные течения пока не очень интересуют и авиацию, так как самолеты и гражданской, и военной авиации на этих высотах летают сравнительно редко.

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

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

Интенсивная турбулентность отмечается в основном на холодной (циклонической) стороне струйного течения, где градиенты температуры и ветра

больше. На оси струйного течения сильная турбулентность бывает значительно реже. При полете на высотах, близких к потолку, вертикальные пульсации ветра могут вывести самолет на закритические углы атаки, и, как следствие, – на срыв потока и «проваливание» самолета.

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

В настоящее время существуют методы, которые позволяют по данным о поле ветра в районе полетов предложить наивыгоднейший маршрут, по которому самолет прилетит в пункт назначения или с наименьшей затратой времени, или с наименьшим расходом топлива. Все сказанное выше свидетельствует о большом аэронавигационном значении струйных течений и о ценности прогностической информации о расположении оси СТ и скорости ветра на ней для оптимизации траектории движения самолета.

*Это интересно:*

В 1941 г. – в первый год Великой Отечественной войны – русские летчики летали бомбить Берлин. Дальность полета до Берлина и обратно, да еще с учетом возможных маневров при уходе от огня противника, была для нашей авиации запредельной. Поэтому еще тогда, толком ничего не зная о струйных течениях, бомбардировщики летели на Берлин на высотах 1000–1500 м, а после нанесения бомбового удара возвращались домой на высотах 7000–9000 м. Расчет был верен: в атмосфере наших широт преобладают ветры западного направления, а ветер на высоте 8000 м сильнее, чем на высоте 1000 м. Вот таким образом использовались в навигационном плане струйные течения (или просто более сильный ветер) еще в 40-е годы прошлого века.

#### **7.4. Понятие об эквивалентном ветре**

Ветер в полете не всегда строго встречный или попутный. Для облегчения учета влияния ветра любого направления на путевую скорость используется условный эквивалентный ветер.

*Эквивалентный ветер* – это расчетный ветер, который направлен вдоль вектора путевой скорости, постоянен по величине и который оказывает на полет такое же влияние, как фактический ветер. Следовательно, исходя из определения, эквивалентный ветер  $\omega$  является разностью между путевой скоростью  $W$  и воздушной скоростью  $V$ , т.е.

$$\omega = W - V. \quad (7.19)$$

Из этого соотношения следует, что эквивалентный ветер – скалярная величина, знак которой зависит от знака разности модулей путевой и воздушной скоростей: он положителен, если путевая скорость больше воздушной (рис. 7.2, а), и эквивалентный ветер является попутным. Если же путевая скорость меньше воздушной (рис. 7.2, б), то эквивалентный ветер – встречный (отрицательный).

Введение понятия эквивалентного ветра упрощает оценку влияния ветра на полет самолета и облегчает решение целого ряда навигационных задач, связанных с планированием и выполнением воздушных перевозок. Особое значение имеет использование эквивалентного ветра при составлении расписания

движения самолетов по воздушным трассам, при оценке возможного времени прибытия самолета в пункт назначения, при оценке необходимого для полета запаса топлива и т.д.

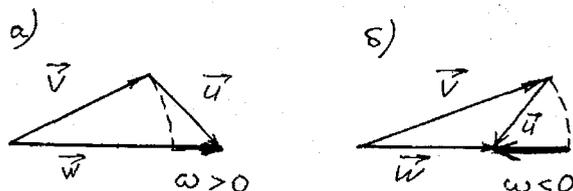


Рис. 7.2. К определению эквивалентного ветра:  
 $a - \omega > 0$ ,  $b - \omega < 0$ .

При расчете навигационных параметров обычно весь маршрут разбивают на ряд участков, для каждого участка определяют эквивалентный ветер, а затем определяют эквивалентный ветер по всей трассе. Знание эквивалентного ветра по маршруту позволяет оценить влияние ветра на дальность и продолжительность полета. К сожалению, в последнее время при проведении предварительных штурманских расчетов эквивалентным ветром стали пользоваться значительно реже, чем два-три десятилетия назад.

### 7.5. Особенности влияния ветра на полет вертолета

На полет вертолета ветер оказывает в принципе такое же влияние, как и на полет самолета. Однако имеются и некоторые особенности этого влияния, без изучения которых, с метеорологической точки зрения, нельзя надежно обеспечить безопасность полетов и эффективность эксплуатации вертолетов.

Воздействие ветра на вертолет, находящийся на стоянке, приводит, в первую очередь, к возникновению колебаний лопастей несущих винтов. Так, концы незашвартованных лопастей несущего винта вертолета Ми-8 при скорости ветра 15–20 м/с совершают колебания амплитудой 30–50 см. Штормовой ветер может вызвать самопроизвольное вращение лопастей, концы которых, совершая маховое движение, могут нанести удары и по хвостовой балке, и по земле.

Влияние ветра также сказывается на запуске и выключении двигателей. Наибольшее влияние оказывает ветер, направленный навстречу струе газов, выходящих из сопловых отверстий. Ветер размывает газовую струю, частично забрасывает ее в воздухозаборник и способствует возникновению помпажа двигателей.

Ветер, дующий со скоростью 20–25 м/с, может настолько сильно прогнуть лопасти несущего винта, что при их вращении возникает опасность удара не только по хвостовой балке, но и по передней части фюзеляжа.

При режиме руления запас устойчивости вертолета невелик, поскольку тенденция к накренению при рулении характерна для всех вертолетов из-за сравнительно высокого расположения центра массы и центра вращения несущего винта относительно поверхности рулевой дорожки. Для вертолетов наиболее опасным является ветер слева. Дело в том, что лопасти несущих винтов вертолетов вращаются по часовой стрелке. Это значит, что при движении вертолета скорость обтекания воздушным потоком лопасти слева определяется

суммой двух скоростей: движения лопасти и движения самого вертолета. Скорость обтекания воздушным потоком лопастей справа равна разности этих же скоростей. Следовательно, подъемная сила вертолета слева заведомо больше, чем справа, т.е. у вертолета в его конструкцию уже заложен небольшой опрокидывающий момент слева направо. Если же при этом еще наблюдается и ветер слева, то опасность опрокидывания вертолета значительно увеличивается.

Технические проблемы взлета, полета, зависания и посадки вертолета при достаточно сильном ветре являются весьма сложными. Однако это, скорее всего, проблемы техники пилотирования вертолета, а не метеорологического обеспечения его полетов. Поэтому на всех других аспектах влияния ветра на полет вертолетов останавливаться не будем.

### 7.6. Сдвиги ветра и их влияние на взлет и посадку

При пилотировании самолета в непосредственной близости от земной поверхности его экипаж должен иметь информацию не только о скорости и направлении ветра, но и о возможных резких изменениях этих параметров ветра вдоль траектории движения. Самолет пересекает самый нижний слой атмосферы в столь короткое время, что ограниченный запас высоты, скорости полета и приемистости двигателей не позволяют летчику своевременно реагировать на неожиданное изменение ветра. Отсутствие информации о резком усилении или ослаблении ветра в ряде случаев было одной из главных причин летных происшествий.

Характеристикой пространственной изменчивости ветра является сдвиг ветра – изменение направления и/или скорости ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие воздушные потоки. Сильные сдвиги ветра относят к опасным для авиации явлениям погоды.

Сдвиг ветра определяется как векторная разность векторов ветра, измеренная в двух точках пространства, которая отражает изменение как скорости, так и направления ветра при перемещении от одной точки к другой. В зависимости от взаимного расположения рассматриваемых точек в пространстве различают или горизонтальный, или вертикальный сдвиг ветра.

В районе аэродрома горизонтальный сдвиг ветра можно определить по результатам одновременного измерения параметров ветра в различных точках аэродрома (у разных торцов ВПП, на метеоплощадке и в других точках, где установлены датчики ветра). Базовое расстояние, для которого измеряются горизонтальные сдвиги ветра, – это расстояние, равное 600 м.

Вертикальный сдвиг ветра  $\beta$  характеризует изменение вектора ветра с высотой. Он может быть определен по формуле

$$\beta = \frac{|\Delta U|}{\Delta Z}, \quad (7.20)$$

где  $\Delta U = |U_v - U_n|$  – модуль векторной разности векторов ветра на верхнем уровне  $U_v$  и нижнем уровне  $U_n$ , м/с;  $\Delta Z$  – толщина рассматриваемого слоя, м.

Следовательно, единицей измерения вертикального сдвига ветра является  $c^{-1}$ , однако для практических целей метеорологического обеспечения полетов значения  $\beta$  рассчитывают для слоя толщиной 30 м и указывают в м/с на 30 м.

Иногда сдвиг ветра определяют в слое толщиной 100 м, а в международных документах и зарубежной литературе встречаются и другие единицы измерения сдвига ветра (узлы, фут/с, мили/ч и т.п.). Влияние вертикального сдвига ветра на полет намного опаснее, чем горизонтального, поэтому практически все исследования до настоящего времени были посвящены изучению вертикальных сдвигов ветра.

*Это интересно:*

Вертикальный сдвиг ветра на аэродроме можно определить, если измерить направление и скорость ветра на разных высотах. А где взять разные высоты на аэродроме?! Вот и приходится устанавливать датчики ветра не только на «обязательных местах», но и на крышах зданий, мачт и т.д. Но, с одной стороны, сдвиг ветра – явление локальное, и то, что наблюдается над ВПП, не обязательно будет наблюдаться в стороне от нее, даже на незначительном расстоянии. С другой стороны, все здания, мачты, на которых установлены датчики ветра, искажают поле ветра, и поэтому показания этих приборов нельзя считать репрезентативными. Практически на всех аэродромах существует проблема определения (измерения) сдвигов ветра. Поэтому часто сдвиги ветра на аэродроме не определяют, однако всегда прогнозируют.

Чем же опасен сдвиг ветра для полета? Ответить на этот вопрос нам поможет рис. 7.3.

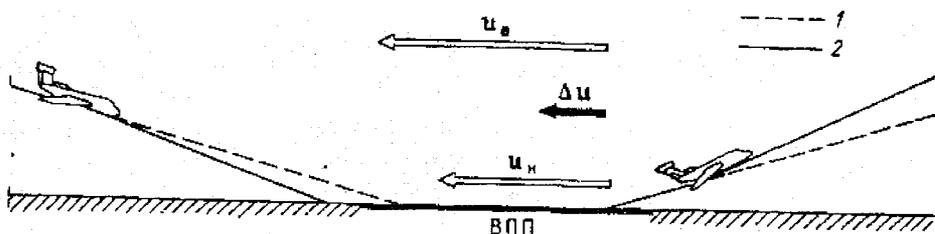


Рис. 7.3. Пример влияния вертикального сдвига ветра на взлет и посадку:

1 – предполагаемая, 2 – действительная траектория движения ВС.

Предположим, что при посадке наблюдается строго встречный ветер, скорость которого больше на более высоком уровне. Условия посадки простые: ВПП видна с большого расстояния. Естественно, что в этом случае, находясь на «верхнем уровне», где наблюдается ветер скоростью  $U_b$ , летчик будет стараться (как это и полагается) посадить самолет в начале взлетной полосы. Он все сделает для того, чтобы «не промахнуться». Однако, попадая при снижении на нижний уровень, где скорость ветра  $U_n < U_b$ , уменьшается не только скорость ветра, но и скорость обтекания самолета воздушным потоком, а следовательно, и подъемная сила самолета (см. параграф 7.2). В результате этого подъемная сила на нижнем уровне уже не уравновешивает самолет, и он «проваливается» – летит ниже расчетной траектории. В этом случае посадка самолета возможна или в самом начале полосы, или даже до начала ВПП, что весьма опасно.

При взлете самолета наблюдается несколько иная картина. Летчик при наборе высоты попадает в зону более сильного встречного ветра. Это значит, что подъемная сила самолета с высотой увеличивается быстрее, чем этого хочет летчик, траектория полета самолета оказывается выше расчетной, и при сильных сдвигах ветра самолет может попасть на закритические углы атаки. В свою

очередь, это приводит к срыву потока (см. раздел 1), сваливанию самолета на крыло и к возможному столкновению ВС с землей.

Если скорость ветра с высотой не увеличивается, а уменьшается, то картина меняется на обратную. Надеемся, что дополнительные пояснения в данном случае не нужны.

*Это интересно:*

При проверке у летчиков техники пилотирования за расчет на посадку им ставится оценка «отлично» в том случае, если самолет коснулся колесами ВПП на расстоянии 100–200 м от начала полосы. В остальных случаях оценка занижается. Не будем говорить о проверке техники пилотирования, а представим себе, что в обычном полете летчик при заходе на посадку по каким-то причинам «промахнулся». Теперь он может или признать свою ошибку, или сказать, что нормально сесть ему помешал сильный сдвиг ветра. Как вы думаете, что скажет летчик, если он знает, что замерить сдвиг ветра на аэродроме практически невозможно?

По своей интенсивности сдвиги ветра подразделяются на слабые, умеренные, сильные и очень сильные. Критерии интенсивности сдвигов ветра приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

**КРИТЕРИИ ИНТЕНСИВНОСТИ СДВИГОВ ВЕТРА**

Интенсивность сдвига ветра (качественный термин)	Влияние на управление воздушным судном	Вертикальный сдвиг ветра, м/с на 30 м; горизонтальный сдвиг ветра, м/с на 600 м
Слабый	Незначительное	0–2
Умеренный	Значительное	2–4
Сильный	Существенные трудности	4–6
Очень сильный	Опасное	> 6

Повторяемость и значения вертикальных сдвигов ветра существенно зависят от периода осреднения данных о ветре и от толщины рассматриваемого слоя, причем увеличение пространственно-временного масштаба осреднения приводит к занижению значений вертикального сдвига ветра.

В нижнем 30-метровом слое атмосферы повторяемость сильных и очень сильных сдвигов ветра невелика (около 3 %), однако при наблюдениях на мачтах отмечались сдвиги ветра, превышающие 20 м/с на 30 м. Такие резкие изменения ветра, несомненно, представляют опасность для взлета самолета, посадки и полета на малых и предельно малых высотах. Если учесть, что масса основных современных самолетов гражданской авиации равна 50–200 т, то становится понятным, что такой самолет обладает значительной инерцией, которая препятствует быстрому изменению скорости его движения. Это значит, что попав в зону более сильного (слабого) ветра, самолет еще какое-то время будет лететь с той же скоростью, прежде чем она изменится после вмешательства летчика. Это время запаздывания реакции самолета на действия летчика и является опасным. Ведь при заходе на посадку у самолета «штатная» скорость снижения равна 5 м/с, а в горизонтальной плоскости в этом режиме за каждую секунду самолет пролетает около 70 м.

Влияние горизонтального сдвига ветра на полет самолета также опасно. Так, в случае резкого усиления встречного ветра будет наблюдаться «подбрасывание» самолета, а при его ослаблении самолет будет «проваливаться».

Под действием сдвигов ветра самолет может испытывать эволюцию не только в вертикальной плоскости, но и изменять направление движения.

Все это объясняет причину того, что сдвиг ветра относится к опасным для авиации атмосферным явлениям, информация о которых в оперативном порядке передается экипажам воздушных судов для обеспечения безопасности полетов.

*Вот для чего в наших прогнозах есть информация о сдвигах ветра.*

На практике синоптик АМСГ использует для прогноза сдвигов ветра синоптический метод. Сдвиги ветра (умеренные или сильные) указываются в прогнозе тогда, когда по синоптической обстановке в районе аэродрома ожидается или наблюдается:

- атмосферные фронты, особенно холодные фронты второго рода;
- зоны развития кучево-дождевой облачности;
- задерживающие слои (инверсия или изотермия);
- горно-долинные или стоковые ветры, а также фен (для горных районов);
- низкотропосферные струйные течения (мезоструи).

Все перечисленные явления могут приводить к возникновению сильных сдвигов ветра, и все эти моменты учитывает синоптик в своем прогнозе.

### **7.7. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз ветра и сдвигов ветра**

В авиационных прогнозах погоды указывается направление и скорость ветра у земли, направление и скорость ветра на высотах, а также информация о струйных течениях (направление ветра, скорость ветра на оси струи и толщина струйного течения).

#### **7.7.1. Прогноз направления ветра**

Этот прогноз интересен лишь для небольшого числа отраслей народного хозяйства. Впрочем, интересен он и для обывателя: северный ветер – это прохлада или холод, а южный – это тепло или жара. Серьезное отношение к направлению ветра есть только у авиации.

Прогноз направления ветра дается специалистами синоптическим методом. Это значит, что синоптик, оценив и спрогнозировав синоптическое положение в зоне ответственности, определяет преобладающее направление ветра. Причем наиболее часто в прогнозах погоды направление ветра указывается по восьми румбам.

Только в интересах авиации направление ветра указывается в десятках градусов. Это нужно для того, чтобы работники гражданской авиации смогли оценить встречную (попутную) и боковую составляющую скорости ветра. Дело в том, что для обеспечения безопасности при взлете и посадке самолетов есть ограничения как по боковому, так и по встречному (попутному) ветру. При прогнозе направления ветра и даже по фактическому ветру на авиационных метеорологических станциях (АМСГ) определяется боковая составляющая ветра. Обычно это делается с помощью графика, представленного на рис. 7.4.

Порядок определения боковой составляющей скорости ветра на рис. 7.4 показан стрелками. Так, при скорости ветра 13 м/с и угле между направлением ветра и направлением ВПП  $40^\circ$  боковая составляющая скорости ветра равна 8 м/с.

Только авиацию и специалистов-метеорологов интересует направление ветра на высотах. Очень часто (практически всегда) при краткосрочных про-

гнозах погоды прогноз направления ветра заменяют его диагнозом. В принципе это допустимо и не дает больших ошибок.

Вместе с тем, крупные прогностические центры разрабатывают прогноз ветра на различных уровнях численными методами. Результаты этих расчетов оформляются в виде карт температуры и ветра и безвозмездно передаются всем потребителям, нуждающимся в этой информации. Таким образом, в руках синоптика оказываются карты с краткосрочным (до 12 ч) прогнозом температуры, направления и скорости ветра на основных изобарических поверхностях.

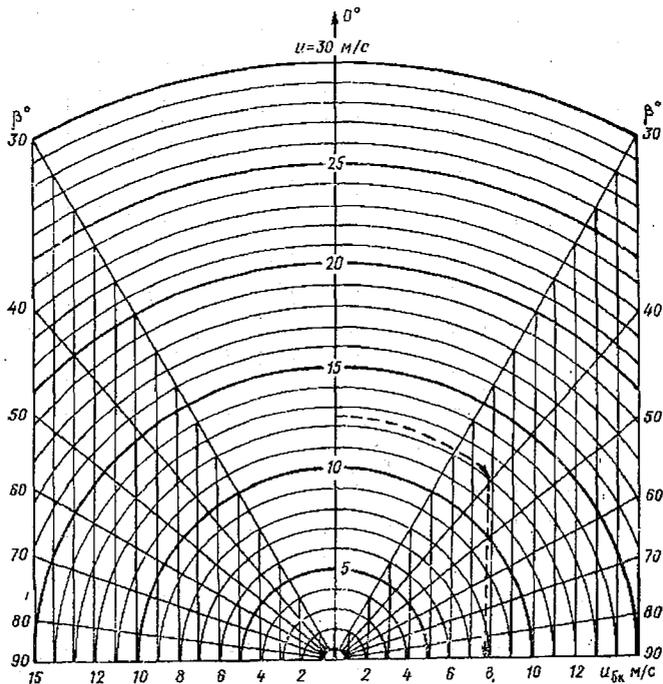


Рис. 7.4. Номограмма для определения боковой составляющей ветра по скорости ветра  $U$  и углу  $\beta$  между направлением ветра и направлением ВПП.

*Это интересно:*

– следует иметь в виду, что в интересах обеспечения авиации направление ветра у земли указывается относительно истинного меридиана, а не магнитного (разницу между ними вам объясняли еще в школе). А что делать, если направление ВПП и посадочный курс летчик определяет по компасу, т.е. по магнитному меридиану? Если магнитное склонение достаточно большое, а ветер почти строго боковой, то возникают проблемы, связанные с определением, какая составляющая ветра наблюдается: попутная или встречная или, иными словами, с каким курсом надо взлетать? На аэродромах эту проблему решили следующим образом: во всех сводках, которые передаются на другие аэродромы, направление ветра указывается относительно истинного меридиана, а на своем аэродроме направление ветра всегда дается относительно магнитного меридиана;

– на земном шаре есть две интересные точки, в которых ветер всегда имеет одно и то же направление: на северном полюсе всегда дуют южные ветры, а на южном – всегда северные.

### 7.7.2. Прогноз скорости ветра у земли

Нет сомнения в том, что большинство потребителей интересуется только сильным ветром. Однако вначале мы рассмотрим два метода, которые позволяют спрогнозировать ветер любой скорости.

*Метод А.С. Зверева.* Зверевым предложен график (рис. 7.5.), с помощью которого по горизонтальному градиенту давления в зависимости от времени года и времени суток можно определить ожидаемую скорость ветра.

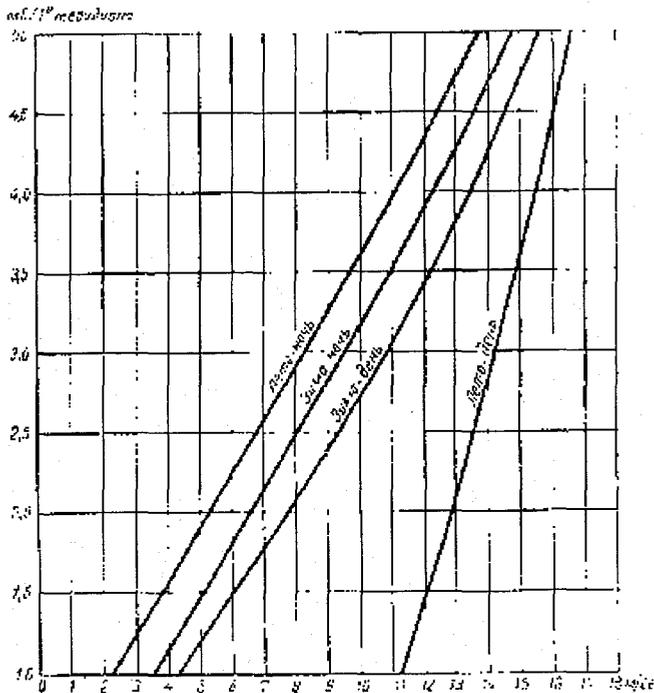


Рис. 7.5. График зависимости скорости ветра от горизонтального градиента давления.

*Второй метод* прогноза скорости ветра у земли предложен О.Г. Богаткиным. По этому методу рекомендуется определять скорость ветра по полуэмпирической формуле

$$U = k(pp), \quad (7.21)$$

где  $U$  – скорость ветра, м/с;  $k$  – полуэмпирический коэффициент, равный  $k = 2,5$  для северо-запада ЕЧР;  $(pp)$  – барометрическая тенденция, ГПа/3 ч, взятая по абсолютной величине за последний срок наблюдений.

Эта формула дает вполне удовлетворительные результаты, особенно в зоне холодного фронта.

Остальные методы прогноза относятся к прогнозу сильного ветра или шквала, что не одно и то же, так как по определению шквал это резкое и внезапное усиление ветра с обязательным изменением его направления.

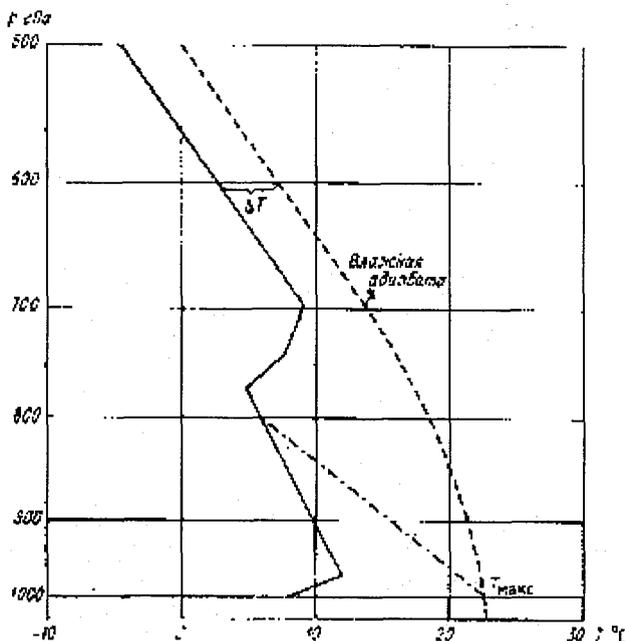


Рис. 7.6. График для прогноза максимальных порывов ветра у земли при грозах.

*Прогноз максимального ветра при грозах по аэрологической диаграмме.* Для прогноза максимального ветра при грозах по аэрологической диаграмме поступают следующим образом. От спрогнозированного значения максимальной температуры воздуха у земли (рис. 7.6) нужно подняться сразу по влажной адиабате до уровня 600 гПа и на этом уровне следует определить величину  $\Delta T$ , равную разности между температурой на влажной адиабате и на кривой стратификации. Максимальная скорость ветра при этом определяется выражением

$$U_{\text{макс}} = 2 \Delta T, \quad (7.22)$$

где  $U$  – скорость ветра, м/с;  $\Delta T$  – в градусах.

*Это интересно:*

Хочется обратить ваше внимание, уважаемый читатель, на следующее обстоятельство. Прогноз всех метеорологических величин тесно связан между собой, и нельзя выделить «главную» или «второстепенную» величину. Вот наглядный тому пример. Предположим, что мы прогнозируем температуру воздуха у земли и получили величину или 25, или 30°. Вроде бы ничего страшного нет (и так, и так жарко). Однако, если по формуле (7.22) в дальнейшем прогнозировать скорость ветра, то в первом случае у нас получится около 16 м/с, а во втором – 30 м/с. Если ветер скоростью 15 м/с «можно пережить», то скорость 30 м/с – это уже «очень страшно». А всего-то мы ошиблись в прогнозе температуры на 5°. И вот все метеорологические величины так крепко связаны между собой.

Б.Е. Песков и А.И. Снитковский предложили методику прогноза шквалов с заблаговременностью 3–6 ч при ожидаемом развитии мощной кучевой облачности. На рис. 7.7 представлен их график для прогноза шквала.

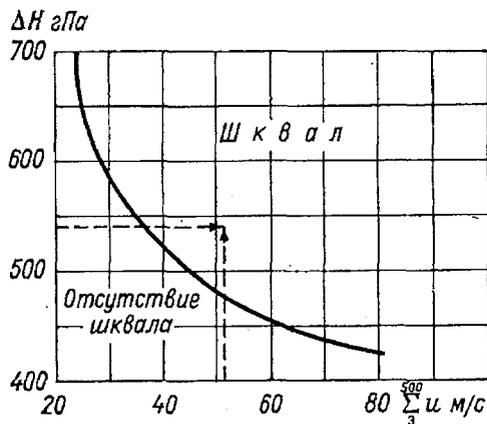


Рис. 7.7. График для определения возможности шквала.

На графике по горизонтальной оси отложено суммарное значение скорости ветра (м/с) на уровне земной поверхности, 850, 700 и 500 гПа, а по вертикальной оси – вертикальная мощность кучево-дождевого облака (гПа). Вся площадь графика разделена кривой на две зоны: «без шквала» и «шквал». Если по исходным данным наша точка попала в зону «шквал», то скорость ветра при шквале можно уточнить по графику, представленному на рис. 7.8.

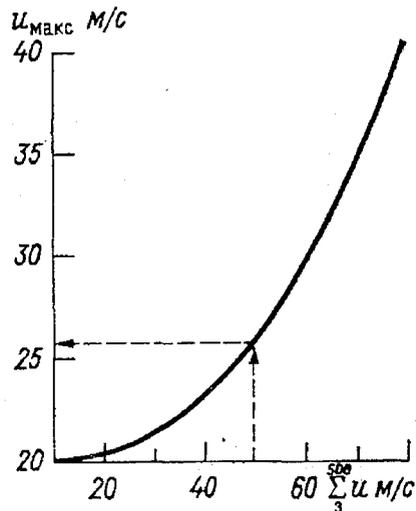


Рис. 7.8. Определение максимальной скорости ветра при шквале.

Прогноз максимальной скорости ветра при грозе может быть дан еще одним методом. Для этого нужно по данным утреннего зондирования по температуре воздуха на уровнях 850 и 600 гПа определить величину  $\delta T$  (порядок ее нахождения показан на рис. 7.9), а затем по этой величине с помощью рис. 7.10 определить максимальную скорость ветра.

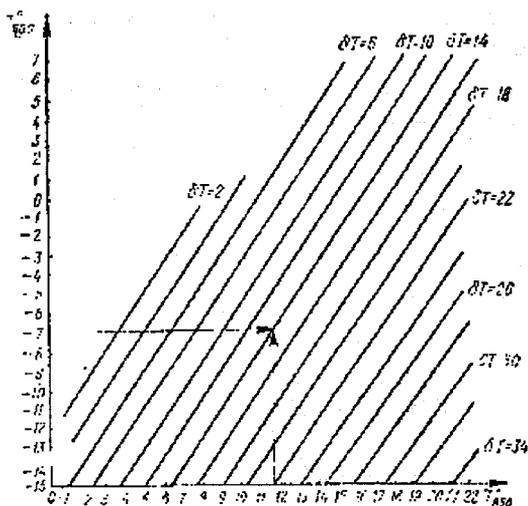


Рис. 7.9. График для определения величины  $\Delta T$ .

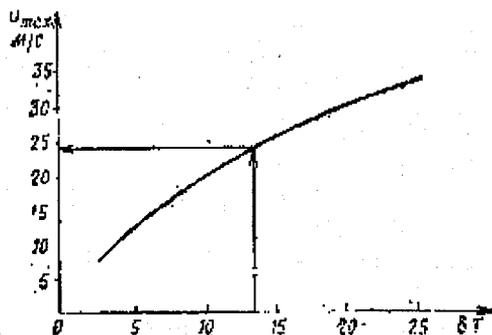


Рис. 7.10. График для определения максимальной скорости ветра при грозе.

Для прогноза ветра значения температуры на уровнях 850 и 600 гПа берутся из данных утреннего зондирования атмосферы.

*Определение скорости порывов ветра.* Определение скорости порывов ветра у земли можно производить по полуэмпирической формуле

$$U_{\text{пор}} = U_{\text{cp}} + 0,5 U_{\text{cp}}, \quad (7.23)$$

где  $U_{\text{cp}}$  — средняя скорость ветра.

Коэффициент 0,5, естественно, определяется подбором для каждого пункта.

*Прогноз ветра у земли по данным о ветре на уровне АТ-850.* Этот метод позволяет спрогнозировать скорость ветра у земли с заблаговременностью до суток. Для прогноза используется график, представленный на рис. 7.11. Здесь по вертикальной оси отложена прогностическая скорость ветра на уровне АТ-850, а по горизонтали — ожидаемая скорость ветра у земли.

Пользование данным графиком дополнительных пояснений не требует.

*Еще один метод прогноза скорости ветра у земли по данным о ветре на уровне 850 гПа предложен В.М. Ярковой и применяется на АМСГ «Урай». Об*

этом синоптико-статистическом методе рассказала синоптик АМСГ «Урай» В.М. Духанова. За основу берется ветер на карте АТ-850, а ветер у земли определяется по таблице (табл. 7.3) с учетом синоптической обстановки. Заблаговременность прогноза – до 12 ч.

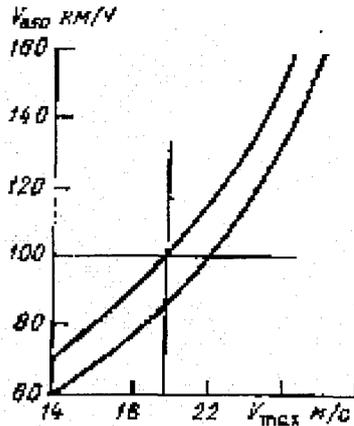


Рис. 7.11. График для прогноза скорости ветра у земли по данным о ветре на уровне 850 гПа.

Величина коэффициента  $K$  выбирается в зависимости от синоптической ситуации. Для района аэродрома Урай значение  $K = 1$  в том случае, если одновременно выполняются три условия: 1) на районы Западной Сибири смещается циклон; 2) скорость его смещения больше 30 км/ч; 3) контраст температуры на уровне 850 гПа в зоне фронта превышает  $6^\circ \text{C}/1000 \text{ км}$ .

Таблица 7.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА У ЗЕМЛИ  
ПО ДАННЫМ О ВЕТРЕ НА УРОВНЕ 850 гПа**

$U_{850}, \text{ км/ч}$	Ветер у земли, м/с		
	$K = 1,0$	$K = 0,7$	$K = 0,5$
40–60	10–14	5–9	Слабый
61–70	15–19	10–14	5–9
71–80	20–24	15–19	10–14
81–90	25–29	20–24	10–14
91–100	30–35	25–29	15–19

Если не выполняется хотя бы одно условие, то  $K = 0,7$ , а в однородной воздушной массе  $K = 0,5$ .

Определить скорость ветра у земли в зоне фронта можно также по графику, представленному на рис. 7.12. На этом рисунке по горизонтальной оси отложены значения горизонтального градиента давления (гПа/100 км), а по вертикальной – максимальная скорость ветра (м/с). Семейство наклонных линий характеризует скорость смещения фронта (км/ч).

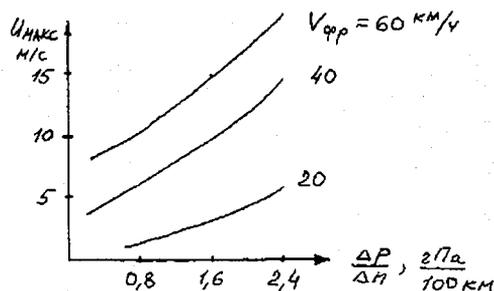


Рис. 7.12. График для определения скорости ветра в зоне фронта.

Пользование данным графиком дополнительных пояснений не требует.

Несколько необычные методы прогноза скорости и направления ветра получили достаточно широкое распространение в Западной Сибири и в районах Крайнего севера.

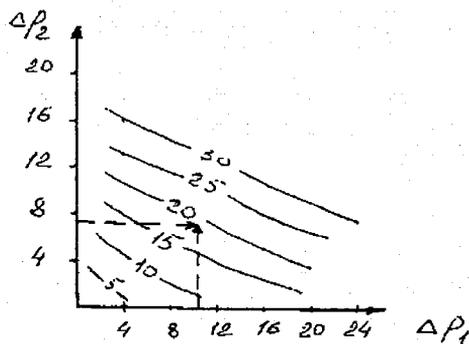


Рис. 7.13. График для определения скорости ветра, применяемый в районах Крайнего севера.

На севере для определения скорости ветра используют график (рис. 7.13). По горизонтальной оси на графике откладывается величина  $\Delta p_1$  – разность значений атмосферного давления в двух пунктах по потоку, а по вертикальной оси – величину  $\Delta p_2$  – разность значений давления в двух пунктах по нормали к потоку. Наклонные линии соответствуют прогнозируемым значениям скорости ветра. Увы, к сожалению, из-за крайне редкой сети станций практически всегда при прогнозе скорости ветра «в ход идут» данные одних и тех же станций. Однако даже такой, на первый взгляд, примитивный метод, дает вполне удовлетворительные результаты.

На юге Красноярского края для определения скорости и направления ветра получил широкое распространение метод Ганцевич (о нем автору рассказала инженер-синоптик Т.И. Воронинская). По графику, представленному на рис. 7.14, а, определяется направление ветра, а по рис. 7.14, б – скорость ветра. В обоих случаях по осям откладываются одни и те же величины. По горизонтальной оси отложена величина  $L_3$  – разность давлений у земли, взятая с последней кольцевой карты погоды, в пунктах Боготол и Канск, а по вертикаль-

ной оси – величина  $L_c$  – разность давлений в пунктах Абакан и Енисейск. По-года этих пунктов практически всегда есть на кольцевых картах погоды, и все пункты находятся примерно на одинаковом расстоянии от Красноярска. По разности давлений (по величине и направлению барического градиента) и определяется скорость и направление ветра.

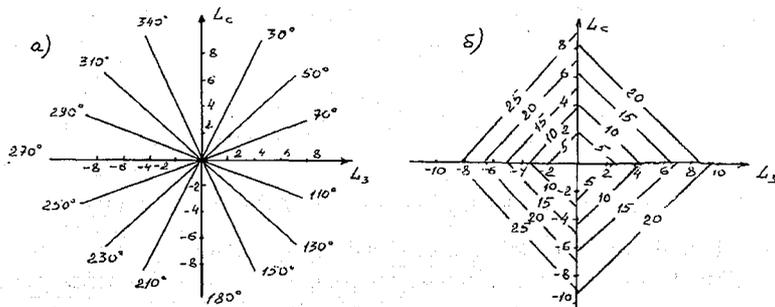


Рис. 7.14. График для определения направления (а) и скорости (б) ветра в Красноярске.

Пользование этими графиками также не требует дополнительных пояснений.

Еще один достаточно простой и весьма эффективный метод прогноза скорости ветра при шквале предложен в Новосибирске. Исходными данными для прогноза является величина

$$\Delta T = T_{\text{макс}} - T_a, \quad (7.24)$$

где  $\Delta T$  – величина, на которую понижается температура воздуха при ливне;  $T_{\text{макс}}$  – прогностическое значение максимальной температуры воздуха;  $T_a$  – значение температуры, для определения которой нужно от уровня конденсации (на бланке аэрологической диаграммы за утренний срок) опуститься по влажной адиабате до значения давления у земли.

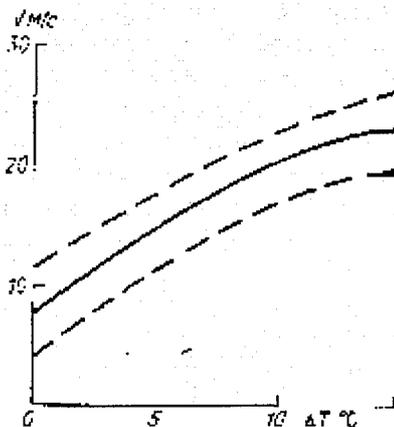


Рис. 7.15. График для определения скорости ветра при шквале, используемый в Новосибирске.

Далее по величине  $\Delta T$  и графику, представленному на рис. 7.15, определяется скорость ветра.

*Это интересно:*

Хочется остановиться на двух интересных случаях, связанных с прогнозом скорости ветра у земли.

Первый случай можно назвать закономерным, и такое может произойти с любым синоптиком. Представьте себе, что вы прогнозировали ветер, и у вас получилось, что ожидается скорость ветра, равная 30 м/с. Что в таком случае в первую очередь приходит в голову синоптику? Ну, конечно же, то, что метод дал неверный результат. Синоптик не поверит этому, за что и будет «наказан» шквалом. Если для прогноза используются проверенные методы, то не обращать внимания даже на невероятный результат прогноза нельзя. Просто в таких случаях (и это касается не только ветра) нужно использовать для прогноза большее количество известных методов, а также внимательно следить за изменениями фактической погоды. В этом случае, даже при неверном прогнозе, вы успеете своевременно предупредить об опасном явлении погоды своих потребителей.

Еще один интересный случай произошел с автором этих строк. В 1994 г в Ленинграде проводились Игры доброй воли. Ленинградский университет был официальным гидрометеорологом Игр. В обязанности нашего информационно-прогностического центра входило обеспечение оргкомитета Игр и судейских коллегий по всем видам спорта прогнозами погоды на период соревнований, а также проведение метеорологических наблюдений в местах соревнований. С работой мы справились успешно. Забавный казус произошел во время проведения соревнований по парусному спорту. Дело в том, что в период Игр наблюдалась все время сухая и жаркая погода. Температура воздуха днем колебалась в пределах 23–26° тепла, а температура воды в Финском заливе была 22–24°. На первый день соревнований мы дали ветер скоростью 2–5 м/с. Яхтсменов это устроило, хотя для соревнований по парусному спорту желателен более сильный ветер.

Перед стартом первой парусной гонки мы приехали в яхтклуб, измерили скорость ветра, и она оказалась равной 3 м/с. Все по прогнозу. Довольны мы, довольны судьи, довольны спортсмены. Яхты вышли в Финский залив к месту старта, которое находилось в пятистах метрах от берега, от яхтклуба, где мы замеряли скорость ветра. А в месте старта и по всей дистанции был... штиль. Яхты простояли до вечера и, так и не начав гонку, вернулись в яхтклуб. Во всем виноватым оказался бриз, который еще «давал» 3 м/с у берега и ничего не мог сделать на удалении в 500–1000 м от него. Так и прошли соревнования по парусному спорту, в которых вместо запланированных четырех гонок было всего две. Вот что значит не знать или не учитывать местные условия формирования погоды.

### **7.7.3. Прогноз скорости ветра на высотах**

Совершенно очевидно, что прогноз ветра на высотах разрабатывается, в основном, только в интересах авиации. Однако из-за недостатка времени на разработку прогноза (работа в аэропорту на АМСГ обычно очень напряженная), синоптик часто вынужден заменять прогноз ветра диагнозом. В свободной атмосфере при скоростях ветра более 30 км/ч это допустимо. Таким образом, фактические карты барической топографии становятся как бы и прогностическими до получения следующих карт, т.е. до обновления информации. Кроме того, и об этом уже говорилось выше, в распоряжении синоптика всегда есть прогностические карты температуры и ветра разных уровней, разработанные численными методами. Этими материалами можно пользоваться всегда и таким образом решить проблему прогноза скорости ветра на высотах.

Если же вдруг кто-то захочет спрогнозировать ветер в свободной атмосфере поточнее (если поточнее получится), то можно воспользоваться методом Э.С. Ильиной. Для прогноза скорости ветра через сутки Ильина предложила график (рис. 7.16), по горизонтальной оси которого откладывается фактическая скорость ветра ( $U_1$ ), а по вертикальной оси – разность ( $U_1 - U_2$ ), где  $U_2$  – скорость ветра на расстоянии 1000 км от точки прогноза против потока. Наклонные линии на графике укажут вам прогностическое значение скорости ветра.

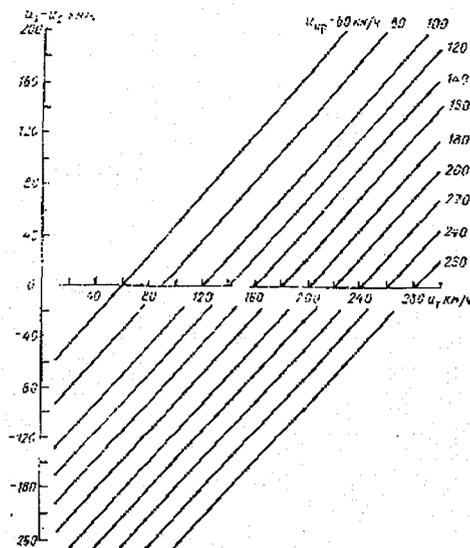


Рис. 7.16. Номограмма для прогноза скорости ветра на высотах на 24 ч (по методу Э.С. Ильиной).

Еще одна проблема в практике метеорологического обеспечения авиации возникает при необходимости определить параметры струйного течения. Известно, что за границу струйного течения принимается высота, на которой в свободной атмосфере (выше 5000 м) скорость ветра превышает 30 м/с, а специалистов гражданской авиации интересует не только высота оси струйного течения, но и максимальная скорость ветра на оси струи, а также толщина струйного течения, т.е. высота его нижней и верхней границ.

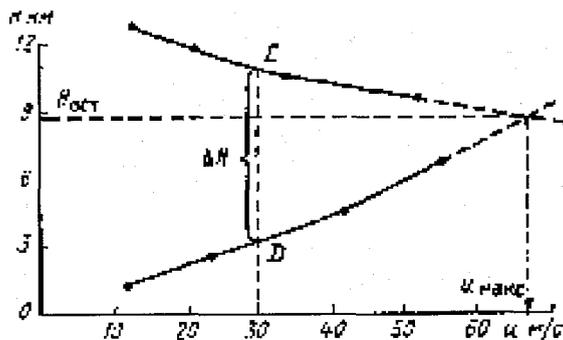


Рис. 7.17. Определение параметров струйного течения (по методу Е. Рейтера).

Все эти задачи позволяет решать метод Е. Рейтера, который предложил по данным зондирования атмосферы в произвольном масштабе строить график, по горизонтальной оси которого откладывается скорость ветра, а по вертикальной – высота (рис. 7.17).

И еще совершенно очевидное предположение Е. Рейтера: так как информация о направлении и скорости ветра в свободной атмосфере в распоряжении синоптика есть практически всегда только на основных изобарических поверхностях, то совершенно необязательно, чтобы уровень максимального ветра совпадал с этой поверхностью. Для определения всех параметров струйного течения Е. Рейтер предложил на график (рис. 7.17) нанести точки, в которых есть информация о скорости ветра, и соединить эти точки отрезками прямых линий. Причем соединение точек производить как сверху, так и снизу до максимальных значений скорости ветра. Далее, продлив последние отрезки, проведенные сверху и снизу, до их пересечения, мы получим высоту оси струйного течения, максимальную скорость ветра на оси, а величина  $\Delta H$  укажет нам не только толщину струйного течения, но и нижнюю и верхнюю границу струи.

*Это интересно:*

Для прогноза параметров струйного течения можно еще больше упростить свою работу. Ведь мы все параметры струи определяем только по двум последним отрезкам, проведенным сверху и снизу. Поэтому можно делать так. По данным зондирования нанести на график (рис. 7.17) только четыре точки с наибольшими значениями скорости ветра, а затем попарно соединить их сверху и снизу и продлить отрезки до пересечения. Мы получим тот же самый результат. Правда, иногда приходится строить несколько большее количество точек для определения толщины струйного течения: нижняя точка берется со значением скорости ветра до 30 м/с при его усилении, а верхняя – со скоростью ветра меньше 30 м/с при его ослаблении. Для определения максимального ветра и уровня максимального ветра достаточно и четырех точек.

## Глава 8

# ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

### 8.1. Причины турбулизации атмосферы

Среди метеорологических явлений, оказывающих влияние на полеты воздушных судов, одним из наиболее опасных является *атмосферная турбулентность*, вызывающая интенсивную *болтанку* самолетов, под которой понимается резкое перемещение ВС в вертикальной плоскости. Болтанка, особенно сильная, – явление сравнительно редкое. Тем не менее, внезапное попадание самолета в зону интенсивной турбулентности может быть причиной серьезных летных происшествий. В связи с этим перед синоптиками АМСГ стоит сложная задача диагноза и прогноза атмосферной турбулентности и болтанки самолетов. Трудности прогноза усугубляются большими погрешностями температурно-ветрового зондирования. Поэтому добиться удовлетворительного качества прогнозов можно только путем глубокого познания динамики атмосферы и комплексного учета атмосферных процессов.

Атмосфера практически всегда находится в турбулентном состоянии. Основной причиной турбулизации воздушных течений являются возникающие в атмосфере контрасты в поле ветра и температуры. Различные процессы порождают эти контрасты. К основным таким процессам следует отнести:

- *трение воздушного потока о поверхность земли* и как следствие – большие вертикальные градиенты ветра в нижнем слое;
- *деформация воздушных течений горами*;
- *неодинаковое нагревание различных участков подстилающей поверхности*, что вызывает термическую конвекцию;
- *процессы облакообразования*, при которых выделяется тепло конденсации и изменяется характер полей температуры и ветра;
- *взаимодействие воздушных масс с различными термодинамическими характеристиками*, на границе которых очень резко выражены горизонтальные градиенты температуры и ветра;
- *наличие инверсионных слоев*, на которых могут возникать гравитационные волны, теряющие при определенных условиях устойчивость.

Эти процессы могут действовать одновременно и тем самым усиливать или ослаблять турбулизацию атмосферы. При классификации турбулентности обычно во внимание принимаются не причины ее возникновения, а особенности развития. При этом выделяют *орографическую* (механическую) турбулентность, *термическую* (конвективную) турбулентность и *динамическую* турбулентность.

*Орографическая турбулентность* является функцией скорости ветра у поверхности земли, шероховатости земной поверхности, а также взаимного расположения направления ветра и направления хребта. Возмущения, возникающие за счет неровностей земной поверхности, приводят к образованию сильных восходящих и нисходящих потоков, которые и вызывают болтанку ВС.

*Термическая (конвективная) турбулентность* образуется за счет неравномерного нагрева поверхности или при адвекции холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность.

*Динамическая турбулентность* возникает в атмосфере в слоях, где наблюдаются большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра и температуры. В результате имеющихся в атмосфере градиентов ветра и температуры образуются гравитационные и гравитационно-сдвиговые волны, которые при определенных условиях могут терять устойчивость, разрушаться и переходить в турбулентные вихри более мелкого масштаба.

Ученых многих стран привлекает проблема *турбулентности ясного неба* (ТЯН). Это связано с задачей обеспечения безопасности полетов в метеорологическом отношении. ТЯН наиболее опасный для авиации вид турбулентности, так как всегда оказывается внезапной для экипажа. Под ТЯН понимается турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности, а также турбулентность в перистых облаках. Иными словами, та турбулентность, которую экипаж не ждет.

*Это интересно:*

Надеюсь, что не раскрою «большого секрета» летчиков, если скажу, что командир корабля или второй пилот не сжимают «судорожно» штурвал от взлета до посадки. После того как самолет набрал заданную высоту и встал на курс, летчик включает автопилот, и самолет без вмешательства летчика сохраняет высоту, скорость и курс полета. После включения автопилота командир может попросить у бортпроводницы чашечку кофе. А теперь представьте себе такую картину: ясная погода, самолет летит на автопилоте, командир и второй пилот сидят на своих местах, каждый с чашечкой кофе, а самолет вдруг попадает в зону ТЯН. Что нужно делать? Во-первых, нужно куда-то поставить чашку. Во-вторых, нужно выключить автопилот и только после этого взять управление на себя и парировать влияние турбулентных порывов. На все это потребуется не более 10 с, но при современных скоростях полета за это время самолет пролетит 2,5 км, и пассажиры и экипаж успеют на себе почувствовать, что такое турбулентность ясного неба.

В настоящее время нет строго теоретического описания ТЯН. Трудности в изучении ТЯН усугубляются и недостатком фактических данных о турбулентности ясного неба. Возникновение ТЯН в свободной атмосфере обусловлено термодинамическими, а в горных районах – орографическими причинами.

Дальнейшее накопление материала позволит уточнить теорию ТЯН, а следовательно, и решить проблему ее более точного прогноза.

Таким образом, в атмосфере на различных уровнях постоянно существуют турбулентные вихри разного масштаба. Эти вихри развиваются, исчезают, перемещаются, и все по-разному оказывают влияние на самолет, пролетающий через них.

*Это интересно:*

Пожалуй, почти каждому из вас, уважаемый читатель, приходилось в жизни хотя бы раз варить кашу. Да, да, самую обыкновенную кашу. Так вот, когда каша почти готова и начинает в кастрюле «томиться», на поверхность каши всплывают и лопаются пузырьки воздуха. Когда и в каком месте появится следующий пузырек и какого он будет размера – никто не знает. А вот теперь представьте, пожалуйста, что вся ваша каша – это турбулентная атмосфера. Где и какого размера образуется в атмосфере очередной вихрь – никто не знает, но этот вихрь может не только изменить турбулентное состояние атмосферы, но и оказать негативное влияние на полет самолета.

Однако для того чтобы атмосферные турбулентные вихри вызывали болтанку самолета, их размеры должны быть соизмеримы с размерами воздушных

судов. Так, например, установлено, что на дозвуковые самолеты оказывают влияние вихри размерами от нескольких десятков до нескольких сотен метров, а на сверхзвуковые самолеты – от нескольких сотен до нескольких тысяч метров.

Очень крупные вихри как бы вовлекают самолет в свой поток. При этом самолет не испытывает болтанки, а вместе с потоком совершает плавное изменение высоты полета. На очень мелкие турбулентные вихри самолет также не реагирует, поскольку они разного знака и взаимно компенсируются. Кроме того, современный самолет имеет и внушительные размеры, и внушительную массу и поэтому за счет инерции просто не успевает реагировать на мелкие вихри.

Образно влияние турбулентных вихрей на полет самолета можно сравнить с ездой на автомашине по горной дороге. Длинные подъемы и спуски водитель практически не ощущает. Не ощущает он и мелких шероховатостей покрытия дороги (только по-разному шелестят шины у автомобиля на асфальте разного качества), а чередование подъемов и спусков на расстояниях, соизмеримых с размерами автомобиля, будут очень затруднять езду.

## **8.2. Влияние турбулентных пульсаций на воздушное судно. Болтанка самолетов**

Полет самолета в турбулентной атмосфере сопровождается болтанкой – появлением знакопеременных ускорений, линейных колебаний центра тяжести самолета и угловых колебаний относительно центра тяжести. Следовательно, турбулентность приводит к нарушению равновесия сил, действующих на ВС, и его движение становится *возмущенным*. При этом:

- *изменяется* высота, курс и скорость полета;
- *ухудшается* устойчивость и управляемость ВС, а также комфорт полета;
- *увеличивается* износ отдельных агрегатов и узлов ВС.

*Это интересно:*

То, что при полете в турбулентной атмосфере изменяется высота, курс и скорость полета, а также ухудшается устойчивость, управляемость самолета и нарушается комфорт полета, пожалуй, объяснений не требует. Износ же отдельных агрегатов и узлов происходит из-за так называемой усталости материалов (понятие «усталость» – общепринятый термин в технологии, материаловедении и других науках). Вам, если вы летали на самолете, сидели у иллюминатора и видели конец крыла, иногда приходилось видеть, что крыло по каким-то причинам «дышит» – колеблется в вертикальной плоскости. Это происходит из-за попадания самолета в турбулентную зону. А теперь представьте себе, что вам нужно отломать кусок проволоки, который вам сразу не поддается. Что вам приходится делать? Вы начинаете изгибать ее вверх и вниз до тех пор, пока проволока не сломается. Дальнейшую аналогию с крылом самолета проводить или уже все понятно? До отрыва крыла дело, естественно, не доходит, но с усталостью балки, на которой крыло крепится, турбулентность делает «свое черное дело». Вот поэтому через установленные промежутки времени все детали и узлы самолета подвергаются проверке на прочность конструкции. Этим обеспечивается безопасность полетов.

На взлете и посадке болтанка опасна тем, что из-за сильной турбулентности возможны значительные броски самолета вверх и вниз от расчетной траектории полета. Если броски вверх могут привести к тому, что ВС окажется на закритических углах атаки, что наиболее опасно при взлете самолета, то броски ВС вниз могут привести к столкновению с земной или водной поверхностью, что одинаково опасно как при взлете, так и при посадке.

Интенсивность болтанки определяется перегрузкой или ее приращением.

Перегрузка ( $n$ ) – отношение подъемной силы в данный момент времени ( $Y$ ) к подъемной силе горизонтального полета ( $Y_0$ ), т.е.

$$n = \frac{Y}{Y_0}. \quad (8.1)$$

Если вспомнить, что в горизонтальном полете подъемная сила равна массе самолета ( $Y_0 = G$ ), а любая мгновенная величина равна средней плюс ее отклонение от этого среднего ( $Y = Y_0 + \Delta Y$ ), то можно записать

$$n = \frac{Y}{G} = \frac{Y_0 + \Delta Y}{G} = \frac{Y_0}{G} + \frac{\Delta Y}{G} = 1 + \frac{\Delta Y}{G}. \quad (8.2)$$

Из последней формулы видно, что в горизонтальном полете перегрузка  $n = 1$ . Во всех же остальных случаях перегрузка определяется двучленом. Это неудобно при проведении различных расчетов, и поэтому исследователи пошли на «маленькую хитрость»: они решили определять не перегрузку  $n$ , а приращение перегрузки

$$\Delta n = n - 1. \quad (8.3)$$

Из физики известно, что любая сила, в том числе и масса самолета, и изменение подъемной силы равны произведению массы тела на ее ускорение. Если массу самолета обозначить через  $m$ , а ускорение, которое получает самолет при полете в турбулентной атмосфере, – через  $j$ , то приращение перегрузки самолета будет равно

$$\Delta n = \frac{mj}{mg} = \frac{j}{g}. \quad (8.4)$$

Это значит, что приращение перегрузки самолета является безразмерной величиной и измеряется в долях ускорения свободного падения – в долях « $g$ ».

Причины возникновения ускорения  $j$  в полете могут быть двоякими. С одной стороны, это вмешательство летчика в управление самолетом, а с другой – действие турбулентного порыва на ВС.

Рассмотрим влияние вертикального порыва на самолет без вмешательства летчика в управление. Предположим, что на самолет, летящий с горизонтальной скоростью  $V$ , подействовал вертикальный порыв  $U_y$  (рис. 8.1).

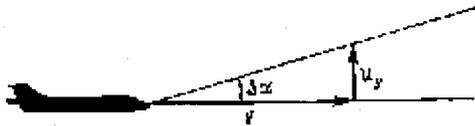


Рис. 8.1. Влияние вертикального порыва на полет самолета.

Тогда подъемная сила самолета равна до воздействия порыва

$$Y = c_y S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (8.5)$$

а после воздействия порыва

$$Y + \Delta Y = (c_y + \Delta c_y) S \frac{\rho V^2}{2}. \quad (8.6)$$

Действительно, если посмотреть на правую часть выражения (8.5), то становится очевидным, что ни плотность воздуха ( $\rho$ ), ни скорость полета ( $V$ ), ни площадь крыла ( $S$ ) измениться не могут, а может измениться только коэффициент подъемной силы  $c_y$ . Используя правила математики и учитывая, что  $V \gg U_y$ , можно записать (см. рис. 1.5):

$$\Delta c_y = \frac{\partial c_y}{\partial \alpha} \Delta \alpha. \quad (8.7)$$

В последнем выражении  $\frac{\partial c_y}{\partial \alpha}$  характеризует крутизну (скорость) изменения коэффициента подъемной силы, а величина  $\Delta \alpha$  – изменение угла атаки. Вспомнив из математики, что тангенсы малых углов равны самим углам, можно записать (см. рис. 8.1):

$$\text{tg}(\Delta \alpha) = \frac{U_y}{V} \approx \Delta \alpha. \quad (8.8)$$

Теперь, если из выражения (8.6) вычесть выражение (8.5) и подставить все значения из последних двух уравнений, мы получим

$$\Delta Y = \frac{\partial c_y}{\partial \alpha} \frac{U_y}{V} S \frac{\rho V^2}{2}. \quad (8.9)$$

Однако выражение (8.9) еще не окончательное. Из него становится очевидным, от каких параметров зависит приращение подъемной силы, а нам нужно знать, от чего зависит приращение перегрузки. Для этого следует последнее выражение разделить на  $G$ . Тогда получим:

$$\Delta n = \frac{\Delta Y}{G} = \frac{\partial c_y}{\partial \alpha} S \rho \frac{V U_y}{2G} \quad (8.10)$$

или

$$\Delta n = \frac{\partial c_y}{\partial \alpha} U_y V \frac{\rho}{2 \frac{G}{S}}. \quad (8.11)$$

Анализ выражения (8.11) позволяет сделать вывод, что перегрузка, которую испытывает самолет, зависит от типа самолета, высоты и скорости его полета и скорости вертикального порыва. Следовательно, два разных самолета, выполняющих полет на одной высоте с одинаковой скоростью, при встрече с одним и тем же порывом будут испытывать разную перегрузку (разную болтанку).

*Это интересно:*

Из приведенного последнего выражения видно, что при заданной высоте и скорости полета (а эти параметры экипаж всегда знает до вылета) для определения болтанки и ее интенсивности нужно только знать скорость вертикального порыва  $U_y$ . А скорость вертикальных порывов не что иное, как скорость вертикальных токов. Следовательно, если мы научимся грамотно прогнозировать вертикальные токи, то с прогнозом болтанки самолетов проблем быть не должно. К сожалению, точность прогноза вертикальных токов в настоящее время такова, что для прогноза болтанки приходится пользоваться другими методами.

Перегрузка в полете может измеряться визуально (по ощущениям экипажа), акселерометрами – приборами, фиксирующими величину ускорения, или акселерографами – приборами, не только фиксирующими, но и записывающими величину ускорения самолета. Кстати, значения ускорения самолета попадают в «черный ящик». Анализируя вертикальную и горизонтальную составляющие порыва, можно определить истинное направление оси турбулентного вихря.

В соответствии с правилами ИКАО, если  $|\Delta n| \leq 0,5$ , то болтанка относится к слабой. Ей соответствуют вертикальные порывы до 10 м/с. При  $0,5 < |\Delta n| \leq 1,0$  болтанка считается умеренной, а вертикальные порывы при этом составляют 10–15 м/с. В тех случаях, когда  $|\Delta n| > 1,0$ , болтанка фиксируется как сильная и ей соответствуют вертикальные порывы более 15 м/с.

При заходе самолета на посадку, когда из-за уменьшения скорости планирования ВС его устойчивость и управляемость ухудшены по сравнению с горизонтальным полетом, а необходимая подъемная сила создается за счет использования элементов механизации крыла, перегрузка до  $\pm 0,3$  фиксируется как слабая, болтанка от  $\pm 0,3$  до  $\pm 0,4$  – как умеренная и свыше  $\pm 0,4$  – как сильная.

При слабой болтанке ощущаются частые толчки самолета и наблюдается покачивание с крыла на крыло и незначительное изменение высоты полета. Режим полета сохраняется. Пассажиры и экипаж (особенно пассажиры) при слабой болтанке испытывают неприятные ощущения, ходьба по самолету затрудняется.

При умеренной болтанке наблюдаются резкие вздрагивания и отдельные броски ВС, которые часто сопровождаются большими кренами. Режим полета нарушается по высоте и по курсу. При больших отрицательных перегрузках (броски вниз) ощущается невесомость, а при положительных (броски вверх) – сильное прижатие к креслу. При умеренной болтанке незакрепленные предметы начинают смещаться, хождение по самолету может вызвать легкие травмы. В полете необходимо пристегнуться ремнями.

При сильной болтанке имеют место очень сильные и резкие броски самолета, которые сопровождаются большими перегрузками. Режим полета нарушается, а использование автопилота крайне затруднено. Ухудшается и управляемость ВС, что может привести к возникновению нештатной ситуации на борту самолета. При сильной болтанке пассажиры могут отделяться от кресел и висеть на ремнях или сильно прижиматься к креслам. Несоблюдение пассажирами правил поведения на борту ВС (непристегнутые ремни, расположение на верхней полке над собой тяжелых предметов, сумок и т.д.) может привести к получению серьезных травм и ушибов.

Турбулентность, вызывающая болтанку самолетов, на различных высотах встречается неодинаково часто. Так, по данным статистики установлено, что в слое 0–1 км повторяемость болтанки составляет 25%, на высотах 1–6 км она примерно равна 10%, а в слое 6–11 км повторяемость болтанки вновь увеличивается до 15%. На больших высотах в слое 11–16 км повторяемость болтанки уменьшается до 5–8%, а в средней стратосфере (выше 16 км) становится меньше 5%.

Такое распределение турбулентности в атмосфере нетрудно объяснить физически. Нижний километровый слой подвержен турбулизации за счет неодно-

родности земной поверхности. Поэтому повторяемость болтанки в нем наибольшая.

В слое 1–6 км влияние подстилающей поверхности значительно меньше, чем в нижнем слое, а достаточно большие градиенты ветра, связанные со струйными течениями, еще не сказываются при полетах в средней тропосфере. Верхняя тропосфера турбулизирована сильнее средней за счет больших неоднородностей в поле ветра и температуры в этом слое.

Наиболее устойчиво стратифицирована стратосфера (особенно средняя), но и на этих уровнях болтанка имеет место, причем воспринимается экипажем как очень жесткие удары по поверхности воздушного судна. Такое восприятие болтанки в стратосфере обусловлено большими скоростями полета на этих высотах и, очевидно, возможностью лавинообразного увеличения угла атаки до критического при малых начальных вертикальных порывах.

Помимо повторяемости болтанки существует и понятие *встречаемость болтанки*, под которой понимается расстояние, которое нужно пролететь для того, чтобы встретиться с одним случаем болтанки. По данным исследований для верхней тропосферы установлено, что для встречи с одним случаем болтанки любой интенсивности нужно пролететь примерно 3500 км, для встречи с умеренной или сильной болтанкой – 9000 км, и для встречи с одним случаем сильной или очень сильной болтанки – около 23 000 км. Мало это или много?

С одной стороны, встречаемость болтанки вроде бы незначительна, но с другой стороны – за два полета из Москвы в Хабаровск и обратно воздушное судно по статистике должно попасть в зону сильной или очень сильной болтанки. А это уже много!

Обработка самолетных записей перегрузок позволила установить и средние размеры турбулентных зон. По данным Н.З. Пинуса и И.Г. Пчелко, 80% турбулентных зон «умещается» в параллелепипед размером  $100 \times 100 \times 1$  км, причем при увеличении высоты полета размеры турбулентных зон уменьшаются.

Следовательно, в турбулентной, но не вызывающей болтанку самолетов, атмосфере существуют очаги (линзы, «блины»), турбулентное состояние которых способно вызвать болтанку ВС любой интенсивности, и попадание самолета в такие очаги связано или с неприятными ощущениями, или даже с неприятными последствиями.

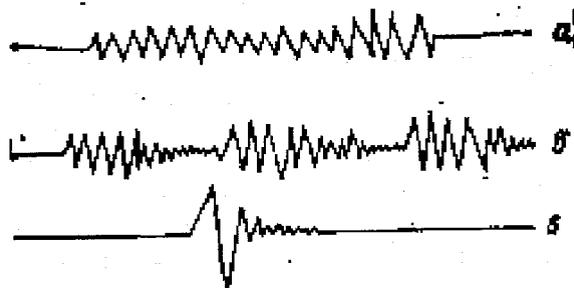


Рис. 8.2. Вид записей акселерографа при полете ВС в зонах турбулентности:  
а – непрерывная турбулентная зона; б – прерывистая турбулентная зона;  
в – отдельные толчки (броски) самолета.

Анализ записей перегрузок позволил установить и время существования турбулентных зон. По В.Н. Барахтину, это время колеблется от 0,5 до 50 ч и в среднем составляет 4–6 ч.

По своему характеру турбулентные зоны могут быть трех видов: непрерывные турбулентные зоны, прерывистые зоны и отдельные броски самолета. Вид записей акселерографа при полете ВС через эти зоны показан на рис. 8.2. В верхней тропосфере наиболее часто встречаются непрерывные турбулентные зоны, а в стратосфере – отдельные толчки (броски) самолета.

*Вертолет* в значительно меньшей степени, чем самолет, подвержен болтанке. В реальных условиях атмосферной турбулентности перегрузка вертолета, как правило, не превышает эксплуатационную. Для одних и тех же атмосферных условий перегрузки вертолета Ми-8 в 1,5–2,0 раза меньше, чем у самолета Ан-24. Заметного нарушения управляемости вертолета не происходит даже при сильной болтанке, но техника пилотирования при этом значительно усложняется. При интенсивной турбулентности основным условием облегчения пилотирования и повышения безопасности полетов вертолетов является выдерживание рекомендованного диапазона скоростей полета. Например, для вертолета Ми-8, рекомендованный диапазон скоростей полета составляет 150–175 км/ч.

Подробно условия возникновения болтанки ВС будут рассмотрены ниже.

### 8.3. Структура турбулентности при ясном небе

Как указывалось выше, проблему ТЯН изучают в теоретическом и экспериментальном плане у нас в стране и за рубежом. В результате анализа материалов многочисленных летных экспериментов, проведенных Н.З. Пинусом, была разработана физическая модель ТЯН, параметры которой мало чем отличаются от параметров модели ТЯН, разработанной иностранными авторами.

Характерные особенности ТЯН – перемежаемость и резкая локализация в окружающем спокойном потоке. Кроме того, к особенностям ТЯН относится следующее наблюдение: атмосферные течения, в которых развивается ТЯН, имеют сложные вертикальные профили ветра и температуры и затрудняют теоретический анализ процессов и условий развития ТЯН. К настоящему времени можно считать установленным, что турбулизация воздушного потока в отдельных замкнутых областях является следствием роста амплитуд внутренних волн в результате гидродинамической неустойчивости воздушного потока со сдвигом ветра (так называемой неустойчивости Кельвина – Гельмгольца). При определенных условиях распределения температуры и ветра волны в атмосфере, длина которых меньше критической ( $\lambda_{кр}$ ), должны сначала усиливаться, а затем разрушаться и переходить в турбулентность более мелкого масштаба. Такое явление обычно наблюдается на поверхности раздела в атмосфере. Например, если разность температур на поверхности раздела равна 5 °С, векторная разность скорости ветра 10 м/с, средняя температура на поверхности раздела –50 °С, а вертикальный градиент температуры  $\gamma = 0,5$  °С/100 м, то для перечисленных условий  $\lambda_{кр} = 1400$  м.

Исследования метеорологических условий образования ТЯН позволили установить характеристики полей ветра и температуры, которые являются бла-

гоприятными для возникновения турбулентности ясного неба. К ним в первую очередь относятся значительные вертикальные и горизонтальные градиенты ветра, зоны с резкими изменениями вертикального градиента температуры воздуха, области с большими значениями горизонтальных градиентов температуры и ряд других характеристик. Большое значение на образование ТЯН оказывает характер синоптических процессов, обуславливающих контрасты в поле ветра и температуры.

#### 8.4. Турбулентность в облаках

Установлено, что на всех уровнях в атмосфере болтанка в облаках встречается значительно чаще, чем при безоблачном небе. Это вполне естественно. Повторяемость болтанки в облаках различных форм неодинакова и зависит от физических причин возникновения облачности того или иного вида. Например, в облачной системе As–Ns, образование которой происходит при сравнительно слабых вертикальных токах (сантиметры в секунду), повторяемость болтанки составляет 30%, а в облаках вертикального развития (вертикальные токи – десятки метров в секунду) повторяемость болтанки близка к 100%.

В табл. 8.1 приведены данные о повторяемости болтанки самолетов в облаках различных форм, полученные С.М. Шметером.

Таблица 8.1

**ПОВТОРЯЕМОСТЬ (%) БОЛТАНКИ САМОЛЕТОВ  
В ОБЛАКАХ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ (по С.М. Шметеру)**

Форма облаков					Без уточнения формы
St, Sc	Ns–As	Ac	Ci, Cs, Cc	Cu, Cu cong, Cb	
34	30	29	34	95	40

При полете в слоистообразных облаках по интенсивности болтанка редко превышает умеренную. Чаще всего это слабая болтанка. Наибольшие перегрузки при полете в слоистообразных облаках наблюдаются у верхней границы облачности, особенно в том случае, если эти облака неодинаковы по плотности.

В облаках вертикального развития болтанка значительно интенсивней, чем в облаках слоистых форм. Внутри кучевообразных облаков наблюдаются вертикальные (реже – горизонтальные) турбулентные порывы. Эти порывы (вихри) имеют сравнительно небольшие размеры (внутри кучевых облаков – до нескольких десятков метров, а внутри кучево-дождевых облаков – до 1000 м), но как раз именно такие размеры вихрей соизмеримы с размерами самолетов и вызывают интенсивную болтанку ВС.

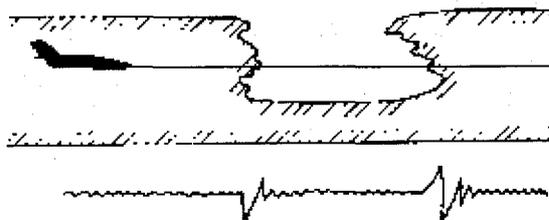


Рис. 8.3. Вид записи акселерографа при полете ВС вблизи «стены облаков».

Практика полетов обнаружила интересное явление, которое получило в литературе название «болтанка у стены облаков». Было замечено, что интенсивность болтанки заметно увеличивается при входе в облачность и при выходе из нее (рис. 8.3).

Это явление можно объяснить следующим образом. Как известно, тяга авиационного двигателя прямо пропорциональна массе воздуха, который через него проходит. Поэтому когда самолет входит в облако, то в двигатель вместе с воздухом попадают и облачные капли. Это приводит к увеличению общей массы (воздух, сконденсированный водяной пар), проходящей через двигатель в единицу времени, а следовательно, к увеличению его тяги. Увеличение тяги двигателя вызывает увеличение подъемной силы и, как следствие, – бросок самолета вверх. При выходе из облачности наблюдается обратная картина.

Подробно условия полетов в облаках различных форм будут рассмотрены в последующих главах.

### 8.5. Турбулентность в струйных течениях

Болтанка самолетов в верхней тропосфере, особенно умеренная или сильная, обычно связана с наличием или кучево-дождевой облачности, или струйных течений. Если кучево-дождевые облака предупреждают экипаж о возможности попадания в зону интенсивной турбулентности, то болтанка в области струйных течений часто возникает при ясном небе.

Обычно зоны наиболее интенсивной болтанки отмечаются не на оси струйного течения, а на его периферии, в областях резкого изменения скорости ветра. Причем турбулизация атмосферы, способная вызвать болтанку ВС, наблюдается не во всей зоне струйного течения. Как правило, на фоне достаточно протяженных «спокойных» зон встречаются сравнительно короткие локальные зоны сильной турбулентности.

Специальные исследования показали, что полет в струйном течении может протекать как спокойно, так и сопровождаться сильной болтанкой. Более того, полет в одном и том же районе на одном и том же эшелоне через небольшой промежуток времени в одном случае может сопровождаться болтанкой, а в другом – происходить спокойно. Это говорит о большой пространственной и временной изменчивости зон турбулентности в области струйных течений.

Наиболее часто умеренная или сильная болтанка встречается на холодной (циклонической) стороне струйного течения несколько ниже его оси или на теплой (антициклонической) стороне выше оси струи. Такое распределение турбулентных зон в струйных течениях обусловлено различием вертикальных и горизонтальных градиентов ветра, наблюдающихся в области струйных течений. Установлено, что на холодной стороне струйного течения градиенты ветра примерно в 1,5 раза больше, чем на теплой, а повторяемость болтанки на холодной и теплой сторонах струи составляет соответственно 40 и 30%.

При увеличении скорости ветра на оси струи повторяемость болтанки возрастает, так как в этих случаях создаются более благоприятные условия для возникновения больших вертикальных градиентов скорости ветра. Однако, по данным И.Г. Пчелко, болтанка в области струйных течений обусловлена в основном горизонтальными градиентами скорости ветра. Здесь обычно выделяют два типа горизонтальных сдвигов ветра: сдвиг по потоку и боковой сдвиг.

Сдвиг по потоку возникает при сравнительно большом усилении (ослаблении) ветра в направлении потока, например, в дельте струйного течения, а боковой сдвиг – при значительном ослаблении ветра в направлении, перпендикулярном потоку.

Как указывалось выше, в области струйных течений болтанка обычно наблюдается при ясном небе. Исключение из этого правила составляют случаи, когда облака связаны со струйными течениями. Облака струйных течений представляют собой полосы с хорошо выраженными краями, вытянутыми параллельно направлению потока. В этих случаях турбулентность, вызывающая болтанку, развита в большей степени, чем при безоблачном небе. Причем, чем быстрее меняется внешний вид облаков, тем сильнее в них развита турбулентность.

Струйное течение может или облегчить, или усложнить выполнение полетного задания, или даже сделать невозможным полет по заданной трассе. Действительно, при использовании попутного струйного течения уменьшается время полета по маршруту и экономится топливо, а сильный встречный ветер приводит к обратным результатам.

Однако встреча с зоной сильной болтанки при любом направлении полета всегда неприятна и опасна. Особенно опасна встреча с зоной сильной болтанки на высотах, близких к практическому потолку самолета, где устойчивость и управляемость ВС уменьшена, а диапазон возможных скоростей полета и углов атаки ограничен.

Поэтому при консультации летного состава перед вылетом синоптик должен довести до экипажа информацию о расположении струйного течения, скорости ветра на оси струи и зон турбулентности, связанных с этим течением.

*Вот для чего в авиационных прогнозах погоды нужна информация о турбулентности и струйных течениях, вот для чего мы их прогнозируем.*

## **8.6. Орографическая турбулентность**

Механическая турбулентность, вызывающая орографическую болтанку, зависит от неровностей земной поверхности, скорости ветра и взаимного положения направления ветра и направления хребта. Причиной турбулизации воздушного потока в этом случае является потеря им устойчивости в пограничном слое атмосферы. Неровности рельефа обуславливают появление возмущений, амплитуда которых увеличивается в неустойчивом потоке. Эти возмущения при разрушении порождают турбулентные зоны.

*Это интересно:*

Хочется пояснить, как разрушение возмущений порождает турбулентные зоны. Во-первых, существует строгое математическое объяснение и доказательство этого явления. Его недостаток – оно достаточно сложное. Во-вторых, вы все видели, как догорающая до самого конца спичка или как последний уголек в костре перед тем, как окончательно погаснуть вспыхивает ярким пламенем. Примерно такой же процесс и происходит при разрушении возмущений. Это хотя и бездоказательный, но наглядный пример происходящего в атмосфере.

Возмущения, возникающие за счет неровностей земной поверхности, часто носят волновой характер, проникая в вышележащие слои воздуха. Эти волны смещаются по потоку с затухающей амплитудой и прослеживаются до высот, в

4–5 раз превышающих высоту орографического препятствия (горного хребта), и на расстояниях в 10–20 раз больших, чем высота препятствия. В гребнях этих волн может развиваться мелкомасштабная турбулентность. Такой вид турбулентности может наблюдаться не только в облаках, но и при безоблачном небе. Согласно С.М. Шметеру, можно выделить четыре типа обтекания гор воздушным потоком.

*Первый тип обтекания* (рис. 8.4, а) характеризуется слабым ветром у вершины хребта. В этом случае линии тока слегка смещены, и турбулентность, вызывающая болтанку ВС, практически отсутствует.

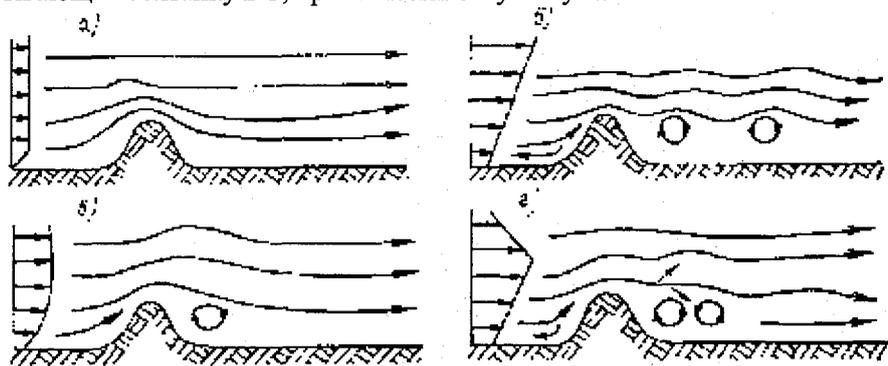


Рис. 8.4. Структура воздушного потока над горами.

*Второй тип обтекания* (рис. 8.4, б) возможен при скорости ветра у вершины хребта, равной 5–7 м/с. На наветренной стороне хребта наблюдается сходимость потока и максимальное смещение линий тока, а на подветренной стороне – стоячий вихрь с горизонтальной осью (ротор), размеры которого, по данным экспериментальных исследований, могут достигать нескольких сотен метров.

*Третий тип обтекания* (рис. 8.4, в) характеризуется постоянным увеличением скорости ветра с высотой, которая у вершины хребта превышает 8–10 м/с. Такие условия оказываются благоприятными для возникновения с подветренной стороны роторов, способных «отрываться» от хребта и переноситься по воздушному потоку. Над зоной роторов возникает система подветренных волн, затухающих по мере удаления от хребта, в гребне которых могут возникать чечевицеобразные облака.

При *четвертом типе обтекания* гор воздушным потоком (рис. 8.4, г) ветер усиливается до высоты, примерно в 1,5 раза превышающей высоту горного хребта, а затем резко ослабевает. В этом случае за хребтом наблюдается очень сильная турбулентность, квазистационарные вихри, потоки в которых вращаются в разных направлениях.

Интегральная картина возникновения турбулентных зон при обтекании хребта воздушным потоком (по С.М. Шметеру) представлена на рис. 8.5.

Для образования подветренных волн наиболее благоприятны прямые горные цепи большой протяженности. Отдельные горы и хребты небольшой протяженности воздушный поток частично обтекает сбоку, уменьшая тем самым деформацию потока. При искривленном хребте турбулизация воздушного потока больше на вогнутых по отношению к направлению потока участках хребта.

та, так как в этих случаях «весь воздух» вынужден подниматься вверх и переливать горный хребет, а не обтекать его.

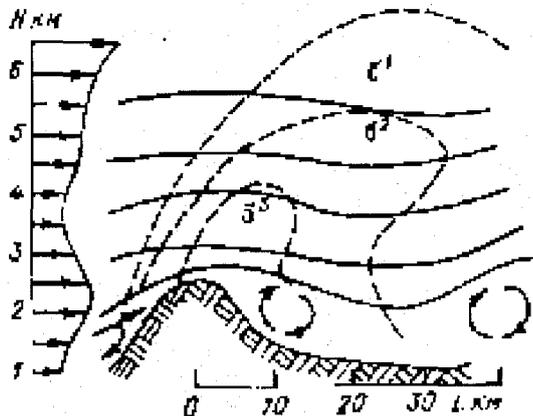


Рис. 8.5. Характеристика турбулентных зон над горами.  
 $\text{б}^1$  – слабая,  $\text{б}^2$  – умеренная,  $\text{б}^3$  – сильная болтанка.

Длина подветренных волн зависит от скорости ветра и степени термической устойчивости потока. Более короткие волны наблюдаются при сравнительно слабом ветре и большой термической устойчивости.

Скорость вертикальных токов в волнах над горами высотой 500–1000 м составляет 2–3 м/с, а над более высокими горами – 15 м/с и даже более. Максимальные скорости вертикальных токов отмечаются на уровне, равном высоте хребта. С высотой они уменьшаются. Для полетов ВС наибольшую опасность представляют нисходящие токи, так как пилот ВС, попав в сильный нисходящий поток, не всегда успевает своевременно набрать безопасную высоту полета.

Оценивая возможность развития орографической турбулентности, необходимо учитывать следующее:

1. Изменение синоптических условий. Здесь особое внимание следует уделить вопросу приближения или прохождения атмосферных фронтов, которые вызывают резкие изменения в распределении температуры и ветра с высотой.

2. Наличие струйных течений. Большие сдвиги ветра, наблюдающиеся на периферии струйного течения, способствуют большей турбулизации воздушного потока.

3. Особенности рельефа местности. Как правило, горные районы состоят из ряда отдельных вершин и хребтов. Возмущения, которые создает каждое препятствие в отдельности, при взаимодействии может существенно изменить общую картину потока.

4. Суточные и сезонные изменения. В ясную погоду радиационное выхолаживание воздуха способствует образованию инверсий в нижнем слое, а следовательно, и развитию подветренных волн. Кроме того, в каждом районе имеются сезонные изменения повторяемости волновых явлений. По данным Ферхготта, над подветренными склонами хребтов высотой до 1000 м горные волны появляются в течение всего года, а над более высокими горными хребтами наиболее часто встречаются зимой.

## 8.7. Синоптические условия интенсивной турбулентности

Анализ материалов полетов попадавших в болтанку самолетов позволил установить связь болтанки с различными особенностями атмосферных полей и физических процессов и сформулировать некоторые правила для применения на практике. При этом главное внимание было обращено на особенности барического поля на высоте полета, а также на наличие в районе полетов атмосферных фронтов, облачных полей или струйных течений, на характер адвекции, сходимости или расходимости потоков.

Так как однозначной связи между болтанкой ВС и синоптическим положением не существует, то окончательное суждение о возможности ее возникновения может быть получено только путем оценки как синоптических, так и статистических характеристик. При этом обязательно нужно учитывать особенности физических процессов, происходящих в каждом конкретном случае.

Исследование характера барического поля при болтанке позволило выявить пять типов синоптических ситуаций, наиболее благоприятных для возникновения болтанки самолетов (рис. 8.6).

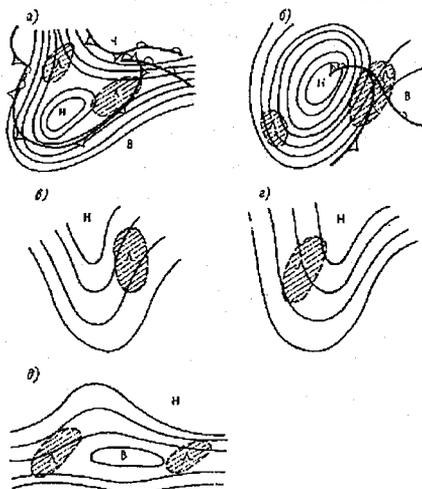


Рис. 8.6. Распределение и положение зон болтанки при различных типах синоптических ситуаций:

- a* – барическое поле, выраженное глубокой высотной ложбиной,
- б* – высотный циклон, *в* – передняя часть ложбины, *г* – тыловая часть ложбины,
- д* – область высотного гребня.

Первый тип барического поля характеризуется наличием глубокой высотной ложбины, в которой можно выделить отдельный циклон. Зоны наиболее сильной болтанки в этом случае находятся обычно в области сильной расходимости или сходимости изогипс (потоков) (рис. 8.6, *a*). Скорость ветра в зонах болтанки составляет около 100–150 км/ч, а средние значения горизонтальных (боковых) сдвигов ветра, как правило, превышают 15–20 км/ч на 100 км. В области сходимости изогипс граница зоны с наибольшей вероятностью болтанки расположена непосредственно от приземной линии холодного фронта до оси ложбины. В области сходимости изогипс преобладает умеренная болтанка, а в области расходимости изогипс – сильная болтанка.

По данным И.Г. Пчелко, при резко выраженной сходимости потока, сильном ветре и значительном сдвиге ветра вероятность встречи с интенсивной болтанкой повышается.

Второй тип барического поля характеризуется высотным циклоном (рис. 8.6, б). При этом типе поля также имеются две зоны, в которых болтанка встречается наиболее часто.

В первой зоне, находящейся в тыловой части циклона, болтанка, как правило, умеренная; скорость ветра 100–120 км/ч, наблюдается незначительная сходимость изогипс. Вторая зона болтанки располагается в передней части циклона в области сильной расходимости изогипс и больших горизонтальных сдвигов ветра. Скорость ветра 100–150 км/ч, а горизонтальные сдвиги на отдельных участках могут превышать 50 км/ч на 100 км. На приземной синоптической карте этой зоне соответствует теплый сектор циклона и прилегающие к нему участки шириной 100–200 км за холодным и впереди теплого фронтов. Интенсивность болтанки здесь может превышать умеренную.

Третий и четвертый типы барического поля, в которых болтанка наблюдается наиболее часто, выражены ложбиной (рис. 8.6, в, г).

Третий тип характеризуется тем, что болтанка наблюдается в передней части ложбины, несколько правее ее оси в области расходимости изогипс. Болтанка может достигать умеренной интенсивности. Особенно большая вероятность возникновения болтанки при углублении ложбины. Скорость ветра здесь обычно не превышает 100 км/ч, а боковые сдвиги ветра незначительны.

Четвертый тип барического поля также выражен ложбиной, но зона болтанки расположена в тыловой части ложбины в области сходимости изогипс. Скорость и боковые сдвиги ветра такие же, как и в предыдущем случае, и составляют 80–100 и 5–10 км/ч на 100 км. По интенсивности болтанка здесь может быть значительной.

Пятый тип барического поля выражен высотным гребнем (рис. 8.6, д). В нем также можно выделить две зоны болтанки. Одна зона расположена в передней, а другая – в тыловой части гребня. Вероятность встречи с болтанкой в тыловой части гребня выше, чем в передней части. Скорость ветра обычно незначительна и редко превышает 40–60 км/ч. Боковые сдвиги ветра в области высотного гребня, как правило, равны 10–15 км/ч на 100 км. Интенсивность болтанки в этих зонах умеренная или слабая, хотя иногда при более сильном ветре (до 100 км/ч) отмечается и сильная болтанка.

Представленные на рис. 8.6 схемы типичных синоптических ситуаций, при которых наблюдается болтанка, практически одинаковы на различных высотах как в тропосфере, так и в стратосфере.

Помимо указанных схем дополнительными признаками существования зон болтанки являются:

1. Холодные фронты 1-го и 2-го родов на приземной карте. Повторяемость болтанки на холодных фронтах наибольшая по сравнению с другими атмосферными фронтами. Болтанка на холодных фронтах не наблюдается в тех случаях, когда они слабо выражены или когда горизонтальный градиент температуры во фронтальной зоне менее 2 °С на 100 км, а горизонтальный градиент скорости ветра – менее 20 км/ч на 100 км.

2. Теплый фронт или фронт окклюзии, связанные с тропосферными или стратосферными струйными течениями и имеющими горизонтальные градиенты скорости ветра более 20 км/ч на 100 км, а горизонтальные градиенты температуры более 2 °С на 100 км.

3. Высокотропосферные или стратосферные струйные течения. Показателями болтанки, связанной со струйными течениями, являются скорость ветра более 25 м/с, вертикальный градиент скорости ветра более 10 м/с на 1 км высоты, горизонтальный градиент скорости ветра >5 м/с на 100 км и изменение направления ветра с высотой более чем на 15° на 1 км высоты.

4. Периферия циклона, ложбина, гребень. При наличии этих форм барического поля повторяемость болтанки наибольшая. Если полет самолета происходит вблизи или внутри указанных барических образований, то необходимо особенно тщательно учитывать признаки возникновения турбулентности, вызывающей болтанку ВС. Наиболее благоприятные условия для возникновения болтанки связаны с глубокими ложбинами, которые продолжают углубляться. Случаи болтанки в заполняющихся ложбинах отмечаются значительно реже. При пересечении центральной части высотных циклонов ВС с болтанкой встречается довольно редко. Намного чаще информацию о болтанке можно получить от экипажей, выполняющих полеты на периферии циклонов. Анализ показал, что на западной и юго-западной периферии циклонов случаев болтанки в среднем в 1,5 раза больше, чем на восточной и северо-восточной периферии. Велика вероятность возникновения болтанки на юго-западной периферии углубляющихся циклонов при адвекции холода и сходимости изогипс.

Сравнительно высокую повторяемость болтанки на периферии антициклона и особенно в гребне можно объяснить тем, что, согласно Парглу, в этих барических формах в непосредственной близости друг от друга могут находиться воздушные течения с различной скоростью. В результате неравномерного и турбулентного поля ветра возникают турбулентные зоны, попадая в которые самолет испытывает болтанку.

5. Наличие облачности на высоте полета. Установлено, что повторяемость болтанки самолетов при наличии облачности на эшелоне полета в несколько раз больше, чем при безоблачном небе.

6. Адвекция холода, при которой наиболее часто наблюдается болтанка ВС.

7. Значительное усиление ветра на эшелоне полета по результатам двух соседних зондирований атмосферы в интересующем районе. Установлено, что если за критерий усиления ветра принять изменение скорости ветра на 10 м/с и более за 6 ч, то болтанка наблюдается примерно в 70% случаев, а если критерием является усиление ветра на 20 м/с и более за 6 ч, то повторяемость болтанки составляет около 75%.

При слабом ветре на высоте полета (до 15 м/с) болтанка обычно встречается в зонах больших боковых сдвигов ветра на циклонической стороне струйных течений.

Опираясь на приведенные выше схемы синоптического положения и другие данные, имеющиеся в распоряжении синоптика, можно оценить возможность возникновения болтанки в заданном районе.

## **8.8. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз атмосферной турбулентности**

Совершенно очевидно, что основным и, пожалуй, единственным потребителем прогнозов атмосферной турбулентности является авиация.

*Это интересно:*

*Иногда в практике метеорологического обеспечения полетов возникает полукурьезная или полуконфликтная ситуация. Представьте себе, что синоптик во время консультации перед вылетом говорит летчику, что при полете по маршруту в слое 9–11 км будет наблюдаться сильная турбулентность. По форме и по содержанию все сказано верно. Но летчик в ответ спрашивает, что про турбулентность он все понял, а вот будет ли болтанка? Хитрый вопрос. Все дело в том, что мы, специалисты метеослужбы, прогнозируем турбулентное состояние атмосферы, а болтанка самолета – это реакция конкретного самолета на турбулентное состояние атмосферы и прогнозировать ее не наше дело. Это все так, но если вспомнить о том, что наша основная задача – помогать авиапредприятию успешно решать свои задачи, то такой ответ не годится. Да и раньше, все авторы различных методов прогноза атмосферной турбулентности прогнозировали не турбулентность, а болтанку. Только в последнее время, подстраиваясь под международные стандарты, мы стали так говорить. Поэтому все получается, по взаимному согласию и летчиков, и синоптиков, почти по В. Маяковскому: мы говорим турбулентность – подразумеваем болтанка, они говорят болтанка – мы подразумеваем турбулентность.*

Интенсивная турбулентность, на каком бы уровне она не возникала, определяется в основном вертикальными и горизонтальными градиентами ветра и температуры. Поэтому прогноз болтанки самолетов сводится, в первую очередь, к прогнозу полей этих величин и их оценке.

Существующие методы диагноза и прогноза болтанки самолетов условно можно разделить на две группы. К первой группе относятся такие методы прогноза, в основу которых положен синоптический анализ приземных карт погоды и карт барической топографии, а ко второй группе – методы, которые сводятся к вычислению различных характеристик и параметров, определяющих турбулентное состояние атмосферы.

### **8.8.1. Синоптический метод прогноза атмосферной турбулентности**

Суть синоптических методов прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, заключается в комплексном анализе приземных карт погоды и карт барической топографии разных уровней, на которых выделяются участки воздушных течений с наибольшей вероятностью болтанки.

Комплексный анализ позволяет определить характер облачности в интересующем районе, наличие фронтальных разделов и их активность. С помощью высотных карт определяются особенности барического поля, скорость ветра на высоте полета, характер адвекции и вергенции потока.

Тщательный анализ данных полетов самолетов позволил выявить особенности атмосферных полей и процессов, при которых наблюдается болтанка, а также сформулировать некоторые прогностические правила. При анализе главное внимание обращалось на характер барического поля на высоте полета, а также на наличие в районе полета атмосферных фронтов, облачных полей, струйных течений и т.д.

Как указывалось выше, однозначной зависимости болтанки от синоптического положения не существует, однако исследование характера барического поля при болтанке самолетов позволило выявить типичные области, в которых интенсивная турбулентность встречается наиболее часто. Впервые такой анализ был выполнен И.Г. Пчелко. В дальнейшем многие авторы подтвердили первые выводы, полученные И.Г. Пчелко.

Глубокие исследования в этом направлении проведены Н.З. Пинусом, Н.И. Давыдовым и рядом других авторов.

Основные синоптические признаки болтанки самолетов изложены выше. В дополнение можно только отметить, что, по данным И.Г. Пчелко основными критериями возникновения болтанки являются вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра.

Н.И. Давыдов для диагноза и прогноза болтанки самолетов рекомендует составлять карты относительной топографии (ОТ 300/500, ОТ 200/500 и ОТ 200/300) и зоны сгущения изогипс (изотерм) отождествлять с зонами болтанки. Кроме того, Н.И. Давыдовым разработан синоптический метод оценки возможности возникновения болтанки в вероятностной форме. Этот метод подробно описан в «Практикуме по авиационной метеорологии».

### **8.8.2. Физико-статистические методы прогноза атмосферной турбулентности**

Изложенный выше синоптический метод прогноза болтанки самолетов является качественным, поэтому практический интерес представляет диагноз и прогноз болтанки самолетов путем одновременного учета нескольких количественных критериев. Основу при этом должны составлять данные температурно-ветрового зондирования атмосферы, так как в распоряжении синоптика на АМСГ другой информации просто нет. Подобный учет производится путем отыскания статистических связей между количественными критериями состояния атмосферы и фактом наличия или отсутствия болтанки.

Основным при физико-статистическом методе прогноза турбулентности (и не только турбулентности) является определение пороговых значений параметров с помощью графиков, номограмм и эмпирических зависимостей. В настоящее время таких зависимостей установлено достаточно много и некоторые из них мы рассмотрим.

*Это интересно:*

Известно, что теоретически турбулентное состояние атмосферы определяется числом Ричардсона (числом  $Ri$ ), а число Ричардсона, в свою очередь, определяется по формуле

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{\gamma_a - \gamma}{\left(\frac{dU}{dz}\right)^2},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $T$  – средняя температура слоя  $dz$ ;  $\gamma_a$  – сухадиабатический вертикальный градиент температуры;  $\gamma$  – реальный вертикальный градиент температуры в слое  $dz$ ;  $dU/dz$  – вертикальный градиент вектора ветра. Теоретически турбулентность должна наблюдаться в тех слоях атмосферы, где  $Ri \leq 1$ . Те же «теоретики» говорят, что толщина слоя  $dz$  не должна превышать 500 м. А где «бедному синопти-

ку» на АМСГ взять информацию о распределении температуры и ветра в свободной атмосфере через 500 м? У него-то и радиозонда ближе, чем за 300 км нет. Если рассчитывать число Ричардсона по данным зондирования, то ошибки могут достигать ...400%! Автору этих строк в качестве критического значения числа  $Ri$  приходилось встречать в литературе значения от  $\frac{1}{4}$  до 10, т.е. разница составляла не 400, а 4000%! Вот поэтому многие критерии турбулентности (критерий В.Д. Решетова, критерий Л.Т. Матвеева, критерий Г.С. Булдовского и др.), основу которых составляет число Ричардсона, не нашли практического применения.

Рассмотрим два метода диагноза и прогноза болтанки самолетов по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы, которые нашли применение в практике обеспечения полетов: *графический метод и метод комплекса критериев*. В основу графического метода диагноза и прогноза болтанки положено предположение, что турбулентность, вызывающая болтанку самолетов, обусловлена только вертикальными градиентами скорости ветра, направления ветра и температуры воздуха.

Суть графического метода прогноза заключается в следующем. Если построить вертикальные профили скорости, направления ветра и температуры воздуха, то для каждого линейного участка профиля вертикальные градиенты соответствующих метеорологических величин будут характеризоваться наклоном рассматриваемого участка кривой распределения к горизонтальной оси. Чем меньше угол наклона между построенными кривыми и горизонтальной осью, тем больше вертикальный градиент данной метеорологической величины.

В качестве критериев при диагнозе и прогнозе болтанки используется понятие критических значений вертикальных градиентов. По результатам экспериментальных исследований за критические значения вертикальных градиентов (на 1 км высоты) приняты следующие значения: для скорости ветра – 10 м/с, для направления ветра –  $15^\circ$  и для температуры –  $7^\circ \text{C}$ .

Методика выделения зон болтанки самолетов сводится к тому, что по построенным профилям ветра и температуры воздуха для каждого линейного участка определяется угол наклона вертикального профиля к горизонтальной оси и сравнивается с критическим значением.

Для удобства расчетов можно так подобрать масштаб, что для всех трех величин критический угол наклона окажется одинаковым. С этой целью, произвольно выбрав масштаб по вертикали для высоты и одной из трех величин (например, для скорости ветра) по горизонтали, необходимо подобрать масштаб для двух других величин таким образом, чтобы отрезку, соответствующему 10 м/с на оси скорости ветра, соответствовал отрезок на оси направления ветра равный  $15^\circ$ , а на оси температуры – отрезок, равный  $7^\circ \text{C}$ .

После этого на график вертикального распределения ветра и температуры воздуха следует нанести сетку, наклон которой будет соответствовать критическим значениям вертикальных градиентов (это можно делать и в обратном порядке: на специальном бланке с уже выбранными масштабами и нанесенной сеткой построить вертикальные профили распределения ветра и температуры). Теперь прогноз болтанки самолетов сведется к сравнению наклона стандартных линий сетки и наклона исследуемого участка профиля. Это осуществляется таким же образом, как и определение устойчивости стратификации с помощью аэрологической диаграммы или при определении характера адвекции на

совмещенной карте АТ-700 и ОТ 500/1000. Однако в отличие от аэрологической диаграммы в данном случае «характер устойчивости» определяется отдельно для каждого вертикального профиля.

Наличие «неустойчивости» одного из вертикальных профилей является признаком существования турбулентности, благоприятной для возникновения болтанки. Если в каком-нибудь слое «неустойчивость» обнаруживается по вертикальным профилям двух величин, то это служит указанием на большую вероятность болтанки.

Пример графического метода прогноза болтанки приведен на рис. 8.7. В зависимости от вертикальных градиентов скорости ветра на рис. 8.7 можно выделить два слоя повышенной турбулентности: первый располагается на высотах 8,1–9,0 км, а второй – на высотах 10,7–11,4 км. В зависимости от вертикальных градиентов направления ветра слой повышенной турбулентности расположен на высотах 11,0–12,0 км. В слое 11,0–11,4 км наблюдается зона наибольшей вероятности болтанки, так как здесь одновременно выполняются два признака «неустойчивости». Судя по распределению температуры воздуха с высотой, из-за вертикальных градиентов температуры в приведенном примере болтанки не наблюдается.

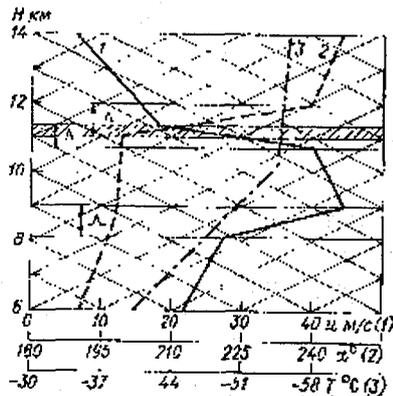


Рис. 8.7. Графический метод прогноза болтанки самолетов.

Основное достоинство графического метода – высокая оперативность. Его целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо получить картину вертикального распределения слоев повышенной турбулентности и болтанки самолетов для всех высот в определенном районе. Графический метод прогноза и прогноза болтанки самолетов по сути дела позволяет проследить за вертикальным распределением всех характеристик, которые входят в число Ричардсона. Получение непрерывной характеристики распределения зон болтанки самолетов для всех высот устраняет недостаток методов прогноза болтанки, основанных на определении числа  $Ri$ .

Однако при графическом методе прогноза болтанки самолетов совершенно не учитываются горизонтальные градиенты температуры и ветра, что вносит ошибки в результаты прогнозирования.

Для определения возможности встречи с турбулентными зонами на заданном эшелоне полета целесообразно использовать другой метод – метод комплекса критериев. Он заключается в следующем. По данным температурно-ветрового зондирования определяются шесть критериев турбулентности: скорость ветра – 25 м/с и более; вертикальный градиент скорости ветра – 10 м/с на 1 км; горизонтальный градиент скорости ветра – 5 м/с на 100 км; вертикальный сдвиг направления ветра – 15° на 1 км; вертикальный градиент температуры воздуха – 7°С на 1 км; горизонтальный градиент температуры воздуха – 2°С на 100 км. Если на высоте полета одновременно выполняются не менее трех любых критериев, то следует указывать болтанку.

Перед определением зон болтанки самолетов методом комплекса критериев необходимо разделить маршрут полета на участки длиной 300–400 км (2–3 см на картах барической топографии), приняв за узловые точки пункты, в которых производится температурно-ветровое зондирование атмосферы, т.е. те пункты, данные которых нанесены на карту. Затем по данным зондирования рассчитываются вертикальные и горизонтальные градиенты температуры и ветра для каждого участка трассы на эшелоне полета и оценивается скорость ветра на заданной высоте. В зависимости от числа параметров, значения которых превышают критические, дается прогноз болтанки самолетов на заданном участке. Горизонтальные градиенты температуры и ветра определяются по *карте* барической топографии, ближайшей к эшелону полета, а вертикальные градиенты – по *картам* барической топографии, между которыми находится эшелон.

### ***8.8.3. Нестандартные методы прогноза атмосферной турбулентности***

К нестандартным методам прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, нами отнесены те методы, которые не получили широкого распространения на практике, однако сами по себе, по подходу к решению задачи, представляют определенный интерес. К таким методам можно отнести следующие.

Прогноз термической турбулентности по аэрологической диаграмме. Термическая турбулентность по аэрологической диаграмме прогнозируется очень просто. На интересующем нас уровне (эшелоне полета) определяется величина  $\Delta T$ , равная разности температур на влажной адиабате и кривой стратификации. Если  $\Delta T$  меньше нуля, то термическая болтанка не прогнозируется, если  $\Delta T$  колеблется в интервале от 0 до 3°, то в прогнозах указывается слабая болтанка, если  $\Delta T = 3\text{--}6^\circ$ , то указывается умеренная болтанка, а если  $\Delta T$  больше 6° – сильная болтанка. Авторы метода предлагают использовать его только до уровня 400 гПа (примерно 7,2 км). Это достаточно интересное ограничение. С одной стороны, на таких высотах, действительно, величина  $\Delta T$  сравнительно редко бывает больше 3°, а с другой стороны, самолеты гражданской авиации обычно выполняют полеты на высотах 9000–11 000 м, т.е. на уровне 300–200 гПа. Поэтому введенное авторами ограничение высоты применения метода делает его практически бесполезным, хотя сам по себе подход к решению задачи прогноза термической турбулентности очень разумный, очень простой и доступный для использования на любой АМСГ.

Прогноз турбулентности в горных районах. На одном из аэродромов на Дальнем Востоке, со всех сторон окруженного невысокими горами (об этом методе автору рассказала синоптик АМСГ Л.А. Пономарева), для прогноза болтанки самолетов используют результаты наблюдений за скоростью ветра на ВПП. Если на ВПП скорость ветра колеблется в пределах от 5 до 8 м/с, то в прогнозах всегда указывается умеренная турбулентность, а если скорость ветра больше 12 м/с, то сильная турбулентность. Все просто, быстро, понятно и практически всегда оправдывается.

И еще один метод прогноза болтанки в приземном слое. Для прогноза болтанки можно использовать график, предложенный на рис. 8.8, а. Здесь по горизонтальной оси откладывается максимальная скорость ветра у земли, на возвышенности в районе аэродрома, а по вертикальной оси – разность (по абсолютной величине) скоростей ветра на возвышенности и на ВПП. На рисунке выделены зоны слабой ( $\delta^{0-1}$ ) и умеренной или сильной турбулентности ( $\delta^{2-3}$ ).

Турбулентность в нижнем слое атмосферы можно определить и по графику на рис. 8.8, б. На этом графике по горизонтальной оси отложена максимальная скорость ветра на ВПП ( $U_{\text{макс. ВПП}}$ , м/с), а по вертикальной – горизонтальный градиент температуры на уровне 850 гПа ( $\Gamma_{850}$ , °C/100 км). Пользование обоими графиками пояснений не требует.

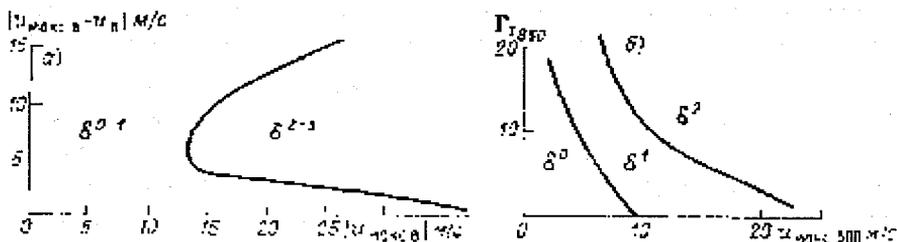


Рис. 8.8. Графики для прогноза болтанки в приземном слое:  
 а – по приземным данным; б – по данным о ветре на ВПП  
 и горизонтальном градиенте температуры на уровне 850 гПа.

Перечисленные выше методы прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, не претендуют на исчерпывающую полноту информации о данной проблеме. Однако выше рассмотрены те методы прогноза атмосферной турбулентности, которые в той или иной мере нашли практическое применение. Увы, сейчас мало кто из синоптиков на АМСГ для прогноза болтанки самолетов будет заниматься расчетами вертикальных градиентов температуры и ветра, хотя такие расчеты помогли бы сделать прогноз более успешным. Сейчас чаще всего используется или синоптический метод прогноза, или методы прогноза, основанные на результатах наземных наблюдений на аэродроме. Только тогда, когда все наши АМСГ будут в полной мере оборудованы и оснащены компьютерной техникой, а персонал АМСГ будет уметь этой техникой уверенно пользоваться, можно ждать «большого скачка» в практике метеорологического обеспечения гражданской авиации.

## Глава 9

# ВЛИЯНИЕ ОБЛАЧНОСТИ И ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ НА ПОЛЕТЫ

### 9.1. Облачность и видимость как основные факторы, определяющие сложность метеоусловий полетов

Уровень развития современной авиации позволяет в настоящее время выполнять полеты в облаках, за облаками, под облаками, в туманах и т.д. Иными словами, наша авиация стала сейчас *всепогодной*. Однако иногда часами приходится сидеть в аэропорту и ждать, когда прилетит или улетит этот «всепогодный» самолет. Совершенно очевидно, это даже не требует пояснений, что при хорошей (простой) погоде летать просто, а при плохой (сложной) погоде полеты значительно осложняются. Иногда при очень плохой погоде полеты выполнять становится невозможно.

*Это интересно:*

И все-таки наша авиация действительно всепогодная. Погода, естественно, накладывает какие-то ограничения на выполнение полетов, но делается это только в интересах безопасности пассажиров и экипажа. Не существует письменного распоряжения о запрете полетов в связи с плохой погодой, но все военные летчики знают, что при необходимости вылета для действий по реальной цели самолет взлетит при любой погоде, экипаж выполнит боевую задачу и при невозможности по погодным условиям произвести посадку на аэродроме – отойдет в сторону от населенных пунктов и катапультируется.

Сложность пилотирования самолета в облаках или при плохой видимости заключается в том, что, во-первых, отсутствует визуальная ориентировка и ухудшаются условия видимости из кабины самолета. Во-вторых, пилотирование можно выполнять только по приборам. В-третьих, при полете в облаках или зоне плохой видимости чаще, чем при полете вне облаков, возникает или сильная турбулентность, или обледенение воздушных судов, или другие опасные явления погоды, а также возможны миражи и цветные дымки, которые очень затрудняют полет.

*Это интересно:*

Названные выше трудности пилотирования самолета в облаках сомнений не вызывают. Здесь, как говорится, все понятно. Если вам приходилось лететь в облаках, то вы могли заметить, что в таких условиях конец крыла вашего самолета не всегда виден, а для Ту-154 это всего около 30 м. А теперь представьте себе, что вы идете (бежите) по своей квартире, где вам все знакомо, из одной комнаты в другую, но в одном случае в квартире светло, а в другом – темно. Уверяю вас, что со светом вы «до цели» доберетесь значительно быстрее. У летчика нет возможности, как у вас в квартире, маневрировать скоростью, но пилот чувствует себя значительно увереннее, если у него более хороший обзор, более хорошая видимость.

Миражи при полете в облаках возникают по следующей причине. Многим из вас, уважаемые читатели, приходилось, очевидно, видеть, как зимой в городах у столбов уличного освещения возникают так называемые «световые столбы». Это связано с наличием в воздухе ледяных кристаллов, особыми условиями ветра и температуры и т.д. Чем севернее находится город, тем чаще зимой можно видеть эти «световые столбы». Аналогичная картина наблюдается и на аэродроме при посадке самолета в темное время суток. Для обеспечения безопасности и подсветки ВПП на аэродроме включают прожекторы. При определенных погодных условиях от включенного прожектора возникает мираж

—«световой столб», а у летчика возникает ощущение, что перед ним «встала полоса». Психологически от этого не избавиться, и посадка в таких условиях часто бывает просто невозможной.

Несколько по другой причине возникают цветные дымки. Мы с вами уже говорили о том, что при полете в любых условиях на самолете всегда включены габаритные огни (зеленый на конце правой плоскости и красный — на конце левой), проблесковые маячки красного цвета, а при заходе на посадку — еще и фары. Как видите, огней много, и при полете в облаках, которые имеют переменную плотность и рассеивают весь этот свет, создается цветная дымка переменной плотности. Эта дымка очень мешает экипажу наблюдать за наземными ориентирами, но от нее (дымки) никуда «не денешься». Летчики просили разрешить им при заходе на посадку выключать все аэронавигационные огни для того, чтобы улучшить условия обзора из кабины самолета. Ведь если вы вечером в своей квартире слышали за окном какой-то шум, который вас заинтересовал, подошли к окну и ничего не увидели, то вы обязательно погасите в комнате свет, снова подойдете к окну и теперь сможете удовлетворить свое любопытство. Но самолет не квартира, и поэтому летному составу не разрешили выключать при посадке навигационные огни, так как это снижает безопасность полетов.

Иногда в рабочих журналах дежурного синоптика на АМСГ можно встретить такую запись:

$$8 \frac{6000}{4000} 10.$$

Эта запись есть не что иное, как информация о погоде, которую экипаж передавал с воздуха. Первая цифра (8) соответствует количеству облаков, последняя (10) — видимости, числитель дроби указывает на высоту верхней границы облачности, а знаменатель — на высоту нижней границы. Если расшифровать приведенную выше запись, то получится: облачность 8 октантов, высота верхней границы 6000 м, нижней границы — 4000 м, видимость 10 км. Такая погода является простой для любого типа самолетов гражданской авиации.

Давайте теперь в знаменателе этой записи уберем один ноль. Тогда получим:

$$8 \frac{6000}{400} 10.$$

Погода стала значительно сложнее, так как толщина облаков увеличилась с 2000 до 5600 м, а высота нижней границы облаков понизилась с 4000 до 400 м. Однако в соответствии с существующими правилами и такая погода является для гражданской авиации простой. Если вы помните (это было в первом разделе учебника), то к полетам в сложных метеорологических условиях относятся такие полеты, которые производятся при высоте нижней границы облаков 200 м и ниже и (или) при видимости 2000 м и меньше. Остальные полеты относятся к полетам в простых метеоусловиях. Так что и при высоте нижней границы облаков, равной 400 м, погода для выполнения полетов простая, и практически все экипажи имеют право летать при такой погоде.

Ну а теперь давайте уберем в знаменателе еще один ноль:

$$8 \frac{6000}{40} 10.$$

Вот теперь погода стала действительно сложной, и далеко не каждый летчик, да и не на каждом аэродроме, может произвести взлет и, особенно, посадку при такой погоде.

Последний ноль в знаменателе, пожалуй, убрать смысла нет.

Для обеспечения безопасности полетов в авиации устанавливаются *минимумы погоды*, которым будет посвящен следующий параграф этой главы.

## 9.2. Минимумы погоды

*Минимум погоды* – общий термин, обозначающий предельные погодные условия, при которых разрешается выполнять полеты подготовленному командиру воздушного судна, эксплуатировать воздушное судно и использовать аэродром для взлета и посадки. Минимум погоды определяется только двумя величинами – высотой нижней границы облаков (высотой принятия решения) и видимостью (видимостью на ВПП). Разница между высотой нижней границы облаков и высотой принятия решения, а также между видимостью и видимостью на ВПП вам, уважаемый читатель, станет понятна чуть позже.

Для обеспечения безопасности и регулярности полетов устанавливаются следующие минимумы погоды: минимум аэродрома, воздушного судна, командира воздушного судна и вида авиационных работ (рис. 9.1).

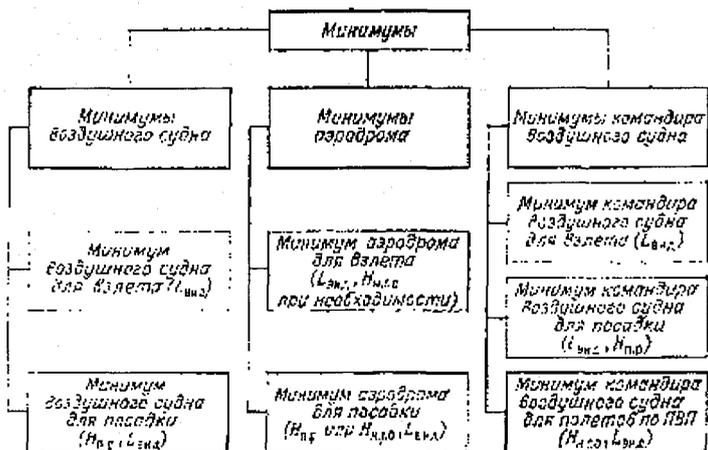


Рис. 9.1. Схема видов минимумов погоды для авиации.

*Минимумы аэродрома* зависят от географического положения аэродрома и его оборудования системами посадки.

*Минимум аэродрома для взлета* – это минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и при необходимости – высоты нижней границы облаков (ВНГО), при которых разрешается выполнять взлет на воздушном судне данного типа. Видимость на ВПП (дальность видимости на ВПП) – максимальное расстояние, в пределах которого пилот ВС, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку ее покрытия или огни, ограничивающие ВПП или обозначающие ее осевую линию.

*Минимум аэродрома для посадки* – минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и высоты принятия решения (ВНГО), при кото-

рых разрешается выполнять посадку на воздушном судне данного типа. Высота принятия решения (ВПр) – установленная относительная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случае, если до достижения этой высоты командиром воздушного судна не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку, а также если положение воздушного судна в пространстве или параметры его движения не обеспечивают безопасной посадки. ВПр отсчитывается от уровня порога ВПП. Порог ВПП – это начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушного судна. Высоту принятия решения часто отождествляют с высотой нижней границы облаков. Это вполне естественно, так как только после выхода из облачности летчик может установить визуальный контакт с ориентирами.

*Это не очень интересно, но важно:*

Приведенные выше определения двух минимумов погоды, а вам их придется прочитать еще несколько, на первый взгляд могут показаться несколько косноязычными. Но, с одной стороны, это не совсем так – в них нужно только вчитаться, а с другой стороны, эти определения дословно взяты из Наставления по производству полетов, и изменять эти формулировки мы не имеем права.

*Минимум аэродрома тренировочный для взлета* – минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и при необходимости – высоты нижней границы облаков, при которых разрешается выполнять взлет при тренировочных полетах на воздушном судне данного типа.

*Минимум аэродрома тренировочный для посадки* – минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и ВПр (ВНГО), при которых разрешается выполнять посадку на тренировочных полетах на воздушном судне данного типа.

*Это интересно:*

Минимум погоды обычно записывается следующим образом: например, 100 × 1000. Это значит, что безопасный взлет или посадку самолет может произвести при высоте облаков не менее 100 м и видимости не менее 1000 м.

Вы могли обратить внимание на то, что в минимумах для посадки самолетов всегда фигурирует две величины, а в минимумах для взлета высота нижней границы облаков указывается «при необходимости». Это действительно так. Ведь летчику при взлете нужно только выдержать направление разбега самолета, следовательно, нужно видеть только участок ВПП. Вот поэтому для взлета всегда есть ограничение по видимости. Ограничение по высоте облаков при взлете бывает только тогда, когда после взлета самолет может оказаться рядом с горными вершинами или высокими искусственными препятствиями. Ну а при посадке, естественно, необходимо учитывать обе величины.

И еще одно важное обстоятельство. Как и при определении, в каких метеорологических условиях выполняется полет (простых или сложных), так и для определения минимума погоды достаточно одного элемента: или высоты нижней границы облаков, или видимости. Второй элемент при этом получается «автоматически» (см. рис. 4.2).

*Минимумы воздушного судна* обусловлены наличием и качеством специальной навигационной аппаратуры, имеющейся на борту ВС.

*Минимум воздушного судна для взлета* – минимально допустимые значения видимости на ВПП, позволяющие безопасно производить взлет на воздушном судне данного типа.

*Минимум воздушного судна для посадки* – минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВПР, позволяющие безопасно производить посадку на воздушном судне данного типа.

*Минимумы командира воздушного судна* обусловлены и определяются личной подготовкой летчика.

*Минимум командира воздушного судна для взлета* – минимально допустимое значение видимости на ВПП, при котором командиру разрешается выполнять взлет на воздушном судне данного типа.

*Минимум командира воздушного судна для посадки* – минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВПР (ВНГО), при которых командиру разрешается выполнять посадку на воздушном судне данного типа.

*Минимум командира воздушного судна для полета по правилам визуального полета и особым правилам визуального полета* – минимально допустимые значения видимости и высоты нижней границы облаков, при которых командиру разрешается выполнять визуальные полеты на воздушном судне данного типа.

При полете по правилам визуального полета (ПВП) полет, естественно, осуществляется визуально. Погодные условия, при которых возможно выполнение полетов по ПВП и по особым правилам визуальных полетов регламентированы (определены) Наставлением по производству полетов гражданской авиации России (НПП ГА). Этим же документом определено, полет в каких условиях может быть отнесен к полету по особым правилам визуальных полетов.

*Минимум вида авиационных работ* – минимально допустимые значения видимости и высоты нижней границы облаков, при которых разрешается выполнение авиационных работ с применением правил полетов (визуальных или по приборам), установленных для данного вида работ.

С целью обеспечения безопасности и эффективности полетов в сложных метеорологических условиях устанавливаются так называемые *категорированные минимумы, или минимумы ICAO*. Эти минимумы делятся на три категории:

– *первая категория* – высота нижней границы облаков 60 м, видимость на ВПП – 800 м;

– *вторая категория* – высота нижней границы облаков менее 60 м, но не менее 30 м, видимость на ВПП – менее 800 м, но не менее 400 м;

– *третья категория* – высота нижней границы облаков менее 30 м, а видимость на ВПП – менее 400 м. Минимумы третьей категории предусматривают три разновидности разной степени сложности. Минимум категории *Ш-А* предусматривает видимость на ВПП не менее 200 м, категории *Ш-В* – не менее 50 м, а категории *Ш-С* видимость на ВПП может быть равна 0 (нулю) м.

*Это интересно:*

В России, как и во всем мире, есть много аэродромов, на которых обеспечена посадка самолетов при минимуме по первой категории ICAO. В России около двух десятков аэродромов, способных принимать самолеты по второй категории, а вот по категории *Ш-А* могут в настоящее время принимать самолеты только три аэропорта в мире: Лондон, Нью-Йорк и Москва (Шереметьево). Аэродромов, которые могли бы принимать самолеты по категориям *Ш-В* и *Ш-С*, в мире пока нет.

И еще интересная информация о минимумах погоды. Как вам уже известно, заключительный этап посадки летчик выполняет визуально. Только после выхода из облачно-

сти пилот увидит наземные ориентиры и начало ВПП, на которую собирается произвести посадку. Так как при заходе на посадку командир экипажа строго выдерживает глиссаду снижения, то самолет в зависимости от высоты облаков будет выходить из облачности на разном расстоянии от начала ВПП, и чем выше нижняя граница облаков, тем на большем расстоянии от ВПП самолет выйдет из облачности.

После выхода под облака при заходе на посадку летчику необходимо сориентироваться, увидеть ВПП, повернуть самолет на посадочный курс (при необходимости), уменьшить скорость полета, продолжить снижение и приземлиться в начале ВПП. На все эти действия нужно время (примерно одинаковое для всех типов самолетов). Однако разные посадочные скорости обуславливают различное расстояние, которое пролетают скоростные и нескоростные самолеты за одно и то же время по глиссаде снижения, а следовательно, и различную высоту, с которой летчик должен увидеть ВПП. Это, в свою очередь, обуславливает различные минимумы погоды для разных типов самолетов.

Для аэродромов, воздушных судов, командиров воздушных судов и видов авиационных работ могут устанавливаться ограничения (не минимумы!) по скорости ветра.

В каждом конкретном случае, будь то взлет или посадка, всегда учитываются три минимума погоды: *минимум аэродрома, минимум воздушного судна и минимум командира воздушного судна*, и из этих трех минимумов выбирается *наибольший*. Например, если минимум аэродрома  $100 \times 1000$ , минимум воздушного судна  $50 \times 500$ , а минимум командира ВС  $80 \times 1500$ , то *этот* летчик на *этом* самолете может сесть на *этот* аэродром при погоде не хуже чем  $100 \times 1500$ .

Как видно, в минимумах постоянно предусматриваются значения высоты нижней границы облаков и видимости, требуемые для безопасного выполнения того или иного полета.

### **9.3. Дальность видимости и ее зависимость от различных факторов**

Учение о видимости – это очень сложное научное направление, основной задачей которого является исследование закономерностей зрительного восприятия разнообразных естественных и искусственных объектов ландшафта и сигнальных огней в различных атмосферных условиях.

Остановимся подробнее на содержании понятия «видимость» как на одном из важнейших для авиации метеорологических понятий.

*Видимость* – это зрительное восприятие объектов, обусловленное существованием яркостных и цветовых различий между предметами и фоном. Видимость характеризуется дальностью видимости (как далеко видно) и степенью видимости (как хорошо видно). При метеорологическом обеспечении авиации интересуются только дальностью видимости, которую обычно называют видимостью. В дальнейшем мы также будем пользоваться этим термином.

Под *видимостью* понимается максимальное расстояние, с которого видны и опознаются неосвещенные объекты днем и световые ориентиры ночью. Теоретическое максимальное значение видимости равно 350 км, реальная же видимость очень редко достигает 200 км. Минимальная видимость в некоторых метеорологических явлениях не превышает нескольких метров, однако именно эта ограниченная видимость особенно интересует авиацию.

В соответствии с требованиями НМО ГА в гражданской авиации используются две характеристики видимости у поверхности земли: собственно *види-*

мость, о которой говорилось выше, и *видимость на ВПП*, под которой понимается расстояние, на котором пилот воздушного судна, находящегося на осевой линии ВПП, из кабины видит маркировку взлетно-посадочной полосы или огни, обозначающие ее контуры и осевую линию.

Видимость зависит от размеров и формы предметов, освещенности, цвета и яркости фона и предмета, а также прозрачности атмосферы. Эти факторы обычно проявляются в совокупности, обуславливая сложный характер видимости в реальных условиях.

Угловые размеры предмета должны быть больше остроты зрения наблюдателя. Нормальная острота зрения человека – 1 угловая минута, т.е. если размер объекта меньше 1/150 расстояния до него, то человеческий глаз не способен его воспринимать. Однако в отдельных случаях острота человеческого зрения бывает значительно больше. Например, провода, проектирующиеся на фон неба, видны на расстоянии, превышающем 150 их диаметров. Ни физики, ни медики не знают, почему так происходит.

Форма предмета также влияет на видимость. Объекты с резко очерченными гранями (здания, мачты, трубы и т.д.) видны лучше, чем объекты с расплывчатой границей (лес).

Видимость зависит также и от освещенности. В экстремальных условиях освещенности (предметы в темную безлунную ночь или мяч на фоне солнца и т.д.) объекты становятся неразличимыми. В светлое время суток в зависимости от различных условий объекты наблюдения доступны наблюдателю.

*Это интересно:*

Как указывалось выше, видимость зависит не только от яркости фона и объекта, но и от их цвета. Во все времена на войне применялись так называемые маскировочные халаты и камуфляжная форма. А вот вы никогда не встретите горнолыжника в белом спортивном костюме. Костюм всегда яркий, всегда цветной. Это делается не только для красоты, но и для того, чтобы в случае, если горнолыжник сойдет с трассы, а проще говоря, завалится в сугроб, то по торчащему фрагменту его тела в ярком костюме такого неудачника можно проще обнаружить.

В какой-то мере видимость зависит и от наблюдателя, поэтому в соответствии с НМО ГА зрение у наблюдателя с коррекцией должно быть равно 1,0 на оба глаза, и наблюдатель один раз в год должен проверять свое зрение у окулиста.

Следовательно, для видимости объекта необходимо, чтобы освещенность его и фона была не меньше определенной величины, и чтобы между фоном и объектом был яркостный контраст.

Если обозначить яркостный контраст через  $K$ , а яркость фона и объекта соответственно через  $B_{\phi}$  и  $B_{об}$ , то для определения яркостного контраста получим выражение

$$K = \frac{B_{\phi} - B_{об}}{B_{\phi}}. \quad (9.1)$$

Очевидно, что яркостный контраст может изменяться от нуля до единицы. Минимальный яркостный контраст, который различает человеческий глаз, называется *порогом контрастной чувствительности* и обозначается  $\epsilon$ . Для днев-

ных условий  $\varepsilon = 0,02$ , а для ночных  $\varepsilon = 0,6-0,7$ . В целях обеспечения безопасности полетов при определении видимости в интересах авиации ИКАО установила для дневных условий  $\varepsilon = 0,05$ .

Видимость источников света (электрических ламп накаливания) в темное время суток представляет самостоятельную и сложную проблему теории видимости. Согласно М.Я. Рацимору, видимость точечного источника света (лампа мощностью 60 Вт) можно перевести в метеорологическую дальность видимости. Эти данные представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

**ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ВИДИМОСТИ СВЕТОВЫХ ОРИЕНТИРОВ  
(ЛАМПА МОЩНОСТЬЮ 60 ВТ) В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКУЮ ДАЛЬНОСТЬ  
ВИДИМОСТИ (КМ) В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК**

Время суток	Расстояние до источника света, км									
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0
Ночь	1,5	2,1	2,8	3,6	4,6	5,7	7,0	10,0	14,0	20,0
Сумерки	3,6	6,0	10,0	19,0	>20,0	-	-	-	-	-

Выражение для яркостного контраста, приведенное выше, справедливо для оптически прозрачной атмосферы. В реальных условиях яркостный контраст меньше, чем определенный по формуле (9.1). Действительно, между наблюдателем и объектом есть какое-то расстояние, а следовательно, и слой атмосферы, который имеет собственную яркость. Эта яркость будет зависеть от рассеянного и поглощенного слоев атмосферы света. Если яркость атмосферной дымки этого слоя обозначить через  $\beta$ , то яркость фона будет восприниматься наблюдателем как  $(B_{\phi} + \beta)$ , а яркость объекта – как  $(B_{об} + \beta)$ . Тогда реальный яркостный контраст  $K_1$  будет равен

$$K_1 = \frac{(B_{\phi} + \beta) - (B_{об} + \beta)}{B_{\phi} + \beta} = \frac{B_{\phi} - B_{об}}{B_{\phi} + \beta}. \quad (9.2)$$

Легко убедиться, что  $K_1 < K$ , поэтому все метеорологические процессы и явления, которые способствуют увеличению яркости слоя атмосферы, уменьшают видимость. К таким явлениям относятся осадки, туманы, метели, пыльные бури и т.д. Условия полетов в различных явлениях, ухудшающих видимость, будут рассмотрены ниже.

*Это интересно:*

Иногда на экзамене или зачете студенту можно задать такой вопрос: если наблюдаются осадки интенсивностью 1 мм/ч, но в одном случае это морось, в другом – обложной дождь, а в третьем – ливневый дождь, то скажите, пожалуйста, в каком случае будет самая плохая видимость? К сожалению, не всегда слышишь правильный ответ, что самая плохая видимость будет при мороси. А все дело вот в чем. По законам физики каждая частица, до которой дошел свет, рассеивает его во все стороны, т.е. создает яркость атмосферы. Чем больше в воздухе будет наблюдаться таких частиц, тем больше будет яркость слоя атмосферной дымки, а следовательно, меньше видимость. Так как по условию вопроса интенсивность осадков задана одинаковая (1 мм/ч), а наиболее мелкие капли из перечисленных видов осадков у мороси, то и наихудшая видимость также будет наблюдаться при мороси.

#### 9.4. Метеорологическая и полетная видимость

При метеорологическом обеспечении авиации летный состав интересуется не только метеорологическая видимость, но, прежде всего, *полетная видимость*.

Видимость в полете – это предельное расстояние, на котором с борта самолета виден реальный объект на окружающем его фоне. Полетная видимость зависит в основном от двух факторов: состояния внешней среды и условий обзора. Если допустить, что последний фактор достаточно постоянен, то главной причиной, от которой зависит видимость в полете, является состояние атмосферы.

Объекты на земле и в воздухе пилот видит из кабины самолета через остекление под разными углами. В зависимости от этого различают несколько характеристик видимости (рис. 9.2): видимость вертикальная вниз  $S_{в, \text{низ}}$ , видимость вертикальная вверх  $S_{в, \text{верх}}$ , горизонтальная видимость на высоте полета  $S_{г}$ , наклонная видимость  $S_{накл}$  и видимость на ВПП, или посадочная видимость  $S_{пос}$ .

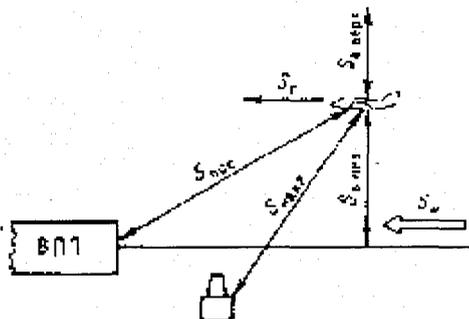


Рис. 9.2. Характеристики видимости, используемые при метеорологическом обеспечении полетов.

*Вертикальная видимость* – это то максимальное расстояние в вертикальном направлении, с которого видны и опознаются неосвещенные объекты днем и освещенные – ночью. Вертикальная видимость вниз часто отождествляется с высотой нижней границы облаков, вернее, с тем уровнем, с которого «земля просматривается». Вертикальная видимость вверх приравнивается к расстоянию, на котором пилот из кабины самолета видит различные объекты, расположенные над ним (облака, воздушные суда, находящиеся на более высоких эшелонах полета и т.д.).

*Горизонтальная видимость* характеризует условия обнаружения различных объектов на высоте полета. Эта видимость, как и вертикальная, оценивается летчиком визуально.

*Наклонная видимость* равна расстоянию, на котором видны из кабины летящего самолета различные объекты на земле. Эта видимость, как и все предыдущие, может быть определена визуально или по скорости полета и времени подлета до выбранного ориентира. Наклонную видимость чаще определяют визуально.

Особое место среди всех характеристик видимости занимает *посадочная видимость*, под которой понимается предельно большое расстояние вдоль

глиссады снижения, на котором при ухудшенной видимости пилот из кабины приземляющегося самолета может на пороговом восприятии обнаружить или опознать начало ВПП или связанную с ней систему начальных сигнальных огней.

Системы сигнальных посадочных огней – огни высокой и малой интенсивности (ОВИ, ОМИ) – в значительной мере способствуют улучшению условий видимости при заходе на посадку. Еще не видя ВПП, но различив ОВИ (ОМИ), летчик уверенно «привязывается» к наземным ориентирам. Поэтому сигнальные посадочные огни он может обнаружить под углом, превышающим угол глиссады. Вопросы видимости ОВИ (ОМИ) и видимости на ВПП подробно разработаны М.Я. Рациморовом. Об этом мы говорили в первом разделе учебника.

Посадочная видимость может быть определена следующим образом. По сообщению пилота: «Полосу вижу» – диспетчер посадки на экране посадочного локатора определяет удаление самолета от начала ВПП. Это расстояние можно отождествить с посадочной видимостью. Правда, строго говоря, полученное таким образом значение  $S_{\text{пос}}$  справедливо только для самолетов одного типа.

Все рассмотренные выше характеристики видимости не определяются на АМСГ. Метеонаблюдатель фиксирует только значение метеорологической дальности видимости  $S_M$ , которая, в принципе, летчику не нужна. В практике обеспечения полетов часто приходится сталкиваться с тем, что посадочная и метеорологическая видимость значительно отличаются друг от друга. На рис. 9.3 приведены примеры различных ситуаций, когда  $S_{\text{пос}} < S_M$  и  $S_{\text{пос}} > S_M$ .

Действительно, пилот из кабины самолета увидит ВПП только после выхода из облаков (см. рис. 9.3, а). Поэтому при низких облаках посадочная видимость всегда будет ограничена при любой видимости у земли.

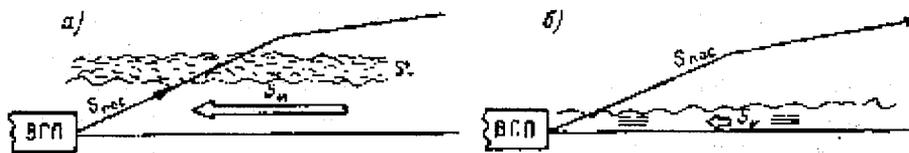


Рис. 9.3. Метеорологические ситуации, приводящие к различию между посадочной и метеорологической видимостью:

а –  $S_{\text{пос}} < S_M$ ; б –  $S_{\text{пос}} > S_M$ .

Обратная картина наблюдается при наличии на аэродроме поземного или низкого тумана. Метеонаблюдатель в данной ситуации (см. рис. 9.3, б) укажет видимость менее 1000 м, а пилот из кабины самолета будет хорошо видеть все наземные ориентиры.

*Это интересно:*

Как известно, наблюдения за видимостью проводятся на АМСГ в горизонтальном направлении на высоте глаз наблюдателя (примерно 1,5 м). Поэтому (рис. 9.3, а) если на аэродроме видимость 10 км, то при высоте облаков 100 м посадочная видимость будет равна 1 км. В этом случае летчик будет утверждать, что видимость 1 км, а наблюдатель АМСГ, что видимость 10 км. Кто прав? Правы оба, но оба говорят «на разных языках». Вот поэтому летный состав нужно обучать авиационной метеорологии. Если же на аэродроме поземный (высотой до 2 м) или низкий (высотой до 10 м) туман, то на АМСГ обязательно укажут видимость менее 1000 м. Но высота даже одноэтажного дома (с чердаком и крышей) около 6 м, поэтому при таком тумане летчик с воздуха будет пре-

красно видеть все наземные ориентиры и ВПП. Опять у летчика и наблюдателя получится разговор на разных языках.

Приведенные примеры позволяют сделать вывод о том, что связь между посадочной и метеорологической дальностью видимости достаточно сложна. Посадочная видимость зависит от высоты и структуры подоблачной дымки, прозрачности атмосферы на конечном участке глиссады снижения, а также от свето- и фотометрических характеристик ВПП.

Принято считать, что при высоте нижней границы облаков 300 м и ниже посадочная видимость меньше метеорологической, а при более высокой облачности  $S_{\text{пос}}$  и  $S_{\text{м}}$  практически совпадают.

*Это интересно:*

Говоря о светотехнических и фотометрических характеристиках ВПП и окружающего грунта, нельзя не рассказать о двух интересных случаях. Во-первых, очень красивое и необычное зрелище можно увидеть утром на аэродроме при поземном тумане. Колес самолетов не видно, а весь самолет как бы «плавает» в каком-то молоке. Ведь кабина Ту-154 находится на высоте 5 м от земли. Правда, для того чтобы это увидеть, нужно рано встать. Во-вторых, при хорошей видимости и отсутствии облаков летчик иногда ничего не видит. В этом «виновато» низко расположенное солнце, если оно как раз по курсу летящего самолета. Аспирант автора этих строк (а теперь уже кандидат наук) Г. В. Заболотников решил эту триединую задачу: определил горизонтальные и вертикальные углы положения солнца, при которых происходит эффект ослепления, разработал алгоритм и программу, которая позволяет на любой день года в зависимости от широты и долготы места и направления движения определить возможность и время возникновения ослепления и, наконец, проанализировал климатические возможности возникновения эффекта ослепления по территории России.

Экспериментально установлено, что посадочная видимость зависит от скорости полета самолета, и чем больше эта скорость, тем меньше посадочная видимость. Физически это можно объяснить аккомодацией (инерцией) зрения пилота. Дело в том, что в полете при заходе на посадку пилот не «привязывается» к какому-либо конкретному ориентиру. У него как бы «скользящий взгляд», поэтому большая скорость полета дополнительно уменьшает видимость.

Для определения посадочной видимости по информации о метеорологической с учетом скорости планирования самолета О.Г. Богаткиным предложена формула

$$S_{\text{пос}} = S_{\text{м}} (K - M_{\text{пл}}), \quad (9.3)$$

где  $K$  – коэффициент состояния ВПП, фона и наличия осадков (определяется из таблицы);  $M_{\text{пл}}$  – число Маха при планировании самолета.

Значение коэффициента  $K$  для разных условий изменяются от 0,85 до 0,55 (табл. 9.2).

Таблица 9.2

**ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  $K$  ПРИ РАЗЛИЧНОМ СОСТОЯНИИ ВПП И ФОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАЛИЧИЯ ОСАДКОВ**

Состояние ВПП и фон	$K$
Сухая ВПП, фон – трава, осадков нет	0,85
Мокрая ВПП, фон – трава, осадки	0,75
На ВПП пятна снега, фон – снег, осадков нет	0,65
На ВПП пятна снега, фон – снег, осадки	0,55

Из формулы (9.3) видно, что при «плохих» погодных условиях и сравнительно большом числе  $M_{пл}$  посадочная видимость может составить всего 30% видимости метеорологической. По этой же формуле легко построить график зависимости  $S_{пос}$  от  $S_m$  и пользоваться им в оперативной практике. Естественно, что для самолетов с различными скоростями планирования полученные графики будут разными. Этот метод определения посадочной видимости дает хорошие результаты при достаточно однородном помутнении атмосферы до значительной высоты.

*Это интересно:*

Здесь хотелось бы остановиться на двух моментах. Во-первых, обратите внимание, что на скоростных автомагистралях на рекламных щитах и дорожных указателях сравнительно мало информации. Это связано с инерцией зрения водителя. Он попросту не успевает прочесть и как-то среагировать на «длинный текст». Не рекомендую вам, уважаемый читатель, при езде на велосипеде или за рулем своей машины стараться прочесть длинную вывеску, особенно, если она написана не очень крупно – первый столб будет вашим.

Во-вторых, еще несколько слов о посадочной видимости. Дело в том, что наша метеорологическая служба не отвечает за посадочную видимость и, естественно, ее не прогнозирует. Так вроде бы зачем нам лишняя «головная боль»? Все так, но если вспомнить о том, что мы – служба, которая обеспечивает авиацию и должна ей помогать успешно выполнять свои задачи, то становится очевидным, что это наша работа.

В заключение хочется еще раз отметить, что специалисты-метеорологи измеряют и прогнозируют только метеорологическую дальность видимости. Установление связи между метеорологической видимостью и другими значениями видимости возможно и необходимо, так как это позволяет летному и диспетчерскому составу лучше оценивать погодные условия при взлете и посадке воздушных судов и при полете на малых и предельно малых высотах.

## **9.5. Метеорологические условия полетов в облаках различных форм**

### **9.5.1. Условия полетов в волнистообразных облаках**

Одним из характерных свойств атмосферы является наличие в ней волновой деятельности. Волны в атмосфере возникают на границах раздела атмосферного воздуха с разными физическими свойствами (например, в зонах температурных инверсий, на атмосферных фронтах и т.п.); вследствие обтекания воздухом орографических препятствий; из-за нестационарности движения воздуха и ряда других причин. В зависимости от контраста физических характеристик на поверхности раздела воздушных масс, высоты и характера орографических препятствий, разных скоростей воздушных потоков и т.п. волны в атмосфере могут иметь разную упорядоченность и неодинаковый характер.

В зонах волновой деятельности (на различных участках волн) образуются восходящие и нисходящие движения воздуха. В области восходящих движений при достаточной влажности воздуха и соответствующей температуре формируется облачность.

Поскольку волновая деятельность имеет разную активность, образующимся облакам присущи различные формы. При этом следует отметить то обстоятельство,

ство, что ввиду многочисленных причин волновой деятельности волновые движения очень распространены в атмосфере, поэтому и волнистообразные облака наблюдаются весьма часто. Встреча с ними в полете – обычное явление. К волнистообразным облакам относятся: в нижнем ярусе – слоистые и слоисто-кучевые облака, в среднем ярусе – высоко-кучевые и в верхнем ярусе – перистые и некоторые виды перисто-кучевых облаков.

*Слоистые облака.* Эти облака чаще всего формируются в подынверсионном слое, когда воздух достигает в нем насыщения. Слоистые и разорванно-дождевые облака – наиболее низкие облака. Их нижняя граница отмечается, как правило, на высоте 100–300 м, но может опускаться до 50 м, а в отдельных случаях – и до земной поверхности. Повторяемость высоты нижней границы облаков до 100 м составляет в холодный период 32%, в теплый период 8%, а в среднем за год 21%. Слоистая облачность с высотой нижней границы до 150 м наблюдается, соответственно, в 73, 65 и 70% (по данным учащенных наблюдений в аэропорту Внуково).

Структура нижней границы слоистых облаков довольно сложная, что связано с особенностями их образования. Нижняя граница облаков не совпадает с уровнем конденсации, а находится несколько выше этого уровня, так как для образования отчетливо «видимой» нижней границы необходимо, чтобы конденсировалось большее количество водяного пара, что требует охлаждения воздуха чуть ниже точки росы.

Толщина слоистых облаков чаще всего не превышает 600 м. Характер верхней границы слоистых облаков над равнинной местностью обычно дает возможность судить о высоте нижней границы облаков. Если верхняя граница ровная, то нижняя граница этих облаков очень низкая. Если же верхняя граница имеет бугристый «клубящийся» характер, особенно когда на фоне ровной поверхности верхней границы облаков наблюдаются мощные кучевые облака, то нижняя граница слоистой облачности, как правило, выше 300 м.

Слоистые облака в большинстве случаев капельные. Капли имеют размер от 1–2 до 20–22 мкм (преобладают капли размером 4–6 мкм). Водность облаков при изменении температуры от –15 до 10 °С увеличивается с 0,06 до 0,3 г/м<sup>3</sup>. При отрицательной температуре воздуха в облаках наблюдается обледенение, наиболее интенсивное в средней и верхней части облака.

Видимость в слоистых облаках зависит от их внутренней структуры и изменяется в значительных пределах. Наиболее часто в слоистой облачности отмечается видимость 100–300 м. В более плотных облаках видимость, естественно, хуже.

Турбулентность в облаках обычно слабая, и при полете в них болтанка бывает незначительной или отсутствует совсем. При длительном полете в слоистой облачности может наблюдаться электризация самолета.

Из слоистых облаков нередко выпадают осадки в виде мороси или мелких снежинок и снежных зерен, которые значительно ухудшают видимость и усложняют условия полетов под облаками.

*Слоисто-кучевые облака.* Эти облака возникают в результате волновых движений и турбулентного обмена, а также вследствие разрушения мощных кучевых и кучево-дождевых облаков. Наиболее часто слоисто-кучевые облака

наблюдаются среди облаков нижнего яруса. В холодный период года эти облака встречаются чаще, чем в теплый. Над равнинной местностью слоисто-кучевые облака образуются за счет адвективного охлаждения воздуха над более холодной подстилающей поверхностью или в результате испарения с увлажненной поверхности почвы тающего снежного покрова в условиях турбулентного обмена. Над холмистой и горной местностью к этим процессам добавляется волновая деятельность. Во всех случаях в образовании слоисто-кучевых облаков значительную роль играют температурные инверсии.

По синоптическим условиям слоисто-кучевые облака чаще всего бывают внутримассовыми и наблюдаются в антициклонах, что косвенно дает возможность судить о метеорологических условиях полетов в этих облаках.

Слоисто-кучевые облака зимой практически одинаково часто бывают смешанными или капельными. Из них могут выпадать слабые осадки. Летом практически всегда слоисто-кучевые облака – капельные, и осадки из них выпадают крайне редко.

В зависимости от температуры воздуха водность этих облаков колеблется в пределах от 0,06 до 0,20 г/м<sup>3</sup>. Естественно, при более высоких температурах воздуха водность облаков больше. При полетах в этих облаках может наблюдаться слабое обледенение, а видимость в них изменяется от 30 до 300 м. Вертикальная мощность слоисто-кучевых облаков, как правило, не превышает нескольких сотен метров.

*Высоко-кучевые облака.* Эти облака встречаются достаточно часто, и летом их можно увидеть чаще, чем зимой. Средняя толщина (вертикальная мощность) этих облаков обычно не превышает нескольких сотен метров. Высоко-кучевые облака могут быть как капельными, так и смешанными примерно одинаково часто, и очень редко состоят только из кристаллов льда. Из смешанных высоко-кучевых облаков могут выпадать осадки (зимой – слабый снег, а летом – слабый дождь). Средний размер капель в облаке около 5 мкм, а водность облаков от зимы к лету меняется от 0,07 до 0,13 г/м<sup>3</sup>.

При полете в высоко-кучевых облаках велика вероятность обледенения различной интенсивности. Турбулентность в этих облаках слабая или умеренная, поэтому сильной болтанки в облаках, как правило, не бывает. Умеренная или сильная болтанка возможны лишь в тех случаях, когда облака связаны со струйными течениями. Видимость в высоко-кучевых облаках обычно не превышает 80–100 м.

*Перистые облака.* Перистые облака – самые высокие облака тропосферы. Высота их нижней границы в средних широтах может достигать 11 км, в тропиках – 17–20 км.

Толщина перистых облаков колеблется от нескольких сотен метров до нескольких километров, но обычно их вертикальная мощность не превышает 800–1000 м. Только облака, связанные с атмосферными фронтами, могут иметь толщину в несколько километров. По внутреннему строению перистые облака являются кристаллическими, их водность не превышает сотых или тысячных долей г/м<sup>3</sup>. Видимость в этих облаках колеблется от сотен метров до нескольких километров. Турбулентность в перистых облаках или слабая, или отсутствует совсем. Аналогичен и характер болтанки самолетов. Только в тех случаях,

когда перистые облака сформировались в зоне струйных течений, болтанка может быть умеренной и даже сильной. В случаях длительного полета в перистых облаках наблюдается и представляет определенную опасность электризация самолетов.

### 9.5.2. Условия полетов в слоистообразных облаках

К слоистообразным облакам относятся слоисто-дождевые, высоко-слоистые и перисто-слоистые облака – типичные облака, возникающие на атмосферных фронтах. Поскольку активность атмосферных фронтов над разными регионами существенно неодинакова, то и существенно различны пространственные характеристики этой облачности.

*Слоисто-дождевые облака* – это наиболее низкие, а следовательно, и наиболее опасные для авиации облака. Высота их нижней границы может достигать 200–300 м и даже опускаться ниже, когда под основным слоем слоисто-дождевой облачности наблюдаются разорванно-дождевые или разорванно-слоистые облака. Высота верхней границы облачности зависит от сезона, типа фронта, синоптической обстановки и широты места и может колебаться от 4 до 8 км и более. Наибольшая толщина слоисто-дождевых облаков отмечается зимой, вблизи приземной линии активного атмосферного фронта. Горизонтальная протяженность этих облаков колеблется от сотен до нескольких тысяч километров (вдоль фронтальной поверхности).

Внутреннее строение слоисто-дождевых облаков достаточно сложное, однако, очень часто это смешанные облака, состоящие из капель, переохлажденных капель и кристаллов. Из слоисто-дождевых облаков выпадают осадки обложного характера. Водность этих облаков колеблется от 0,6 до 1,3 г/м<sup>3</sup>, что обуславливает разную интенсивность обледенения самолетов. Наиболее опасны полеты в зонах переохлажденного дождя, где наблюдается сильное обледенение. Турбулентность в слоисто-дождевых облаках, как правило, не превышает слабую, поэтому болтанка самолетов при полете в этой облачности наблюдается крайне редко. При длительном полете в слоисто-дождевых облаках отмечается электризация самолетов.

*Высоко-слоистые облака* по внешнему виду очень трудно отличить от слоисто-дождевых, однако между ними есть существенное различие. Дело в том, что в отличие от слоисто-дождевых облаков из высоко-слоистых практически никогда не выпадают осадки (только зимой может быть слабый снег). Вот поэтому даже опытный метеонаблюдатель, прежде чем записать форму облаков в дневник погоды, оценивает наличие осадков в срок наблюдения: осадки есть – слоисто-дождевые облака, осадков нет – значит облака высоко-слоистые. Толщина высоко-слоистых облаков редко превышает 1000 м, а их водность, как правило, не более 1,0 г/м<sup>3</sup>.

При полете в этих облаках может наблюдаться умеренное (редко сильное) обледенение, турбулентность и болтанка самолетов возможна в основном в области струйных течений, которая по интенсивности не превышает умеренную, а видимость в облаках составляет, как правило, 50–200 м.

*Перисто-слоистые облака* относятся к облакам верхнего яруса, их нижняя граница расположена выше уровня 6,0 км. Следовательно, эти облака имеют кри-

сталлическую структуру, очень маленькую водность и сравнительно небольшую толщину (до 1 км). Выполнение полета в таких облаках обычно происходит без каких-либо осложнений. В редких случаях, когда образование этой облачности связано с атмосферным фронтом, при полете может наблюдаться слабое обледенение (при большой скорости полета) и слабая болтанка. Видимость в перистослоистых облаках обычно не превышает 1,0 км, а при продолжительном полете в зоне этих облаков возможна электризация самолетов.

### 9.5.3. Условия полетов в облаках вертикального развития

К облакам вертикального развития относятся кучевые, мощные кучевые и кучево-дождевые облака.

*Кучевые облака*, или «облака хорошей погоды», наблюдаются чаще всего в теплый период года. Высота нижней границы этих облаков обычно составляет 600–1200 м, а вертикальная мощность не превышает нескольких сотен метров. Это, как правило, капельные облака с размером капель 1–20 мкм и водностью 0,1–0,4 г/м<sup>3</sup>. Видимость в этих облаках чаще всего не превышает 100 м, осадки не выпадают, а обледенение отсутствует. Из опасных для авиации явлений может наблюдаться только умеренная или сильная турбулентность, которая может вызвать умеренную или сильную болтанку. Восходящие токи в таких облаках не превышают 5–7 м/с. В целом кучевые облака значительных затруднений для самолетовождения и пилотирования самолетов не представляют.

#### *Это интересно:*

Кучевые облака на самом деле не представляют серьезной опасности для авиации. Наоборот, эти облака часто являются предвестниками появления «более страшных облаков», какими являются мощные кучевые и кучево-дождевые облака. И если в атмосфере хватает тепла, влаги и неустойчивости, то кучевые облака в дальнейшем трансформируются в более опасные для авиации формы.

И еще одно интересное обстоятельство, связанное с кучевыми облаками. В средних широтах зимой кучевые облака практически никогда не наблюдаются, а когда впервые весной их увидишь, то можно считать, что пришла весна, и пришла окончательно.

*Мощные кучевые облака* представляют собой вторую, более опасную, стадию развития кучевых облаков. Нижняя граница мощной кучевой облачности мало чем отличается от нижней границы кучевых облаков, а вот верхняя граница изменяется существенно. В средних широтах высота верхней границы мощно-кучевой облачности может достигать 4–5 км и более, а горизонтальная протяженность – 10–15 км.

По внутренней структуре мощно-кучевые облака – капельные облака с разными размерами капель. При отрицательных температурах воздуха капли, естественно, переохлажденные, и при полете в этой части облака возможно умеренное или сильное обледенение. Водность облака колеблется от 0,3 до 1,7 г/м<sup>3</sup>. Так как эти облака капельные, то осадков из мощно-кучевых облаков не выпадает, и наибольшую опасность для полетов представляют вертикальные восходящие движения, скорость которых может достигать 20–30 м/с, и нисходящие движения со скоростями 5–10 м/с. Полеты в мощно-кучевых облаках осложняются еще и значительной электрической неоднородностью и возможностью электрических разрядов вблизи самолета или на самолет. Поэтому

преднамеренно заходить в мощные кучевые облака запрещается, а обход их должен производиться на строго регламентированных расстояниях.

*Кучево-дождевые облака* являются «самыми страшными» для полета всех типов воздушных судов. Вертикальная мощность этих облаков очень большая. Нижняя граница кучево-дождевой облачности обычно понижается до 200–500 м, а верхняя часто достигает тропопаузы. Следовательно, вертикальная мощность кучево-дождевых облаков даже в средних широтах может превышать 10 км. В облаке и вокруг него наблюдаются сильные и неупорядоченные вертикальные движения. Можно считать установленным фактом, что внутри облака существуют восходящие токи, а по краям – нисходящие токи со скоростями до 50 и 30 м/с, соответственно, а зафиксированная специальным самолетом-лабораторией перегрузка в облаке превышала 2g.

Наиболее опасной для полетов является передняя часть облака, где нередко образуется «крутящийся вал» с горизонтальной осью вращения – «шкваловым воротом», который обычно является предвестником «настоящего» шквала.

*Это интересно:*

Шкваловый ворот, действительно, является предвестником «настоящего» шквала. Представьте себе, уважаемый читатель, что по краям облака наблюдаются нисходящие потоки со скоростью 30 м/с (это, между прочим, 100 км/ч). Такой поток, естественно, перемещает сверху вниз громадные массы воздуха. Воздух доходит до земной поверхности, а что дальше? Ему некуда деваться. Вот он и закручивается в «шкваловый ворот» с горизонтальной осью. Этот «лишний», опустившийся сверху воздух, взаимодействует с обычным достаточно сильным ветром, который наблюдается в зоне кучево-дождевого облака, что и приводит к резкому, иногда внезапному, усилению ветра, изменению его направления, т.е. к самому настоящему шквалу.

Горизонтальная протяженность хорошо развитых кучево-дождевых облаков больше их вертикальной мощности и составляет несколько десятков километров. Значительная вертикальная и горизонтальная протяженность облаков, очень сильные неупорядоченные вертикальные движения в облаке и его окрестностях, обуславливающие сильную и очень сильную болтанку самолетов, интенсивное обледенение и вероятность электризации самолета исключает возможность полета в кучево-дождевых облаках. Полет в кучево-дождевых облаках категорически запрещен. Опасность для воздушного судна создается не только при полете в кучево-дождевом облаке, но и вблизи него, в результате чего требуется обходить эти облака на безопасных расстояниях, установленных «Наставлением по производству полетов».

## **9.6. Условия полета в различных метеорологических явлениях, ухудшающих видимость**

К основным метеорологическим явлениям, ухудшающим видимость, следует отнести осадки, метели, туманы, пыльные или песчаные бури и мглу.

Осадки подразделяются на следующие основные виды.

*Обложные осадки.* Это осадки средней интенсивности и большой продолжительности. Обложные осадки, как правило, одновременно наблюдаются на большой площади. Эти осадки выпадают из фронтальных слоисто-дождевых

облаков в виде дождя, снега или мокрого снега. Иногда (очень редко в холодный период года) обложные осадки выпадают и из высоко-слоистых облаков.

*Ливневые осадки.* Это осадки неустойчивых воздушных масс и холодных фронтов, выпадающие из кучево-дождевых облаков в виде ливневого дождя или снега, снежной крупы, мокрого снега или града. Обычно эти осадки кратковременные с резко меняющейся интенсивностью.

*Морось или ледяные кристаллы.* Эти осадки выпадают из плотных слоистых облаков (ледяные кристаллы – при низкой температуре). Реже такие осадки выпадают из слоисто-кучевых облаков, образовавшихся в устойчивой воздушной массе.

По форме различают следующие виды осадков.

*Морось* – однородные осадки, состоящие из большого количества мелких капель диаметром менее 0,5 мм. Интенсивность осадков не более 0,25 мм/ч, а скорость падения капель обычно не превышает 2 м/с.

Полет в зоне моросящих осадков опасен из-за возможного умеренного или сильного обледенения, низкой слоистой облачности, а также ухудшенной видимости. Иногда при выпадении мороси видимость может уменьшиться до 1000 м и менее.

*Дождь* – осадки, состоящие из капель диаметром 0,5–7,0 мм. Скорость падения капель дождя составляет 4–8 м/с. Видимость в дожде может ухудшиться до 4000 м (реже до 2000 м). Кроме ухудшения видимости, полет в зоне переохлажденного дождя опасен возможностью возникновения обледенения, чаще всего умеренного.

*Снег* – осадки в виде кристаллов льда или снежинок. При температуре, близкой к 0 °С, снежинки образуют хлопья размерами до 100 мм. Скорость падения снежинок до 5 м/с.

Полет в зоне снегопада опасен из-за ухудшенной видимости (иногда до 1000–2000 м) и возможности умеренного обледенения.

*Мокрый снег* – осадки, выпадающие в виде снежинок, переохлажденных капель или тающих снежинок. Мокрый снег образуется тогда, когда у земли температура воздуха близка или чуть выше 0 °С.

При полете в зоне мокрого снега основную опасность представляет ухудшенная видимость, которая может достигать значений до 1000 м и менее.

*Снежная крупа* – осадки в виде ледяных и снежных «шариков» диаметром до 15 мм. Крупа образуется в результате замерзания переохлажденных капель воды и обзрения снежинок. Снежная крупа – явление кратковременное. Видимость в ней может ухудшаться до 4000–2000 м, а скорость падения крупы составляет 10–20 м/с.

*Град* – осадки в виде ледяных частиц шарообразной формы диаметром 2–50 мм (наблюдались случаи выпадения града диаметром до 300 мм). Скорость выпадения града в зависимости от его диаметра может меняться от 10 до 50 м/с.

Крупный град представляет большую опасность для авиации, так как может вызвать деформацию узлов воздушного судна, нарушить остекление кабины и т.д. В зоне всех видов осадков, которые выпадают из кучево-дождевых облаков, наблюдается умеренная или сильная турбулентность.

*Это интересно:*

Если вспомнить, что объем шара равен  $\frac{4}{3} \pi r^3$ , а плотность льда составляет  $0,8 \text{ г/см}^3$ , то из приведенного выше примера (диаметр градины 300 мм) получается, что каждая градина весит примерно 1100 г, т.е. больше килограмма! Самолету под таким градом «не поздоровится», да и не только ему. Справедливости ради нужно отметить, что такой град бывает крайне редко, но в Книге рекордов Гиннеса зафиксирована градина массой в 2200 г!

*Метелью* называется перенос снега ветром, который приводит к резкому ухудшению видимости. По условиям образования метели могут быть низовыми и общими.

*Низовая метель* представляет собой перенос ветром снега, поднятого с поверхности снежного покрова (снег не идет). При этом снег поднимается на достаточно большую высоту (выше человеческого роста), а дальность видимости очень заметно уменьшается. Низовая метель наблюдается всегда при сравнительно сильном ветре (более 7 м/с) и сухом снежном покрове.

*Поземок* – перенос снега ветром непосредственно над поверхностью земли. Поземок является разновидностью низовой метели. При поземке поднятый с поверхности снег не поднимается выше 1 м (выше глаз наблюдателя), однако также значительно затрудняет посадку самолетов. Дело в том, что поземок «метет» через ВПП и лишает летчика возможности устойчиво видеть полосу.

*Общая метель* – выпадение снега при сильном ветре. При этом возможен и подъем и перенос снега с поверхности земли. При общей метели видимость может ухудшаться до 500–1000 м, а иногда не превышает нескольких десятков метров.

Сильный ветер в комплексе с плохой видимостью, который наблюдается в метели, делает этот вид осадков очень опасным для авиации. Следует также иметь в виду, что при метелях, особенно продолжительных, на аэродромах могут возникать снежные заносы, что затрудняет, а иногда на какой-то срок и исключает работу авиации.

*Туманы и дымки.* Туманы и дымки образуются в результате конденсации водяного пара в непосредственной близости от земной поверхности. Если за счет взвешенных в воздухе продуктов конденсации водяного пара видимость уменьшается до значений менее 1000 м, то такое явление называется туманом. При видимости 1000 м и более, но менее 10 км, такое явление называется дымкой.

В зависимости от степени ухудшения видимости туманы могут быть слабые (видимость 500–1000 м), умеренные (видимость 200–500 м), сильные (видимость 50–200 м) и очень сильные (видимость менее 50 м). По вертикальной мощности ( $\Delta h$ ) туманы подразделяются на поземные ( $\Delta h \leq 2 \text{ м}$ ), низкие ( $\Delta h = 2\text{--}10 \text{ м}$ ), средние ( $\Delta h = 10\text{--}100 \text{ м}$ ) и высокие ( $\Delta h > 100 \text{ м}$ ).

Согласно действующей классификации, туманы, возникающие в однородной воздушной массе, относятся к внутримассовым, а туманы, образующиеся в зоне атмосферных фронтов, – к фронтальным туманам.

В зависимости от физических причин образования туманы классифицируют как туманы испарения, туманы охлаждения и туманы смешения.

Для авиации основная опасность туманов заключается в значительном ухудшении видимости в них. Возникновение туманов зачастую приводит к за-

крытию аэропортов по погодным условиям. Наибольшую опасность для авиации представляют адвективные туманы, как наиболее продолжительные по времени, имеющие наибольшую вертикальную мощность и способные возникнуть в любое время суток.

*Пыльные бури.* Пыльные бури представляют собой перенос сильным ветром большой массы (миллионы тонн) густой пыли или песка. В пыльных бурях ухудшение видимости может быть до нескольких сотен метров и менее. Эти бури образуются обычно над южными равнинными районами, однако иногда могут наблюдаться и в умеренных широтах, особенно при засушливой погоде.

*Это интересно:*

Неразумная хозяйственная деятельность привела к тому, что сейчас пыльные бури возникают и в северных районах (на севере Тюменской области, в районе Нарьян-Мара). На севере растительность очень слабая, хрупкая и долго восстанавливается. После того как по такой «травке» проедет тягач и сделает колею, эта «травка» восстановится не ранее чем через 20 лет. И все это время в теплую половину года в таких районах будут (и уже есть) пыльные бури.

Горизонтальная протяженность зон с пыльными бурями, как правило, не превышает нескольких сотен километров, а их вертикальная мощность зависит от скорости ветра, степени турбулизации и стратификации атмосферы и колеблется от нескольких метров до нескольких сотен метров.

Основная опасность пыльных (песчаных) бурь для авиации заключается в плохой видимости, сильном ветре и сильной турбулентности в нижнем слое атмосферы, что особенно опасно при взлете и посадке воздушных судов, а также при выполнении полетов на малых и предельно малых высотах.

*Мгла.* Мглой называют помутнение воздуха взвешенными частичками пыли, дыма или гари. В отдельных случаях видимость во мгле может уменьшаться до сотен метров, хотя обычно не бывает меньше 1000–2000 м. Мгла часто наблюдается в южных степных районах, а также над большими городами при устойчивой стратификации атмосферы. Основная опасность мглы для авиации – значительное ухудшение видимости.

*Это интересно:*

В жаркое лето 2002 года на европейской территории России было очень много лесных пожаров. Мало того, что несколько недель подряд в самый грибной и ягодный сезон под Москвой и Санкт-Петербургом было запрещено посещать леса, но над этими городами стояла такая мгла, что буквально нечем было дышать. В обоих городах пахло дымом, видимость ухудшалась до 200 м, и все аэродромы московского аэроузла и Пулково оказались закрытыми для взлета и посадки всех самолетов.

## **9.7. Условия полетов в зоне атмосферных фронтов**

Все облачные системы наиболее развиты в зоне атмосферных фронтов. Поэтому условия полетов в зоне атмосферных фронтов всегда сложнее, чем вне фронтальных разделов. Рассмотрим фронтальные облачные системы более подробно, и постараемся сделать это «с авиационным уклоном».

*Теплый фронт.* Теплый фронт имеет облачную систему, состоящую из надфронтальной облачности, которая образуется в теплом воздухе за счет его упорядоченного подъема, и подфронтальных облаков, формирующихся в холодном

воздухе под основным облачным массивом вследствие высокой влажности и турбулентности.

Надфронтальный облачный массив имеет клинообразную форму, следуя наклону фронтальной поверхности. В зависимости от активности фронта и места в барической системе этот облачный массив или сплошной, или расслоенный, что в значительной мере определяется структурой поля вертикальных движений. С приближением к приземной линии фронта вертикальная мощность облачного массива увеличивается, а высота нижней границы облаков понижается. Основную часть надфронтальных облаков составляют высоко-слоистые и слоисто-дождевые облака. Из слоисто-дождевых облаков выпадают осадки обложного характера. Их ширина зимой составляет примерно 400, а летом – 300 км. Горизонтальная протяженность облаков вдоль линии фронта может достигать 2000–2500 км.

*Это интересно:*

Большая ширина зоны осадков зимой по сравнению с теплым периодом объясняется просто. Дело в том, что зимой образовавшаяся в облаках снежинка как начала падать, так и падает до земли. Летом же мелкие капли (а чем дальше от приземной линии фронта, тем мельче капли по размеру) начинают испаряться и успевают испариться совсем за тот период, пока летят до земли. Вот поэтому за счет испарения капель ширина зоны фронтальных осадков на теплом фронте летом примерно на 100 км меньше, чем зимой.

Самые трудные условия для полетов создаются в зоне шириной 300–400 км от приземной линии фронта. Это вполне естественно, так как для этой зоны характерны наиболее низкие облака, облака, которые имеют наибольшую вертикальную мощность. В этой же зоне наблюдаются наиболее сильные и продолжительные осадки, значительно ухудшена видимость. Здесь же наиболее часто бывает интенсивное обледенение и грозы. Грозы, как вы знаете из курса синоптической метеорологии, на теплых фронтах в основном наблюдаются ночью, что является еще одним дополнительным фактором, обуславливающим трудности в работе авиации.

Формы облаков достаточно хорошо развитого теплого фронта и вертикальная структура фронта показана на рис. 9.4.

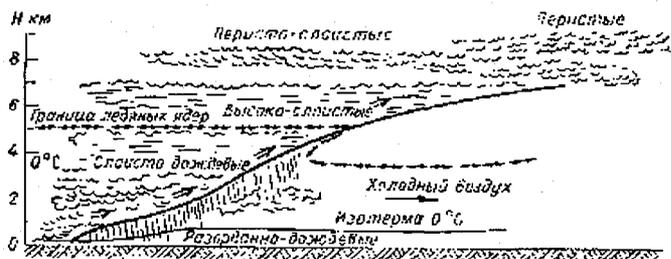


Рис. 9.4. Схема облачной системы теплого фронта.

*Холодные фронты.* Как известно, холодные фронты подразделяются на два рода: холодные фронты первого рода и холодные фронты второго рода.

*Холодный фронт первого рода* это медленно движущийся фронт. Вдоль всей поверхности фронта наблюдаются восходящие движения теплого воздуха,

приводящие к формированию слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков, которые непосредственно примыкают к фронтальной поверхности.

В **холодный период** система облаков похожа на облачную систему теплого фронта и является как бы ее зеркальным отражением (рис. 9.5).

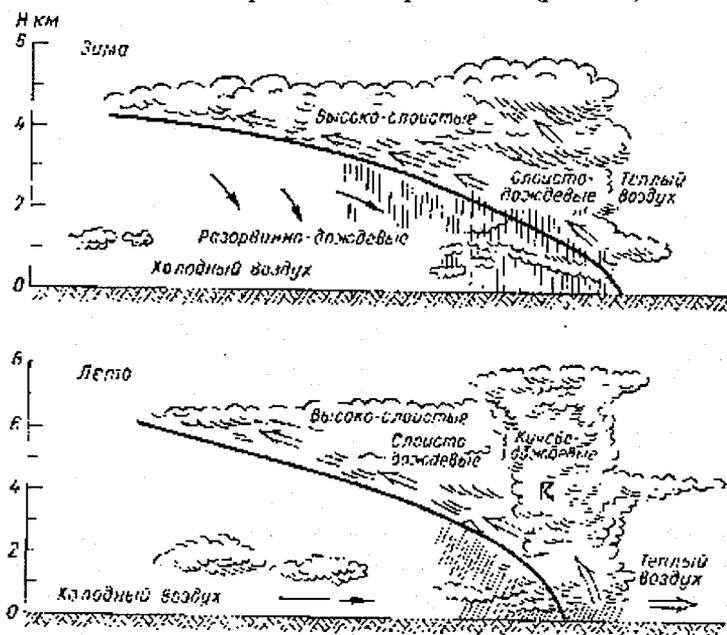


Рис. 9.5. Схема облачной системы холодного фронта первого рода.

В данном случае условия полетов на холодном фронте аналогичны условиям, наблюдающимся в таких же облаках теплого фронта. Разница заключается в том, что температура в облаках холодного фронта обычно несколько ниже, чем в облаках теплого фронта, обледенение менее интенсивно из-за меньшей водности этих облаков, а зона осадков, в том числе и переохлажденных, уже, чем на теплом фронте. Ширина зоны обложных осадков на холодном фронте примерно равна 150–200 км, а высота нижней границы облаков у приземной линии фронта чаще всего колеблется в пределах 100–200 м. Толщина (вертикальная мощность) фронтальной облачности на холодном фронте, как правило, всегда несколько меньше, чем на теплом.

Иная картина наблюдается **летом**. В передней части фронта, где наблюдаются сравнительно большие по скорости восходящие движения, формируются кучево-дождевые облака, которые нередко исключают возможность полетов. Судя по наблюдениям из космоса, а также по самолетным данным, эти облака имеют грядовую структуру, зависящую от динамики воздушных потоков в зоне фронта.

В передней части фронта кучево-дождевые облака могут развиваться до тропопаузы. Из-за сильной турбулентности, интенсивной болтанки, сильного обледенения и возможности встречи с грозой со всеми вытекающими отсюда последствиями полеты в зоне фронта настолько сложны, что их часто приходится прекращать до тех пор, пока не пройдет фронт.

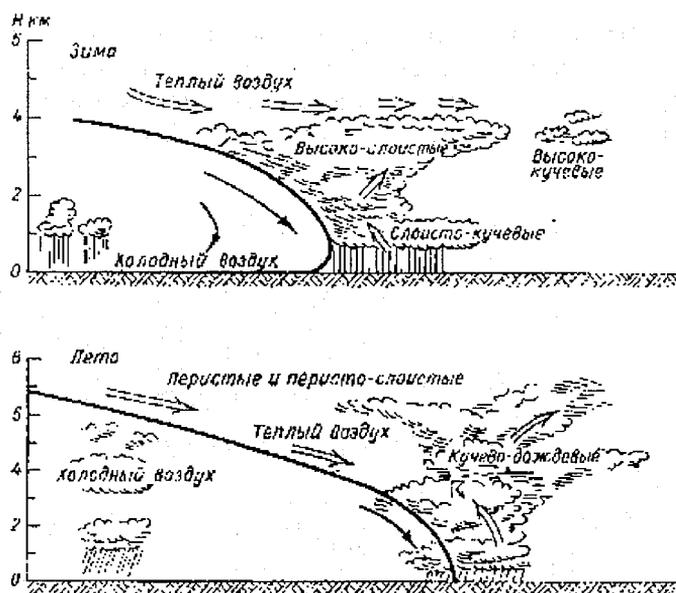


Рис. 9.6. Схема облачной системы холодного фронта второго рода.

*Холодный фронт второго рода* – быстро движущийся фронт. В зоне этого фронта (рис. 9.6) во всей верхней части фронтальной поверхности происходит нисходящее движение воздуха, поскольку теплый воздух отступает быстрее, чем наступает холодный. Передняя часть фронтальной поверхности наклонена круто, теплый воздух интенсивно вытесняется валом надвигающегося холодного воздуха.

Вследствие такого процесса облака формируются в основном только в передней части фронта. За линией фронта над фронтальной поверхностью облака отсутствуют, а после прохождения приземной линии фронта наступает прояснение.

В зимний период перед линией фронта наблюдаются высоко-слоистые и высоко-кучевые облака, из которых могут выпадать осадки. Ширина зоны этих осадков составляет несколько десятков километров. Горизонтальная протяженность облаков вдоль фронта может быть равна 1500–2000 км, а ширина всей фронтальной облачности в средних широтах (перпендикулярно приземной линии фронта), как правило, не превышает 150–200 км.

В летний период характер облаков резко отличается от зимнего. В результате интенсивной конвекции в передней части фронта возникают мощные кучево-дождевые облака с грозами, особенно в тех случаях, когда воздух неустойчив. Здесь часто образуются смерчи и шквалы. Возможность возникновения шквалов тем больше, чем больше разность температур теплого и холодного воздуха. Если температура воздуха в теплой воздушной массе около 30° С, а в холодной – около 20° С, то вероятность возникновения шквала очень высока. При наличии фронтальных гроз, которые нельзя облететь, и в кучево-дождевой облачности полеты категорически запрещены.



ствие конденсации водяного пара, выделяемого при сгорании высококалорийного авиационного топлива и быстрого замерзания капель. При сгорании 1 кг топлива в реакции участвует примерно 11 кг атмосферного воздуха, образуется около 12 кг выхлопных газов, содержащих примерно 1,4 кг водяного пара. Этот водяной пар значительно повышает влагосодержание окружающего воздуха. При определенных атмосферных условиях, а именно тогда, когда относительная влажность окружающего воздуха близка к 100%, дополнительно поступивший в атмосферу водяной пар может довести относительную влажность до предельной, наступает конденсация, и за самолетом образуется облачный след.

На основании физических представлений об условиях образования конденсационных следов отечественными (А.Х. Хргиан, Л.Т. Матвеев, Г.И. Коган-Белецкий и др.) и зарубежными учеными разработаны приемы прогнозирования конденсационных следов по данным радиозондирования атмосферы. Позднее О.Г. Богаткиным была установлена связь между временем сохранения конденсационного следа за самолетом и эволюцией перистой облачности. Было замечено, что если след за самолетом сохраняется менее 10 мин, то в ближайшие 6 ч на уровне возникновения следа перистая облачность не образуется или растекается. Если же след за самолетом сохраняется более 10 мин, то на этом уровне перистая облачность или образуется, или уплотняется.

*Это интересно:*

Первыми на конденсационные облачные следы за самолетами обратили внимание военные синоптики, так как облачный след является хорошим демаскирующим признаком. Появилась настоятельная необходимость в прогнозе этих следов.

Совершенно очевидно, что ни наблюдатель, ни синоптик не стоят с секундомером «на крыльце АМСГ» и не засекают время существования следа. Все делается проще и, если хотите, разумней. Видимую часть небосвода самолет на высотах 9000–11 000 м пролетает примерно за 10 мин. На этих же высотах за самолетом может образоваться след. Если самолет почти пролетел всю видимую часть небосвода, «перечеркнул» все небо, и след остался, то это значит, что в данном случае время сохранения следа более 10 мин.

И еще одно интересное обстоятельство, связанное с конденсационными облачными следами за самолетами. В принципе облачный след это искусственное облако, за которым можно следить и по которому можно прогнозировать погоду. Автору этих строк неоднократно и достаточно успешно приходилось прогнозировать погоду во время туристических походов, используя в качестве исходной информации только наблюдения за облачным следом. Вот несколько примеров того, о чем нам может рассказать облачный след.

1. *Облачный след сохраняется более 10 мин.* Перистые облака – предвестники теплового фронта будут уплотняться. Это значит, что до приземной линии фронта около 600 км, а до зоны осадков – около 300 км. Если принять скорость смещения фронта равной 30 км/ч, то примерно через 10 ч в нашем районе пойдет дождь.

2. *Облачный след сохраняется менее 10 мин.* Это означает, что в ближайшие 10 ч осадков скорей всего не будет.

3. *Облачный след смещается по небосводу на север.* Это означает, что на высотах наблюдаются южные потоки, следовательно, в ближайшее время ждать заметного похолодания и резкой перемены погоды не приходится. Кроме того, по скорости смещения следа можно судить об интенсивности происходящих в атмосфере процессов. Большая скорость смещения следа говорит о большой интенсивности атмосферных процессов.

4. *Подветренная сторона следа имеет разные по величине облачные выбросы.* Это означает, что в зоне следа имеет место сильный ветер, сильная турбулентность и как следствие – будет наблюдаться сильная болтанка.

А синоптик только внимательно посмотрел на облачный след за самолетом. И в принципе перечень прогностических признаков можно продолжить.

Диагностирование высот, на которых возможно образование следа, осуществляется с помощью аэрологической диаграммы, на которую нанесены конкретные данные радиозондирования.

Поскольку от момента радиозондирования до практического применения данных проходит некоторое время, в течение которого состояние атмосферы может измениться, строго говоря, необходимо было бы учитывать эти изменения. Иными словами, для более точного диагностирования границ конденсационных следов необходима прогностическая кривая стратификации температуры, которая, естественно, учитывает динамику процессов, происходящих в верхней тропосфере и нижней стратосфере.

*Это не очень интересно, но очень важно:*

Уважаемый читатель! В предыдущих изданиях учебника «Авиационная метеорология» значительно больше, чем в этом издании, уделялось внимание анализу спутниковой информации и информации, получаемой с помощью МРЛ. Это не случайно. На это есть свои причины. Во-первых, это реальность сегодняшнего дня, что только на очень небольшом количестве АМСГ и АМСЦ существует аппаратура и приборы, с помощью которых можно анализировать информацию ИСЗ и МРЛ. Во-вторых, проблемы использования спутниковой и радиолокационной информации в целях метеорологического обеспечения авиации достаточно подробно изложены в учебных дисциплинах «Спутниковая метеорология» и «Радиолокационная метеорология», и дублировать их содержание, тем более, что по этим курсам существуют учебники, нам кажется нецелесообразным. В-третьих, комплексный подход к решению задач сверхкраткосрочного прогнозирования с использованием всех видов информации изложен в учебнике «Сверхкраткосрочные прогнозы погоды», который нам тоже не хочется дублировать. Поэтому, дорогой читатель, для комплексного изучения всей проблемы одного учебника по «Авиационной метеорологии» мало. Чтобы все понять и все знать нужно, по крайней мере, «прощудировать» еще три учебника: «Спутниковая метеорология», «Радиолокационная метеорология» и «Сверхкраткосрочные прогнозы погоды».

### **9.9. Авиационный прогноз низкой облачности и ограниченной видимости**

Высота нижней границы облаков – важнейшая характеристика, определяющая степень сложности погоды. Поэтому понятно, что прогноз нижней границы облачности особенно необходим. Причем, наиболее ответственным является прогноз облачности высотой 300 м и ниже. Однако именно здесь встречаются наибольшие трудности при разработке прогноза. Дело в том, что нижняя граница облаков, особенно облаков слоистых форм (а это самые низкие облака), как правило, выражена недостаточно четко. Поэтому высота нижней границы облаков, измеренная одновременно в различных точках одного аэродрома, может быть разной. В результате проведенных исследований установлено, что в ряде случаев высоты низких облаков (до 200 м), измеренные на расстоянии 500 м, могут отличаться друг от друга на 30–50%.

Сложность структуры нижней границы облаков и зависимость ее высоты от многих факторов (характеристик воздушной массы, рельефа местности, наличия осадков и т.д.) привели к тому, что в настоящее время существует большое количество методов диагноза и прогноза высоты нижней границы облаков,

и довольно трудно какому-либо из них отдать предпочтение. Использование того или иного метода прогноза высоты нижней границы облаков возможно только после тщательной проверки метода на местном материале.

При прогнозе высоты нижней границы облаков помимо синоптического метода рекомендуется использовать эмпирические связи высоты облачности с температурой воздуха и температурой точки росы у земли, их прогностическими значениями, скоростью ветра у земли и другими характеристиками. Ниже будут приведены основные методы прогноза высоты нижней границы облачности, используемые на различных АМСГ и АМЦ в разных регионах России.

### 9.9.1. Прогноз низкой облачности

В соответствии с основными руководящими документами по метеорологическому обеспечению гражданской авиации в авиационные прогнозы погоды включается следующая информация об облачности: количество облаков, их форма, а также высота нижней и верхней границ. Пожалуй, ни один потребитель метеорологической информации не требует от метеослужбы таких подробностей. Недаром авиацию называют «кнудом» развития метеорологии и краткосрочных прогнозов погоды.

Справедливости ради, следует сказать, что не только авиацию интересует облачность. Количество облаков, а следовательно, и количество солнечных часов, интересует и медиков, и туристов, и любителей здорового образа жизни и многих других. Форма облачности всех интересует значительно меньше, а вот высота нижней и верхней границы интересует только авиацию.

Как уже было сказано выше, низкая облачность затрудняет, а иногда делает невозможным полет воздушного судна. Она (низкая облачность) вместе с ограниченной видимостью является тем элементом погоды, который определяет *минимум погоды*. Поэтому во все времена к прогнозу высоты нижней границы облачности синоптики АМСГ относились и относятся очень серьезно.

#### *Это интересно:*

Если вас, читатель, интересуют проблемы прогноза низкой облачности, то, читая специальную литературу разных лет, вы сможете заметить, что пределы высоты нижней границы облаков, о которых говорят как о низких, все время уменьшаются. Действительно, в литературе 50-х годов за низкую облачность принимали облачность с высотой нижней границы 300 м и ниже, в 80-е годы низкими облаками стали называть облачность ниже 200 м, а сейчас это облака с нижней границей менее 100 м. В чем дело? Оказывается все правильно. Все зависит от минимумов погоды. В 50-е годы можно было только мечтать о том, чтобы произвести посадку при высоте облаков 200 м и ниже, поэтому в те времена за низкую облачность и принимали облака ниже 300 м. К 80-м годам при такой высоте облаков летать научились, и за низкие облака стали принимать облачность ниже 200 м. Более того, в Наставлении по производству полетов гражданской авиации России (НПП ГА) записано, что полетами в сложных метеоусловиях являются полеты при высоте нижней границы облачности 200 м и ниже. Ну а теперь и этот рубеж преодолен. Теперь нужно летчикам учиться летать, а нам учиться прогнозировать облачность с высотой нижней границы 100 м и менее.

Прогноз формы и количества облаков. В заголовке этого раздела слова «формы и количества» не случайно записаны как бы в обратном порядке. Дело в том, что синоптики на практике форму облачности *всегда*, а количество обла-

ков почти всегда прогнозируют синоптическим методом. Вот поэтому в заголовке так и расставлены «приоритеты».

Учитывая географическое положение аэродрома, время года и время суток, а также синоптическую ситуацию, форма и количество облачности практически всегда прогнозируется синоптическим методом. Пожалуй, единственным случаем, когда потребителя не устраивает синоптический метод прогноза количества облаков, является случай, связанный с метеорологическим обеспечением полетов на аэрофотосъемку (АФС). Дело в том, что АФС можно проводить только в том случае, когда количество облачности не превышает трех октантов (4 баллов). Вот поэтому летный и руководящий состав авиапредприятия, отвечающего за проведение аэрофотосъемки, очень требовательно подходит к прогнозу количества облаков. Чаще всего проблемы с прогнозом количества облачности возникают летом при прогнозе внутримассовой конвективной облачности (да и полетов на АФС больше всего бывает в летнее время).

Для района Москвы М.Г. Приходько предложил расчетный метод прогноза конвективной облачности на момент ее максимального развития по данным утреннего температурно-ветрового зондирования атмосферы.

На первом этапе расчета по формуле (9.4) определяется коэффициент стратификации атмосферы:

$$K_{\text{стр}} = \frac{0,3\Delta T_0 R_{\text{ср}}}{D_{\text{ср}} + (1 - \gamma_{\text{ср}})}, \quad (9.4)$$

где  $\Delta T_0$  – разность температур между максимальной (прогноз) и температурой в срок зондирования;  $R_{\text{ср}}$  – среднее значение относительной влажности (в %) в слое от земли (верхней границы приземной инверсии) до 3000 м (700 гПа);  $\gamma_{\text{ср}}$  – средний вертикальный градиент температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ) в том же слое;  $D_{\text{ср}}$  – средний дефицит точки росы в слое от земли до 200 м, если у земли  $1^{\circ}\text{C} < D_{\text{ср}} < 4^{\circ}\text{C}$ , или от земли до 500 м в других случаях. Если данных о распределении дефицита точки росы нет, то можно воспользоваться данными о дефиците температуры точки росы у земной поверхности.

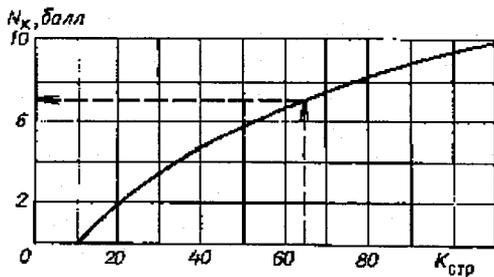


Рис. 9.8. Зависимость количества конвективной облачности от коэффициента стратификации.

По найденному значению  $K_{\text{стр}}$  с помощью графика, представленного на рис. 9.8, определяется количество внутримассовой конвективной облачности в момент ее максимального развития. Дополнительных пояснений для пользования графиком не требуется.

*Это интересно:*

В приведенном рисунке, на самом деле, все определяется очень просто. Однако следует иметь в виду два обстоятельства. Во-первых, во всех «старых» книжках количество облачности всегда определялось в баллах, а не в октантах. Поэтому многие (почти все) графики и формулы позволяют определить количество облаков в баллах. Во-вторых, если в формуле (9.4) определять  $\Delta T_0$  как разность между фактической температурой воздуха и температурой, прогнозируемой на какой-либо час, а не максимальной, то таким образом по графику на этот же час можно определить количество облачности. Иными словами, зная ограничения по количеству облачности для полетов на АФС, можно спрогнозировать, до которого часа такие полеты возможны.

Оперативная проверка применения графика, предложенного на рис. 9.8, показала, что его можно использовать и для некоторых других районов, однако результаты прогноза будут значительно лучше, если воспользоваться рядом наблюдений «своей» станции.

Кроме формулы (9.4) для прогноза количества конвективной облачности можно также воспользоваться следующими формулами:

$$N = 0,075 \Delta h \pm 1,5 \quad (9.5)$$

или

$$N = 10 \frac{T_{\text{вл}, 850} - T_{850}}{T_{\text{вл}, 850} - T_{\text{сух}, 850}}, \quad (9.6)$$

где  $\Delta h$  – толщина конвективно-неустойчивого слоя по данным утреннего зондирования, гПа;  $T_{850}$ ,  $T_{\text{вл}, 850}$  и  $T_{\text{сух}, 850}$  – температуры воздуха на уровне 850 гПа, отсчитанные, соответственно, на кривой стратификации, на влажной и на сухой адиабатах, проходящих через точку с максимальной (прогностической) температурой воздуха у земли.

Прогноз высоты нижней границы облаков. Пожалуй, только два явления погоды – низкая облачность и туманы – больше всего зависят от местных условий. Поэтому методов прогноза одного и другого явления разработано очень много. Рассмотрим основные методы или приемы, которые используются в различных регионах России. Многие из этих приемов являются синоптико-статистическими, а поэтому, используя аналогичный подход, желательно получать статистические зависимости по своему ряду наблюдений. В этом случае результаты прогнозирования будут значительно лучше, чем при использовании «напрямую» приведенных ниже графиков и формул.

Можно только с уверенностью говорить о правильном физическом подходе при решении данной задачи, а вот сам ряд наблюдений должен быть «вашим».

Прогноз высоты нижней границы облаков по полумпирическим формулам.

Для определения высоты нижней границы облачности наибольшее распространение получили следующие формулы:

формула Ипполитова:

$$H = 24(100 - R), \quad (9.7)$$

формула Ферреля:

$$H = 122(T - T_d)_0, \quad (9.8)$$

безымянная формула:

$$H = 122(T - T_d)_0 - m. \quad (9.9)$$

Во всех этих формулах  $H$  – высота нижней границы облаков, м;  $T$  – температура воздуха у земли, °С;  $T_d$  – температура точки росы у земли, °С;  $R$  – относительная влажность, %;  $m$  – коэффициент, учитывающий наличие осадков. При мороси  $m = 80$ , при других видах осадков  $m = 50$  и  $m = 0$  при отсутствии осадков (в этом случае получается формула Ферреля).

Кроме приведенных выше формул, существует еще много других, которые или имеют конкретного автора, или безымянные. Однако на них останавливаться не будем, так как в их основе лежат те же самые параметры, а отличаются эти формулы только коэффициентами. Иными словами, остальные формулы получены в результате обработки своего ряда наблюдений.

*Это интересно:*

На первый взгляд не очень понятно, зачем на аэродроме, где всегда проводятся инструментальные наблюдения за высотой нижней границы облаков, нужно определять высоту облачности по полуэмпирическим формулам. На самом деле, действительно на аэродроме этого делать не надо. Но когда самолет или вертолет выполняют полеты в районе аэродрома на удалении от него на 100–200 км, то синоптику приходится оценивать высоту облачности в районе полетов. Как правило, в этих районах есть только наблюдательские метеостанции, на которых высота облачности не измеряется. В этих случаях и нужно применять указанные выше полуэмпирические формулы. Например, если на метеостанции измерили только температуру воздуха и температуру точки росы, и получили значение дефицита температуры, равное 2°, то, вспомнив формулу Ферреля, можно ориентировочно сказать, что в этом районе высота облачности должна колебаться в пределах 200–250 м. Вот для чего нужны эти формулы.

Прогноз высоты нижней границы облачности по методу Е.И. Гоголевой.

Данные о фактической температуре воздуха у земли  $T$  и прогностических значениях температуры точки росы  $T'_d$  использованы Е.И. Гоголевой при построении графика для прогноза низкой облачности (рис. 9.9).

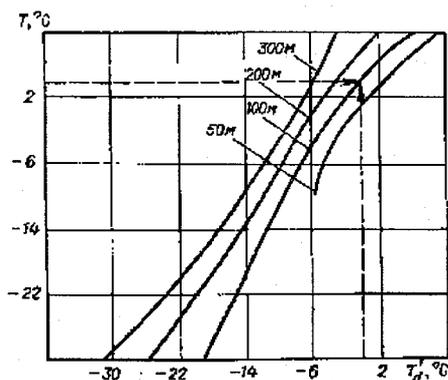


Рис. 9.9. График для прогноза высоты нижней границы облаков (по методу Е.И. Гоголевой).

На графике по вертикальной оси откладывается температура воздуха  $T$ , а по горизонтальной – прогностическая температура точки росы  $T'_d$ . Наклонные линии разделяют области с преобладанием облаков указанных пределов. Этот метод целесообразно применять при медленно меняющейся синоптической обстановке и достаточно хорошо выраженном переносе воздушных масс. Опти-

мальный срок прогноза по этому методу 9 ч, однако, при необходимости с помощью метода Е.И. Гоголевой можно разрабатывать прогнозы с заблаговременностью до 12 ч.

К.Г. Абрамович получены дополнительные критерии прогноза низкой облачности. Если адвективные изменения температуры воздуха превышают  $4^{\circ}\text{C}/12$  ч, то при адвекции тепла наблюдается понижение облачности, а при адвекции холода – повышение. Если же адвективные изменения температуры больше или равны  $6^{\circ}\text{C}/12$  ч, то при адвекции тепла имеет место образование или резкое понижение облачности, а при адвекции холода – повышение или растекание облаков. Оправдываемость этих прогнозов для ЕЧР составляет в среднем 70–80%. На основе метода Е.И. Гоголевой разработаны и другие способы прогноза облачности, предикторами для которых являются другие параметры.

Так, например, для прогноза высоты нижней границы облаков на срок до 12 ч можно рекомендовать график, представленный на рис. 9.10.

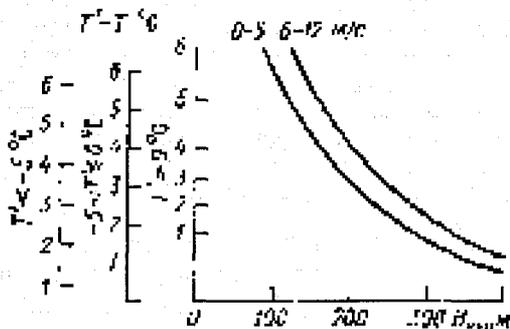


Рис. 9.10. График для прогноза минимальной высоты нижней границы облаков.

На графике по вертикальным осям откладывается адвективное повышение температуры у земли ( $T' - T$ ) за срок прогноза, наклонные линии учитывают прогностическое значение ветра у земли, а значение высоты нижней границы облаков отсчитывается по горизонтальной оси.

Наличие трех вертикальных шкал позволяет учесть влияние температуры на высоту облачности. Первая шкала используется при значениях  $T' < -5^{\circ}\text{C}$ , вторая – при  $-5^{\circ}\text{C} < T' \leq 0^{\circ}\text{C}$  и третья – при  $T' > 0^{\circ}\text{C}$ .

Для оценки возможности возникновения облачности высотой 300 м и ниже в зимний период можно использовать график, представленный на рис. 9.11.

Здесь по горизонтальной оси отложена фактическая температура воздуха у земли  $T$ , а по вертикальной оси – величина ожидаемого потепления  $\Delta T$ . Разграничительные линии делят всю площадь графика на две зоны. Если точка с исходными значениями  $T$  и  $\Delta T$  попадает в зону «Облака», то в прогнозе следует указывать низкую облачность, если не попадет – указывается отсутствие низких облаков.

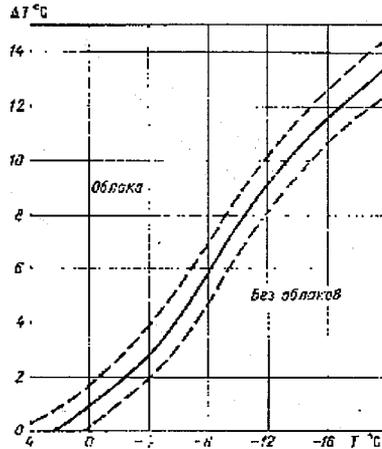


Рис. 9.11. График для прогноза облачности высотой 300 м и ниже при адвекции тепла в зимний период.

Прогноз высоты нижней границы облачности по методу ГАМЦ.

Сотрудниками ГАМЦ разработаны методы прогноза нижней границы облачности, основанные на данных об адвективных изменениях температуры и точки росы. Эти методы сведены к использованию графиков, представленных на рис. 9.12 и 9.13.

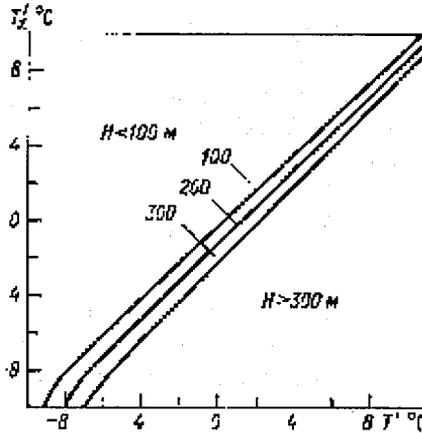


Рис. 9.12. График для прогноза высоты нижней границы облаков по прогностическим значениям температуры  $T'$  и температуры точки росы  $T'_d$ .

Рисунок 9.12 позволяет оценить высоту нижней границы облачности по прогностическим значениям температуры  $T'$  и температуры точки росы  $T'_d$ , а рис. 9.13 – изменение высоты облачности в зависимости от адвективных изменений температуры  $\Delta T$  и температуры точки росы  $\Delta T_d$ . Указанные графики дают удовлетворительные результаты при прогнозе облачности на срок от 6 до 12 ч.

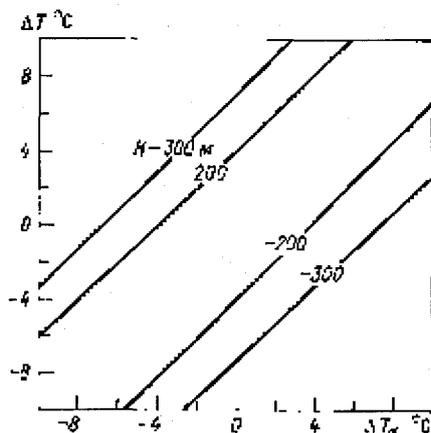


Рис. 9.13. График для оценки изменений высоты нижней границы облаков.

Очень часто за нижнюю границу низких облаков принимается уровень конденсации, для определения которого можно воспользоваться аэрологической диаграммой.

Высоту нижней границы облачности можно оценить и по ожидаемому характеру погоды синоптико-статистическим методом. Установлено, что для средних широт Европейской части России при осадках и дымке, ухудшающих видимость до 4 км, высота нижней границы облачности обычно не превышает 100–200 м; при видимости 1,5–4,0 км высота облачности колеблется в пределах 60–100 м, а при видимости менее 1,5 км – 30–60 м.

Прогноз облачности ниже 400 м в Красноярске. В практике метеорологического обеспечения полетов в Красноярске для оценки эволюции облачности ниже 400 м используется формула (9.7)

$$\Delta p = \sum_{i=1}^4 p_i - 4p_0, \quad (9.7)$$

где  $p_0$  – атмосферное давление в пункте прогноза (Красноярске), снятое с кольцевой карты погоды;  $p_i$  – атмосферное давление в пунктах, отстоящих от Красноярска на север, юг, восток и запад на 150 км, и снятое с той же кольцевой карты погоды. Для Красноярска это пункты Енисейск, Абакан, Канск и Ачинск соответственно.

Если в районе аэродрома наблюдается облачность высотой 400 м и ниже и по расчетам оказывается, что  $\Delta p < 0$ , то в ближайшие 3–6 ч следует ожидать понижение облачности. В тех случаях, когда  $\Delta p > 0$ , облачность будет повышаться.

*Это важно, но не очень интересно:*

Возможно, уважаемый читатель, вы заметили, то на некоторых рисунках на осях не подписаны значения величин на осях. Это сделано не по забывчивости авторов. Дело в том, что при прогнозе высоты нижней границы облаков на каждом аэродроме будет *свой* график, при *своих* значениях метеорологических величин будет наблюдаться облачность определенной высоты. В принципе оси можно было вообще не подписывать ни на одном

графике. Мы предлагаем вам только *подход* к решению проблемы, а уж строить графики по данным наблюдений на своем (вашем) аэродроме – это ваша работа.

Интересен также график для прогноза низкой облачности, предложенный З.А. Спарышкиной (рис. 9.14). Он позволяет по значениям температуры  $T_0'$  и температуры точки росы  $T_{до}$  в начале траектории переноса определить возможность возникновения облачности высотой до 100 м. Оптимальная заблаговременность при использовании данного метода 6–9 ч.

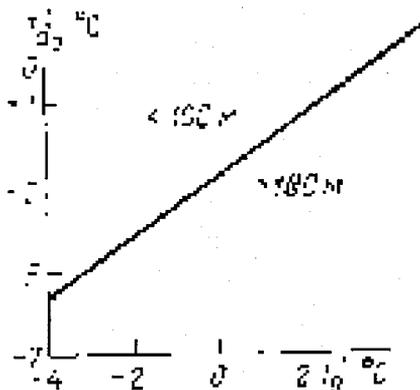


Рис. 9.14. График З.А. Спарышкиной для прогноза облачности высотой до 100 м.

Для определения возможности перехода низкой облачности в туман в ближайшие 6 ч в зимний период в Ашхабаде используется график, приведенный на рис. 9.15. По горизонтальной оси этого графика откладывается значение барической тенденции в Ашхабаде ( $\Delta p$ ), а по вертикальной – разница высот поверхности 850 гПа в Ашхабаде и Ташаузе по данным последнего зондирования атмосферы ( $\Delta H$ ).

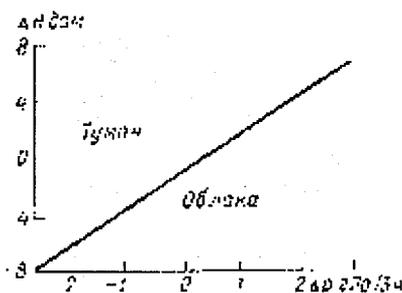


Рис. 9.15. График для определения возможности перехода низкой облачности в туман, используемый в Ашхабаде.

Об этом методе автору рассказала синоптик АМСГ Ашхабад О.М. Стряпина.

Несколько своеобразный, и поэтому интересный, метод прогноза высоты нижней границы облаков используется в Бухаре (рис. 9.16). Исходными данными для прогноза высоты облаков являются только фактические, а не прогно-

стические величины. Такими величинами являются барическая тенденция  $\Delta p$  и дефицит температуры точки росы у земли ( $T - T_d$ ). В зависимости от исходных данных прогнозируется высота нижней границы облаков на срок до 6–9 ч.

На северо-востоке страны, в аэропорту Черский, для прогноза облачности высотой 300 м и ниже на срок до 6 ч используется график, предложенный на рис. 9.17. Здесь по горизонтальной оси откладывается дефицит температуры точки росы у земли, а по вертикали – эта же величина, вычисленная по значениям температуры и точки росы нижней особой точки данных температурно-ветрового зондирования атмосферы (в аэропорту Черский есть своя аэрологическая станция, поэтому проблем с данными зондирования не существует). Зона низкой облачности на рисунке заштрихована.

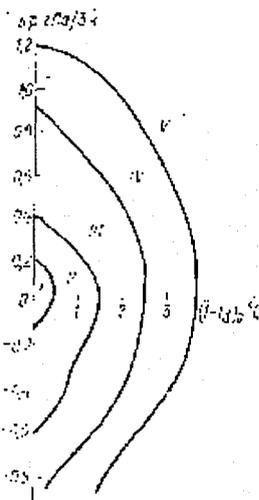


Рис. 9.16. График для прогноза высоты облаков, используемый в Бухаре.

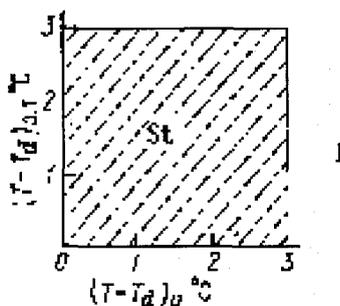


Рис. 9.17. График для прогноза облачности ниже 300 м, используемый в аэропорту Черский.

Об этом методе автору рассказала синоптик АМСГ Черский Л.В. Авдеева. Для использования графиков и формул, приведенных в этом разделе, целесообразно уточнить их для каждого аэродрома по данным наблюдений в этом пункте и внести в них соответствующие коррективы.

В самом общем виде можно сказать, что *облака будут понижаться, если:*

- есть восходящие движения воздуха,
- есть адвекция теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность,
- происходит увеличение влажности воздуха,
- происходит падение давления,
- происходит приближение атмосферного фронта.

*Облака будут повышаться, если:*

- есть нисходящие движения воздуха,
- наблюдается сильный ветер у земли,
- наблюдается адвекция холода в нижнем слое атмосферы,
- наблюдается рост давления,
- происходит удаление атмосферных фронтов от пункта прогноза или размывание фронтальных разделов.

Определенную трудность представляет и измерение высоты нижней границы облаков нижнего яруса. Дело в том, что, с одной стороны, нижняя граница облаков имеет сложную структуру. Она представляет собой слой переменной оптической плотности от легкого помутнения до полной потери вертикальной видимости. Плотной части облака предшествует подоблачный слой, который подразделяется на две части (рис. 9.18).

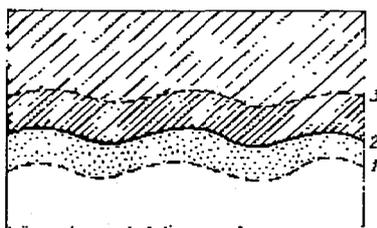


Рис. 9.18. Схема структуры нижней границы облаков:

1 – уровень конденсации; 2 – нижняя граница облаков;

3 – верхняя граница подоблачного слоя; 1–2 – слой дымки; 2–3 – переходный слой.

Исследованиями установлено, что нижняя граница облаков высотой 200 м и менее в течение 3–5 мин может изменить свою высоту примерно на 50%.

С другой стороны, результаты измерений высоты нижней границы облаков существенно зависят от способа ее измерения. Так, например, если за нижнюю границу облачности принимать высоту, на которой наблюдается потеря горизонта в полете или потеря вертикальной видимости, то разница в оценке высоты нижней границы облаков в среднем будет составлять 120 м. При определении высоты нижней границы облаков с помощью измерителя высоты облаков (ИВО) результаты оказываются завышенными примерно на 70 м по сравнению с уровнем потери горизонта. Эта ошибка увеличивается при измерении высоты облачности шаропилотным методом и составляет 80 м в случае, когда «шар-пилот туманится», и 100 м в момент, когда фиксируется, что «шар-пилот скрылся».

Много неприятностей в прямом и переносном смысле слова доставляет синоптикам и летному составу так называемая *облачная пелена*. Это очень тонкий слой слоистообразной облачности, наблюдающийся на высотах 50–250 м. Эта пелена наблюдается только зимой в северных районах. Иногда облачную

пелену можно зафиксировать с помощью ИВО (РВО-2) как обычную низкую облачность. С земли пелена, как правило, не обнаруживается. Облачную пелену можно определить также с борта воздушного судна. Иногда в облачной пелене наблюдается сильное обледенение.

К сожалению, методов прогноза облачной пелены пока нет. Сейчас собирается, но еще не обработан исходный ряд данных с синоптическими условиями возникновения облачной пелены, а исследования Н.И. Колпинова не очень помогли в решении этой задачи. Пока можно только с уверенностью сказать, что облачная пелена образуется при достаточно глубокой инверсии температуры в нижнем слое атмосферы, ветре у земли со скоростью 5–8 м/с, небольшом дефиците температуры точки росы у земли и температуре воздуха у земли – 15°C и ниже.

Вопросы, связанные с прогнозом облачной пелены являются предметом дальнейшего исследования.

Прогноз высоты верхней границы облаков. Высота верхней границы облаков значительно меньше влияет на безопасность полетов по сравнению с высотой нижней границы облачности. Однако вертикальная мощность облачных слоев оказывает существенное влияние на условия выполнения полетного задания.

Диагноз и прогноз высоты верхней границы облачности с достаточной степенью точности может быть дан только при наличии информации от экипажей воздушных судов, находящихся в воздухе. Все косвенные методы прогноза позволяют получить только приближенное значение высоты верхней границы облаков, которое все-таки следует использовать в оперативной практике.

При отсутствии сведений от пролетающих экипажей диагноз и прогноз верхней границы облаков сводится, как правило, к анализу аэрологической диаграммы. Верхняя граница облачности отмечается на том уровне, на котором происходит резкое или заметное уменьшение относительной влажности воздуха. На аэрологической диаграмме этот уровень можно определить по удалению кривой точек росы от кривой стратификации или по резкому отклонению влево кривой дефицитов влажности.

Приблизительно оценить высоту верхней границы облаков можно по данным о средней вертикальной мощности различных облачных систем. Для центральных районов ЕЧР А.М. Барановым получены данные о толщине облачности различных форм. Эти данные приведены в табл. 9.3.

Кроме того, для определения высоты верхней границы облачности можно использовать ряд эмпирических формул. Так, например, для расчета высоты верхней границы слоисто-кучевых облаков рекомендуется формула

$$H_b = 2(H_n + 100), \quad (9.8)$$

где  $H_n$  – высота нижней границы облаков, м.

Для расчета высоты верхней границы облаков на теплых фронтах можно использовать формулу

$$H_b = L/100 + 1, \quad (9.9)$$

где  $H_b$  – верхняя граница облачности, км;  $L$  – ширина зоны осадков на данном участке фронта, км.

**СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ  
РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ**

Форма облаков	Толщина облаков, км
Слоистые и слоисто-кучевые	0,5–0,7
Слоистые и слоисто-дождевые зимой в теплом секторе	2–3
Слоисто-кучевые из кучево-дождевых	2–3
Слоисто-дождевые при размывании фронтов	2–3
Высоко-слоистые и слоисто-дождевые на активных фронтах	5–8
То же на размывающихся фронтах	1–2
Высоко-кучевые	1–3
Кучево-дождевые	до 9–11
Перистые	до 1–3

Приведенные методы прогноза высоты верхней границы облачности достаточно просты и не требуют много времени для получения результатов прогнозирования. Однако незначительное (по сравнению с нижней границей облачности) влияние высоты верхней границы облаков на безопасность полетов позволяют успешно использовать их в практике метеорологического обеспечения авиации.

### 9.9.2. Прогноз туманов

В отличие от низкой облачности, высота которой интересует только авиацию, да, пожалуй, еще работников высотных мачт и антенн, у прогноза туманов потребителей значительно больше. Во-первых, это все виды транспорта, начиная от авиации и кончая железнодорожным, несмотря на то, что поезда идут по рельсам, и вроде бы туман им мешать не должен. Во-вторых, это строители, для которых туман, особенно сильный, ограничивает возможность проведения строительно-монтажных работ. В-третьих, туман оказывает сильное негативное воздействие на самочувствие многих людей с различными заболеваниями.

Если вспомнить, что туманом называется такое метеорологическое явление, при котором за счет конденсации водяного пара в нижнем слое атмосферы видимость уменьшается до значений менее 1000 м, то становится очевидным, что процессы в атмосфере сначала должны привести к тому, что воздух у земли станет насыщенным. Затем должна начаться конденсация водяного пара и ухудшение видимости, приводящее к возникновению тумана. Процессов, приводящих к возникновению тумана несколько. Основными из них являются радиационное выхолаживание воздуха, и как следствие – возникновение *радиационного тумана*. Вторым по значимости можно считать процесс, при котором теплый и влажный воздух начинает поступать на холодную подстилающую поверхность. Над холодной поверхностью воздух охлаждается, водяной пар начинает конденсироваться, и в результате образуется *адвективный туман*. Кроме этих туманов, которые составляют 75% от общего числа туманов, наблюдаются еще и *морозные туманы* (туманы при значительных отрицательных температурах воздуха), *фронтальные туманы*, а также *туманы испарения и смешения*. Физические причины возникновения этих туманов достаточно хорошо известны из курса общей метеорологии.

В зависимости от степени ухудшения видимости туманы подразделяются на слабые (видимость 500–1000 м), умеренные (видимость 200–500 м), сильные (видимость 50–200 м) и очень сильные (видимость менее 50 м). По своей вертикальной мощности ( $\Delta H$ ) туманы подразделяются на поземные ( $\Delta H < 2$  м), низкие ( $2 < \Delta H < 10$  м), средние ( $10 < \Delta H < 100$  м) и высокие ( $\Delta H > 100$  м).

Совершенно очевидно, что чем меньше видимость в тумане и чем больше его вертикальная мощность, тем более негативное воздействие он оказывает на различные отрасли народного хозяйства, в большей или меньшей степени зависящие от тумана.

Прогноз тумана сводится, в принципе, к прогнозу двух температур: температуры туманообразования ( $T_T$ ), минимальной температуры воздуха ( $T_{\text{мин}}$ ) и их сравнению. В тех случаях, когда температура туманообразования оказывается выше минимальной температуры, в прогнозах погоды нужно указывать туман. Следовательно, если

$$T_T > T_{\text{мин}} \rightarrow \equiv. \quad (9.10)$$

*Это интересно:*

Однажды в наших газетах было промелькнуло сообщение, что во Франции во время тумана произошло дорожно-транспортное происшествие. Водители обеих машин в тяжелом состоянии были доставлены в больницу. Машины не пострадали... Так как такая ситуация не очень понятна, то далее следовало разъяснение. На дороге был очень сильный туман с очень плохой видимостью. Водители обеих машин, чтобы лучше видеть дорогу, опустили боковые стекла и высунулись из окон своих машин. В результате в буквальном смысле слова произошло «лобовое столкновение» водителей, а машины остались целы.

Прогноз радиационных туманов. Радиационный туман образуется над сушей при безоблачном небе и слабом ветре в результате охлаждения воздуха, когда его температура становится ниже температуры туманообразования.

Наиболее часто благоприятные условия для возникновения радиационных туманов создаются в антициклонах, их отрогах, барических гребнях и седловинах, реже и главным образом летом – в поле пониженного давления с небольшими барическими градиентами.

Радиационный туман в большинстве случаев возникает при штиле или слабом ветре со скоростью до 3 м/с. Для образования тумана благоприятно слабое увеличение скорости ветра с высотой. Такие условия способствуют турбулентному переносу продуктов конденсации от земной поверхности вверх и их поддержанию во взвешенном состоянии в приземном слое воздуха. В процессе перемешивания толщина слоя тумана увеличивается. Если воздух совершенно неподвижен, то перенос влаги обусловлен только молекулярными процессами, и туман может не возникнуть.

Вертикальная мощность радиационных туманов обычно не превышает 200–300 м. Радиационный туман, как правило, образуется в приземном подынверсионном слое.

Таким образом, при прогнозе радиационных туманов необходимо учитывать продолжительность ночного выхолаживания, характер облачного покрова (прогноз), скорость и направление ветра (прогноз), исходные значения температуры и влажности воздуха, характер и стратификацию воздушной массы.

Исследователями-прогнозистами разработано много (как и для прогноза низкой облачности) различных методов прогноза туманов. Такое многообразие методов обусловлено не только важностью правильной оценки возможности возникновения тумана, но и существенной зависимостью туманов и их появления от местных условий. Так как о прогнозе минимальной температуры мы говорили чуть раньше, то основное внимание здесь будет уделено прогнозу температуры туманообразования. Ну а сравнение ее с минимальной температурой никакой сложности не представляет.

*Прогноз туманов по методу Н.В. Петренко.* Н.В. Петренко предложил определять температуру туманообразования по формуле

$$T_{\tau} = T_d - \Delta T_d, \quad (9.11)$$

где  $T_d$  – температура точки росы в срок, близкий к заходу солнца;  $\Delta T_d$  – возможное понижение температуры точки росы в течение ночи от начального срока до момента образования тумана.

Величина  $\Delta T_d$  зависит в основном от температуры точки росы в исходный срок и определяется по табл. 9.4.

Таблица 9.4

**СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ  $\Delta T_d$  В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ В ИСХОДНЫЙ СРОК**

$T_d, ^\circ\text{C}$	20 ÷ 11	10 ÷ 0	-1 ÷ -10	-11 ÷ -20	-21 ÷ -30
$\Delta T_d, ^\circ\text{C}$	1,4	1,6	2,0	2,5	2,3

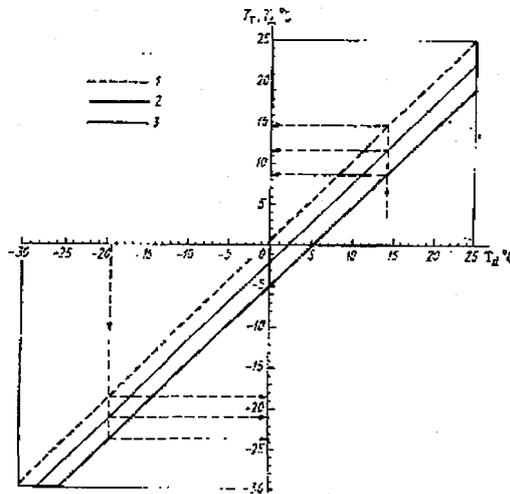


Рис. 9.19. График для прогноза радиационного тумана по методу Н.В. Петренко:  
1 – линия дымки, 2 – линия слабого тумана, 3 – линия сильного тумана.

Как видно из формулы (9.11) и из таблицы, определить температуру туманообразования не составляет большого труда. Тем не менее, на практике часто делают еще проще: при положительных значениях  $T_d$  от этого значения вычитают 1 °С, а при отрицательных значениях 2 °С. Более того, Петренко предложил график для определения температуры туманообразования (рис. 9.19). На этом графике по горизонтальной оси отложена температура точки росы, а по

вертикальной – температура образования тумана или температура образования дымки ( $T_d$ ). Проведенные на графике наклонные линии позволяют определить искомую величину.

Графический метод Петренко дает положительные результаты при однородности воздушной массы, когда на ее влагосодержание не влияет испарение с подстилающей поверхности или осадки.

*Это интересно:*

Пожалуй, не было смысла строить график для того, чтобы от значения температуры точки росы вычесть один или два градуса. Это просто сделать и без графика, и без калькулятора. Однако, график все-таки нужен. Для чего?! Этот график больше нужен для того, чтобы при нахождении температуры туманообразования каким-либо другим способом можно было по этому графику определить: будет ли туман, и если будет, то какой интенсивности. Для этого только нужно от значений, снятых с осей графика, сместиться на его площадь. Ведь зоне выше линии 1 соответствует отсутствие тумана, зоне между линиями 1–2 соответствует дымка, зоне между линиями 2–3 – слабый или умеренный туман и ниже линии 3 – сильный туман. Таким образом, по методу Н.В. Петренко можно не только прогнозировать туман, но и видимость в нем, что очень важно.

Кроме того, на некоторых аэродромах, учитывая местные особенности возникновения тумана, на графике Н.В. Петренко выше линии 1 проводят еще одну линию. Так, например, сделано в Днепропетровске. В этом городе в 6 км от ВПП находится городская свалка. В тех случаях, когда «свалка горит», а направление ветра такое, что дым со свалки распространяется на аэродром, туман может возникнуть при более высокой температуре, чем температура туманообразования. Это вполне естественно, так как вместе с дымом на аэродром приходит громадное количество ядер конденсации, которые и провоцируют возникновение тумана. Вот поэтому синоптику на АМСГ Днепропетровск при прогнозе тумана, образно говоря, нужно сначала посмотреть горит ли свалка, потом на месте оценить, в какую сторону от свалки идет дым, а уже потом решать, по какой линии графика (первой, второй, третьей или «дымовой») определять температуру туманообразования.

Прогноз туманов по методу Б.В. Кирюхина. Достаточно высокую оправдываемость определения температуры туманообразования имеет метод Б.В. Кирюхина. Им предложена номограмма, представленная на рис. 9.20. Эту номограмму условно можно разделить на две части от нулевого значения  $\Delta T$  по вертикальной оси.

По нижней части номограммы, используя фактические значения температуры и относительной влажности воздуха, определяется величина  $\Delta T_1$  – необходимое понижение температуры для достижения воздухом насыщения. По верхней части номограммы определяется величина  $\Delta T_2$  – дополнительное понижение температуры, необходимое для возникновения тумана определенной интенсивности.

Следовательно, общее понижение температуры, необходимое для возникновения тумана определенной интенсивности, будет равно

$$\Delta T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2, \quad (9.12)$$

а отсюда температура туманообразования

$$T_T = T - \Delta T_T. \quad (9.13)$$

Порядок пользования номограммой показан на рис. 9.20 и дополнительных пояснений не требует.

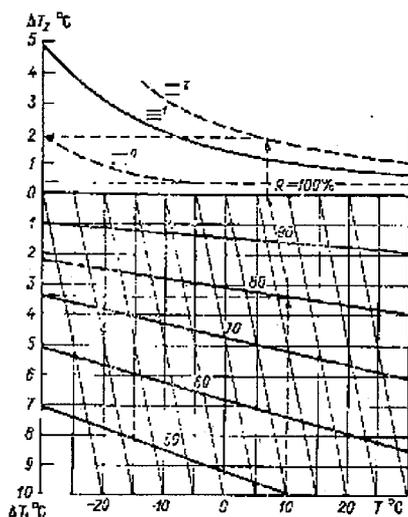


Рис. 9.20. Номограмма Б.В. Кирюхина для определения величины  $\Delta T_t$ .

Хочется обратить внимание на верхнюю часть этой номограммы. Дело в том, что кривые линии, проведенные на рисунке, соответствуют границе возникновения слабого, умеренного или сильного тумана, т.е. соответствуют видимости 1000, 500 или 200 м. Поэтому на каждом аэродроме вместо стандартных линий можно провести другие линии, которые будут соответствовать минимумам, установленным на вашем аэродроме (например, видимости 800 или 400 м). Таким образом, вы будете не только прогнозировать туман, но прогнозировать туман такой интенсивности, которая в какой-то мере влияет на деятельность вашего авиапредприятия. Эта же мысль справедлива и для других методов прогноза тумана, которые позволяют спрогнозировать видимость в них.

Кроме перечисленных методов прогноза радиационных туманов достаточно широкое распространение получили также методы А.С. Зверева, Д.Н. Лаврищева, оперативные методы прогноза радиационных туманов и др.

Успешность прогноза радиационного тумана в значительной мере зависит от качества прогноза облачности, ветра, минимальной температуры воздуха и учета местных физико-географических условий района.

Прогноз адвективных туманов. Адвективный туман следует ожидать в том случае, когда по прогнозу синоптического положения существуют условия для адвекции теплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность. Эти туманы могут наблюдаться в любое время суток. Адвективные туманы возникают, как правило, зимой или в переходные сезоны года при заметном потеплении.

При прогнозе адвективных туманов следует учитывать перемещение уже имеющихся зон тумана, адвективные изменения температуры и точки росы в приземном слое, возможность снижения облаков до поверхности земли, а также охлаждение воздуха в процессе ночного радиационного выхолаживания.

Общими условиями возникновения адвективных туманов являются:

– дефицит температуры точки росы у земли должен быть небольшим (при  $D_0 > 3^\circ\text{C}$  туманы, как правило, не возникают);

– скорость ветра у земли должна быть меньше 8 м/с (при большей скорости ветра происходит разрушение приземной инверсии и разрушение тумана).

Для прогноза адвективных туманов можно воспользоваться несколькими методами. Основные из них следующие.

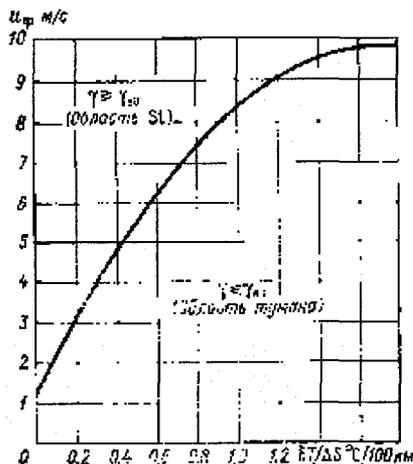


Рис. 9.21. График для прогноза адвективного тумана (по И.В. Кошеленко).

Метод И.В. Кошеленко. И.В. Кошеленко для прогноза адвективного тумана предложил график, представленный на рис. 9.21. По вертикальной оси на графике откладывается прогностическое значение скорости ветра на высоте флюгера, а по горизонтальной оси – горизонтальный градиент температуры, который определяется по картам погоды. Расстояние, а следовательно, и температуру воздуха с карт погоды необходимо определять в направлении, откуда переместится воздух в пункт прогноза. С помощью этого графика можно прогнозировать адвективный туман с заблаговременностью до 9 ч.

Если точка, соответствующая исходным данным, окажется ниже кривой на графике, то в прогнозе погоды следует указывать туман, а если выше – туман не прогнозируется.

Метод Н.В. Петренко. На рис. 9.22 представлен комплексный график Н.В. Петренко для прогноза адвективного тумана, который учитывает горизонтальный градиент температуры, дефицит точки росы в начале траектории и прогностическое значение скорости ветра у земли. Если обе точки на графиках *a* и *б*, построенные по исходным данным, попадут в область тумана, то в прогнозе следует указывать туман. Метод можно успешно использовать на практике при заблаговременности прогноза до 9 ч.

*Это интересно:*

Хочется, уважаемый читатель, обратить ваше внимание на два последних рисунка (9.21 и 9.22). Присмотритесь к ним повнимательнее. Если посмотрели, то, очевидно, увидели, что «нижняя половина» рис. 9.22 является точной копией рис. 9.21, только перевернутого «вверх ногами». Так иногда бывает, но автором метода, представленного

на рис. 9.21, является И.В. Кошеленко, а автором другого метода – Н.В. Петренко. Не будем говорить о приоритете, кто из них был первый, но, пожалуй, в своих работах друг на друга надо было бы ссылаться.

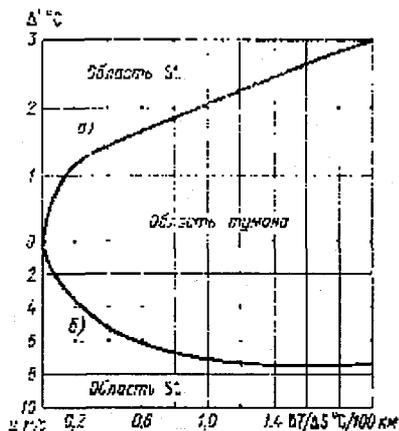


Рис. 9.22. Комплексный график для прогноза адвективного тумана (по методу Н.В. Петренко).

Метод А.А. Шадринной. А.А. Шадринная предложила график, который позволяет определить возможность возникновения тумана по адвективным изменениям температуры точки росы у земли или на уровне 850 гПа. Если точка пересечения температур  $T$  и  $T_d$  у земной поверхности окажется ниже сплошной линии или ниже пунктирной линии для данных на уровне 850 гПа (рис. 9.23), то в прогнозе следует указывать туман. Этот метод дает хорошие результаты при сроке прогноза до 9 ч.



Рис. 9.23. График для прогноза адвективного тумана (по методу А.А. Шадринной).

Возможность возникновения тумана можно определить также по еще достаточно большому количеству графиков и номограмм, предложенных различными авторами, однако это уже выходит за рамки нашего учебника.

Несколько «особняком» стоят методы прогноза адвективных туманов в прибрежных районах. Таких методов также несколько, и каждый из них ис-

пользуется в каком-либо приморском регионе от Балтики и Кавказа до Заполярья и Приморья. Это метод Л.А. Ключниковой, метод Напетваридзе и др.

Для определения времени рассеяния адвективных туманов необходимо знать следующее:

- адвективные туманы рассеиваются после прекращения адвекции тепла (поворота ветра);
- адвективные туманы рассеиваются при радиационном нагреве тумана после восхода солнца (обычный рост температуры);
- адвективные туманы рассеиваются при радиационном охлаждении тумана (традиционное понижение температуры верхней границы тумана за счет радиационного выхолаживания и как следствие – разрушение инверсии и рассеяние тумана). Однако при этом нужен хороший прогноз облачности на ночь;
- усиление приземного ветра до 8 м/с и более, что приводит к рассеянию тумана через 1–6 ч;
- рассеяние адвективных туманов происходит при уменьшении температуры точки росы за счет конденсации и сублимации водяного пара на поверхности почвы или снега (выпадение росы);
- рассеяние адвективных туманов происходит при выпадении осадков.

Рассеяние адвективного тумана может происходить в любое время суток, однако, чаще всего это происходит через 3–5 ч после восхода солнца. Иногда осенью туманы рассеиваются во второй половине дня, а зимой даже ночью.

*Прогноз туманов испарения и фронтальных туманов.* Над водной поверхностью, температура которой значительно выше температуры окружающего воздуха ( $T_{\text{в}} - T \geq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ), при относительной влажности воздуха  $R \geq 70\%$  возникают туманы испарения.

Туманы испарения образуются обычно над открытым морем в тылу циклонов за холодными фронтами, но они могут возникнуть и в глубине континентов над влажной почвой или заболоченными районами. Наиболее известный в России район, где зимой часто возникают туманы испарения, – северное побережье Кольского полуострова. Незамерзающий Кольский залив и традиционное Заполярье создают очень благоприятные условия для возникновения туманов испарения.

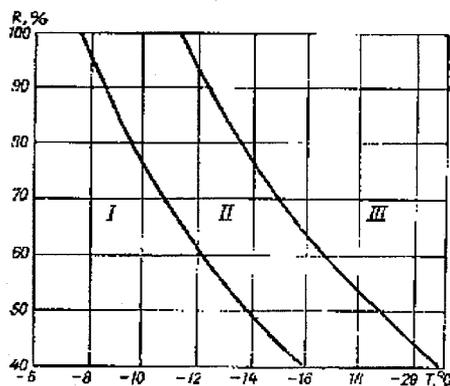


Рис. 9.24. График для прогноза туманов испарения.

Для прогноза туманов испарения можно воспользоваться графиком, предложенном на рис. 9.24. Здесь по горизонтальной оси откладывается температура воздуха, движущегося с суши на море, а по вертикальной оси – относительная влажность этого воздуха. Если точка, соответствующая параметрам воздушной массы, попадает в область I, то тумана ожидать не следует, а если в области II или III, то следует ожидать умеренный или густой туман соответственно.

Физически этот процесс объясняется очень просто. Более холодный воздух с поверхности суши, над водной, сравнительно теплой поверхностью, быстро достигает насыщения. Такие процессы наблюдаются не только зимой над арктическими морями, но и, особенно осенью, над реками и озерами суши.

Представляет интерес также прогноз *фронтальных туманов*. Как правило, фронтальные туманы образуются перед медленно смещающимися теплыми фронтами или за малоподвижными холодными фронтами в холодную половину года. Основной причиной образования этих туманов является испарение капель дождя или мороси, которое будет тем сильнее, чем больше разность температур на верхней границе фронтальной инверсии и у земной поверхности ( $T_{\text{инв}} - T$ ).

Физический смысл возникновения фронтальных туманов заключается в следующем. Капли осадков (дождя или мороси) выпадают из более теплого воздуха и попадают на землю в тот район, где еще находится холодный воздух. Здесь они быстро испаряются, воздух достигает насыщения, и образуется фронтальный туман. Обычно эти туманы возникают в тех случаях, когда наклон фронтальной поверхности не превышает 1/300, и на стационарных фронтах туманы чаще возникают ночью.

При прогнозе фронтальных туманов синоптическим методом необходимо помнить, что для появления тумана нужно, чтобы одновременно выполнялись следующие условия:

- температура на верхней границе фронтальной инверсии должна быть больше 0 °С;
- разность температур на верхней границе инверсии и у земли должна быть больше или равна 3 °С;
- дефицит температуры точки росы в холодном воздухе у земли вне зоны осадков не должен превышать 2 °С;
- скорость ветра у земли в холодном воздухе не должна быть больше 6 м/с.

Время образования и рассеяния тумана можно определить по скорости смещения атмосферного фронта, а следовательно, и по скорости смещения фронтального тумана. Если же фронтальный туман образуется вновь, то происходит это обычно через 0,5–1,0 ч после прохождения фронта.

В научной литературе для прогноза фронтальных туманов предлагается использовать дискриминантную функцию, которая имеет вид:

$$L = T_{\text{инв}} - T_0 - (7,78 \cdot 10^{-2} D_{0, \text{хол}}^2 + 0,67 D_{0, \text{хол}}), \quad (9.14)$$

где  $D_{0, \text{хол}}$  – дефицит температуры точки росы в холодном воздухе.

Если при расчетах получается, что  $L \geq 0$ , то в прогнозе следует указывать туман. Если же  $L < 0$ , то тумана ожидать не следует. Все верно, но справедливости ради нужно отметить, что до тех пор, пока прогностические станции не

будут полностью укомплектованы вычислительной техникой, пока синоптики этих станций в большинстве своем не станут хорошими пользователями персональных ЭВМ, очень трудно рассчитывать на то, что дискриминантные функции найдут практическое применение.

Дополнительно для оценки времени рассеяния фронтальных туманов необходимо учитывать изменение синоптической обстановки, характера адвекции, турбулентного обмена и обязательно местные признаки возникновения туманов.

*Прогноз туманов при отрицательной температуре воздуха.* При низких температурах воздуха ( $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже) на аэродромах и в населенных пунктах могут образовываться туманы, которые обычно называют морозными или ледяными. Эти туманы возникают за счет смешения холодного атмосферного воздуха с теплым и влажным воздухом выхлопных и топочных газов. При определенных условиях смешения воздух может достичь состояния насыщения, что вызывает конденсацию или сублимацию водяного пара.

Этот вид тумана следует ожидать в населенных пунктах при развитии антициклона или его отрога, в котором создаются условия для застоя и сильного выхолаживания воздуха.

При слабом ветре и наличии инверсии в приземном слое продукты сгорания топлива не рассеиваются по большой площади. Если относительная влажность в окружающем воздухе выше некоторого критического для данной температуры значения, то возникает пересыщение воздуха по отношению ко льду, зародышевые капли воды замерзают и быстро растут, что и приводит к образованию ледяного тумана.

Критическая температура насыщения воздуха  $T_{кр}$  при давлении у земной поверхности 1000 гПа определяется следующими значениями относительной влажности  $R$  (по отношению к воде):

$R$ , % ...	100	90	60	0
$T_{кр}$ , $^{\circ}\text{C}$ ...	-29	-33	-36	-39

При температуре ниже  $-39^{\circ}\text{C}$  зародышевые капли воды замерзают независимо от влажности воздуха и продолжают расти за счет влаги атмосферного воздуха или влаги продуктов сгорания топлива. Поэтому при температуре ниже  $-39^{\circ}\text{C}$  наблюдается только ледяной туман.

Если температура окружающего воздуха выше критической, то капельки воды не замерзают и в связи с недосыщением относительно воды испаряются. Это приводит к испарению капель без образования тумана.

В Якутии для прогноза морозных туманов используется и синоптико-статистический метод. Об этом автору рассказала инженер-синоптик АМСГ Якутск Л.Е. Жаркова. Все синоптические ситуации, при которых возникают морозные туманы, отнесены к одной из пяти групп. Для каждой группы в зависимости от фактической (ожидаемой) температуры воздуха по специальному графику можно определить наиболее вероятное значение видимости, а следовательно, и спрогнозировать возможность возникновения тумана.

Вопросы, связанные с определением видимости, будут рассмотрены ниже.

*Это интересно:*

Количество водяного пара, поступающего в атмосферу, зависит от количества и вида сжигаемого топлива. Так, при сжигании (сгорании) 1 кг природного газа (метана) в атмосферу поступает 2160 г водяного пара, 1305 г бензина, 632 г дров, 458 г бурого угля, 60 г кокса. При очень низких температурах для образования тумана требуется поступление в атмосферу сравнительно небольшого количества водяного пара. При таких ситуациях туман может возникнуть на ВПП после взлета или посадки самолета, а также при работе на аэродроме автомобильного транспорта. Иногда можно видеть редкую картину: по ВПП идет машина и чистит полосу, а за ней тянется шлейф тумана.

В некоторых районах Якутии прогнозируют только температуру воздуха, но синоптики твердо знают, что если температура опустится ниже определенного (для каждого аэродрома своего) значения, то туман обязательно будет.

### 9.9.3. Прогноз видимости

Прогноз видимости в дымках и туманах. Видимость в дымках и туманах изменяется в значительных пределах и зависит от количества и размеров взвешенных частиц, находящихся в единице объема, т.е. от водности тумана. Если предположить, что туман состоит из капель одного размера радиусом  $r$ , то видимость в тумане можно определить по формуле

$$S_m = 2,3 \cdot 10^4 r / q, \quad (9.15)$$

где  $r$  – радиус капель, см;  $q$  – водность тумана, г/см<sup>3</sup>.

Из формулы видно, что при одинаковой водности видимость будет меньше при наличии капель меньшего размера. Если в формулу (9.15) подставить среднее значение радиуса капель в тумане, равное  $5 \cdot 10^{-4}$  см, то это выражение примет вид

$$S_m = 11,5 / q. \quad (9.16)$$

Установлено, что чем выше начальная температура точки росы вечером и чем больше ее понижение ночью при охлаждении приземного слоя воздуха, тем меньше видимость в тумане при прочих равных условиях. Этим выводом можно руководствоваться при прогнозе видимости в туманах охлаждения, особенно в радиационных и адвективно-радиационных туманах.

Для прогноза видимости в тумане можно воспользоваться еще одной полуэмпирической формулой:

$$S_m = 60 / q^{-0,5}, \quad (9.17)$$

где  $q$  – водность тумана, г/м<sup>3</sup>. Ну а водность тумана можно, в свою очередь, определить по другой формуле:

$$q = 3 \cdot 10^{-4} (T_T)^2 + 1,2 \cdot 10^{-2} (T_T) + 0,14, \quad (9.18)$$

где  $T_T$  – температура туманообразования, °С.

Следовательно, определив температуру туманообразования, а без этого прогноз тумана невозможен, по двум последним формулам, достаточно просто определить видимость в тумане. Это далеко не единственный способ определения видимости в дымках и туманах.

В реальных условиях видимость в тумане может значительно отличаться от той величины, которую мы получили, используя тот или иной метод прогно-

за. Эти различия обусловлены, с одной стороны, неточностью измерения и прогноза температуры и температуры точки росы, а с другой – плохим учетом местных особенностей и реально происходящих процессов. Ведь известно, что при выпадении теплого дождя воздушная масса дополнительно увлажняется, а следовательно, видимость будет меньше той, которую мы указывали в прогнозе. И наоборот, если выпала роса, то из атмосферы исчезло какое-то количество влаги, следовательно, фактическая видимость будет больше той, на которую мы рассчитывали в прогнозе. Так что учет происходящих в атмосфере процессов и местных особенностей возникновения любых опасных явлений погоды обязателен для каждого синоптика.

Представляет практический интерес и изменение видимости в тумане с высотой. В адвективных и фронтальных туманах, как и в слоистой облачности, водность увеличивается с высотой и достигает максимальных значений вблизи верхней границы. Как следует из выражения (9.15), горизонтальная видимость в этих туманах должна уменьшаться по мере увеличения высоты. В действительности же происходит незначительное уменьшение видимости, так как с увеличением высоты несколько увеличивается и размер капель.

В радиационном тумане наиболее плохая видимость наблюдается в самом нижнем слое воздуха.

В туманах охлаждения минимальная видимость должна наблюдаться (теоретически) в момент восхода солнца, т.е. в то время, когда температура воздуха минимальна. Однако из практики известно, что минимум температуры по отношению к моменту восхода солнца «запаздывает» на 1–2 ч, поэтому и минимум видимости приходится на то же самое время. В реальных условиях минимальная видимость может по разным причинам наблюдаться в период  $\pm 2-3$  ч от момента восхода солнца.

После восхода солнца по мере прогревания воздуха и усиления ветра у поверхности земли радиационный туман утрачивает устойчивость. Это влечет за собой колебания видимости с тенденцией к ее улучшению.

Следует иметь в виду, что в настоящее время для прогноза видимости в туманах чаще всего используется или синоптический метод, или какие-либо региональные графики, основанные на ряде наблюдений на каждой станции, т.е. физико-статистические методы прогноза.

Прогноз видимости в осадках. Совершенно очевидно, что видимость зависит от интенсивности осадков. Имея информацию об интенсивности дождя, видимость можно рассчитать по формуле

$$V_d = V_0 (I_d)^{-0,71}, \quad (9.19)$$

где  $V_0$  – видимость вне зоны осадков;  $I_d$  – интенсивность осадков, мм/ч.

В настоящее время, к сожалению, количественный прогноз осадков практически никогда не дается, поэтому следует иметь в виду, что обложные осадки в среднем ухудшают видимость до 4–6 км (редко до 1–2 км), а ливневые осадки – до 1–2 км (практически всегда, а иногда даже до нескольких сотен или десятков метров).

При выпадении снега, как и при выпадении дождя, видимость заметно ухудшается. Это ухудшение находится в прямой зависимости от интенсивно-

сти снегопада. Однако и при снегопадах прогноз видимости чаще всего разрабатывается синоптическим методом.

Сильный ветер является дополнительным фактором ухудшения видимости при снегопаде.

Существующие формулы для определения видимости при снегопаде обязательно учитывают его интенсивность и характер подстилающей поверхности. Расчеты по этим формулам носят локальный характер, и поэтому здесь не приводятся.

Прогноз видимости в метелях, пыльных и песчаных бурях и мгле. При прогнозе видимости в метелях необходимо учитывать вид метели и ее интенсивность, зависящую от скорости ветра и состояния снежного покрова.

Общая метель ухудшает видимость в большей степени, чем низовая метель или поземок, так как при этом наблюдается помимо переноса еще и выпадение снега.

Для прогноза метелей и видимости в них наиболее часто используется синоптический метод. Метели обычно зарождаются в восточной части циклона перед теплым фронтом или фронтом окклюзии. Сильные метели отмечаются на участках фронтальной зоны, расположенной между глубоким циклоном и высоким обширным антициклоном.

Чтобы разработать прогноз видимости в метелях нужно сначала разработать прогноз скорости ветра и прогноз интенсивности снегопада. В отдельных районах по достаточно длинному ряду наблюдений можно построить эмпирические графики зависимости видимости от скорости ветра при низовой метели и поземке.

Редко встречающимся явлением, а поэтому особенно трудным для прогнозирования, является так называемая *снежная или белая мгла*. Достаточно надежных методов прогноза этого явления пока нет. Можно только выделить определенные условия, при которых снежная мгла может образоваться. Во-первых, если при наличии снежного покрова небо застилают слоистые облака, а какие-либо наземные ориентиры отсутствуют, то при таких условиях исчезают яркие контрасты даже при сравнительно большой прозрачности атмосферы. Полет при такой обстановке называют «полетом в шарике от пинг-понга». Летчики с этим явлением сталкиваются в северных районах России и в Антарктиде.

Во-вторых, снежная мгла может наблюдаться при сравнительно низких температурах воздуха ( $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже), сильном ветре (12 м/с и более) и обязательной инверсии в приземном слое.

Метод прогноза видимости при снежной мгле по данным о температуре воздуха у земли и скорости ветра предложен Н.И. Колпиновым.

При *пыльных и песчаных бурях* ухудшение видимости может быть до нескольких сотен и даже десятков метров. Пыльные бури образуются обычно над южными районами, однако иногда они встречаются и в умеренных широтах, особенно в засушливое время. Из-за неразумного природопользования пыльные бури отмечаются даже в районах БАМа.

*Это интересно:*

Автору этих строк однажды в районе Семипалатинска (Казахстан) довелось в течение часа быть на улице при пыльной буре видимостью 100 м. После этого костюм навсегда изменил цвет, а на зубах песок хрустел еще целую неделю.

А вот еще одно интересное наблюдение. В пустынных районах жители заклеивают окна не на зиму, как в северных широтах, а на лето, чтобы в доме было меньше пыли. Однако, если заклеить окна и на месяц уехать в отпуск, то вернувшись домой обязательно обнаружите пыль на полу и на всей мебели толстый слой пыли. Откуда она взялась, если всё время было закрыто и заклеено – трудно сказать, но такое случается каждый раз.

Горизонтальная протяженность зон с пыльными бурями, как правило, не превышает несколько сотен километров, а их вертикальная мощность зависит от скорости ветра, степени турбулизации атмосферы и ее стратификации и колеблется от нескольких метров до нескольких сотен метров. Повторяемость пыльных бурь имеет хорошо выраженный суточный ход: в равнинных районах они чаще всего наблюдаются с 12 до 15 ч, а предгорных районах – с 14 до 18 ч местного времени. Минимум повторяемости пыльных бурь приходится на ночное время.

В принципе, прогноз пыльных бурь сводится к прогнозу сильного ветра с учетом состояния и характера подстилающей поверхности.

Пыльные бури могут наблюдаться при прохождении холодных фронтов, особенно холодных фронтов второго рода. Предфронтальное усиление ветра обычно становится заметным примерно за 200 км от приземной линии фронта, и при соответствующем состоянии подстилающей поверхности усиливающийся ветер за 100–150 км вызывает сначала пылевую поземку, а затем и пыльную бурю. Узкая полоса непосредственно перед самой линией фронта характеризуется наиболее сильными бурями, особенно если на фронте наблюдаются шквалы. За фронтом пыльные бури постепенно ослабевают и прекращаются.

Пыльные бури могут возникать и в однородной воздушной массе, в тех случаях, когда у поверхности земли создаются большие горизонтальные барические градиенты, обуславливающие сильные ветры, что чаще всего бывает на перифериях антициклонов.

Для прогноза видимости в пыльных бурях в разных регионах строят эмпирические графики зависимости видимости от скорости ветра или величины горизонтального барического градиента. Для успешного применения таких графиков необходимо использовать «свой» ряд наблюдений и строить их отдельно для различных сезонов года (хотя бы для теплого и холодного сезона).

Следует иметь в виду, что после окончания пыльной бури иногда возникает пыльная мгла. Она может ухудшать видимость до 1000 м и менее и сохраняться (висеть в воздухе) в течение 1,0–1,5 суток. Видимость в пыльной мгле и время ее сохранения зависят от характера подстилающей поверхности, скорости ветра, температуры воздуха и термической стратификации атмосферы.

Аналогично морозным туманам, пыльная мгла может образоваться при определенных условиях после взлета самолета с грунтового аэродрома и сохраняться несколько часов.

## Глава 10 ОБЛЕДЕНЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЕТЫ

### 10.1. Обледенение как опасное для авиации явление погоды

*Обледенением* называется отложение льда на обтекаемых частях самолетов и вертолетов, а также на силовых установках и внешних деталях специального оборудования при полете в облаках, тумане или мокром снеге. Обледенение возникает в том случае, если в воздухе на высоте полета имеются переохлажденные капли, а поверхность воздушного судна имеет отрицательную температуру.

Обледенение – одно из наиболее неблагоприятных метеорологических явлений, от которого в значительной мере зависит безопасность и регулярность полетов самолетов и вертолетов. Сильное обледенение может привести к авиационному происшествию. На регулярных авиалиниях стран – членов ИКАО неоднократно фиксировались аварии транспортных самолетов из-за обледенения при посадке в сложных метеорологических условиях. Поэтому совершенно очевидно, что проблема обледенения воздушных судов привлекает внимание специалистов самого различного профиля: от аэродинамики до метеорологии и эксплуатации авиационной техники.

Ухудшение летных качеств воздушных судов при полете в зоне обледенения зависит от интенсивности обледенения, количества отложившегося на поверхности самолета льда, формы ледяных отложений и структуры льда. Все перечисленные причины, в свою очередь, зависят от водности облака, фазового состояния и размера облачных частиц, температуры воздуха и температуры поверхности самолета, скорости полета и особенностей обтекания отдельных частей воздушного судна.

К обледенению самолетов могут привести следующие процессы:

- непосредственное оседание льда, снега или града на поверхности самолета;
- замерзание капель облака или дождя при соприкосновении с поверхностью воздушного судна;
- сублимация водяного пара на поверхности самолета.

Лед, сухой снег и град обычно сносятся потоком не вызывая обледенения. Оседание этих частиц наблюдается только при достаточно больших положительных значениях температуры поверхности самолета, когда частица успевает сначала расплавиться, а затем снова замерзнуть при столкновении на поверхности ВС с себе подобными.

Сублимация водяного пара имеет место в тех случаях, когда упругость водяного пара в воздухе превышает упругость насыщения пара над льдом. Это происходит при соприкосновении водяного пара (воздуха) с более холодными, чем воздух, частями самолета (при быстром снижении самолета из зоны холодного воздуха или при входе самолета в слой инверсии). При этом на поверхности самолета образуются кристаллы льда, которые быстро исчезают.

Замерзание переохлажденных капель на поверхности самолета – самый распространенный и самый опасный вид обледенения.

В результате отложения льда на поверхности ВС изменяются аэродинамические условия обтекания самолета воздушным потоком. При этом увеличивается масса самолета и нарушается равновесие аэродинамических сил. Отложение льда на внешних частях воздухозаборника уменьшает поступление воздуха в двигатель, тем самым уменьшая его мощность и тягу. Отложение льда на антеннах ухудшает радиосвязь, а лед, образовавшийся на остеклении кабины самолета, может исключить для экипажа возможность визуальной ориентировки. Неравномерный срыв кусков льда с обледеневшей поверхности самолета или вертолета и их попадание в двигатель или просто столкновение с поверхностью воздушного судна может вызвать поломку отдельных агрегатов и узлов и тем самым стать причиной летного происшествия или предпосылки к нему. Поэтому сильное обледенение и сейчас является одним из опасных для полетов метеорологических явлений.

Обледенению подвержены все типы воздушных судов, включая сверхзвуковые самолеты, так как при взлете и посадке любой сверхзвуковой самолет летит со сравнительно небольшой дозвуковой скоростью.

Для нас, специалистов в области метеорологии, важно знать, как обледенение влияет на полет, насколько оно опасно и как с ним бороться. Наша задача заключается в изучении метеорологических и синоптических условий обледенения и в разработке методов его диагноза и прогноза.

Этим вопросам и будет посвящены следующие разделы данной главы.

## **10.2. Классификация ледяных отложений, наблюдаемых в полете**

Отложения льда в полете зависят от микроструктуры облаков, температуры воздуха на эшелоне полета и режима полета. По своему характеру отложения льда могут быть в виде льда, изморози или инея.

Лед может быть прозрачным, матовым (полупрозрачным, смешанным) и белым (крупнообразным).

*Прозрачный лед* образуется, как правило, при полете в облаках, состоящих только из переохлажденных капель, или под облаками в зоне переохлажденного дождя при температурах от нуля до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Лед отлагается весьма интенсивно, преимущественно на передних кромках крыла и стабилизатора, на носовом коке самолета и воздухозаборнике. Образующийся лед гладкий плотно прилипает к поверхности самолета, удаляется с трудом. Обычно прозрачный лед незначительно искажает профиль несущих поверхностей самолета и мало опасен до тех пор, пока толщина льда небольшая. При значительной толщине такое отложение льда становится опасным.

### *Это интересно:*

Пожалуй, каждому из вас, уважаемый читатель, приходилось видеть зимой на асфальте раскатанные мальчишками так называемые катки и даже кататься на них. Каток можно увидеть на снегу, а иногда под таким катком просматривается асфальт. Это и есть как раз прозрачный лед. Увидеть его на земле значительно проще, чем на поверхности самолета. Физика образования одного и другого льда практически одинакова. Даже когда на асфальте начинает таять снег, и на тротуаре много воды, каток «держится» — так прочно он прилип к асфальту. Вот чем опасны такие катки на асфальте, вот чем опасен прозрачный лед на самолете.

*Матовый (полупрозрачный, смешанный) лед* возникает при полете в смешанных облаках, состоящих из большого количества мелких и крупных переохлажденных капель, а также из ледяных кристаллов и снежинок. Крупные капли растекаются и замерзают, а мелкие, сталкиваясь с самолетом, замерзают не растекаясь. Снежинки и кристаллы, прилипая к замерзающей водяной пленке, вмораживаются в нее и образуют ледяное отложение с матовой шероховатой поверхностью, резко ухудшающей аэродинамические характеристики самолета. Такое отложение возникает чаще всего при температуре воздуха от  $-6$  до  $-10$  °С и является наиболее тяжелым и опасным видом обледенения.

*Белый (крупнообразный) лед* возникает вследствие замерзания мелких капель при температуре ниже  $-10$ °С. Обледенение такого характера обычно наблюдается в облаках, состоящих из сравнительно однородных мелких капель. Образующийся белый пористый лед, неплотно прилипает к поверхности самолета. При продолжительном полете и увеличении плотности льда он может представлять серьезную опасность.

*Изморозь.* Изморозь представляет собой белое крупнозернистое кристаллическое отложение, образующееся при полете в облаках при температуре значительно ниже  $-10$  °С. Изморозь возникает при замерзании капель вместе с ледяными кристаллами. Она имеет неровный шероховатый вид, прочно прилипает к поверхности самолета и сдувается воздушным потоком.

*Иней.* Иней представляет собой белый мелкокристаллический налет, возникающий в результате сублимации водяного пара. При вибрации самолета он легко отделяется от его поверхности и обычно не создает трудностей для полета. Опасность представляет только отложение инея на остеклении кабины, что создает определенные трудности при визуальном обзоре и как следствие – при управлении самолетом.

Ледяные отложения, встречающиеся в полете, можно также классифицировать по форме отложения льда на поверхности воздушного судна. При классификации ледяных отложений по этому признаку можно выделить следующие виды обледенения:

– *профильное отложение льда.* Этот вид обледенения чаще всего наблюдается в облаках с небольшой водностью при температуре воздуха ниже  $-20$  °С. Отложение льда по форме повторяет профиль (форму) той части воздушного судна, на которой этот лед отложился. Такой лед держится на поверхности очень прочно, но не очень опасен, так как только увеличивает массу самолета и не очень искажает (ухудшает) его аэродинамические характеристики.

– *желобковый вид обледенения.* Такой вид обледенения наблюдается тогда, когда на передней кромке крыла температура воздуха выше нуля градусов, а на остальной части крыла – ниже нуля градусов. Иногда такой вид обледенения наблюдается и в полете в крупнокапельных облаках. Капля в критической (передней) точке крыла из-за своих больших размеров не успевает сразу замерзнуть, растекается по поверхности крыла и замерзает на некотором удалении от передней кромки. За счет этого «наросты льда» появляются не на самой передней кромке, образуя желобковый вид обледенения. Этот вид обледенения образуется в облаках с большой водностью при температуре воздуха от  $-5$  до  $-8$  °С. Такой вид обледенения достаточно опасен, так как, с одной стороны, он сравни-

тельно прочно держится на поверхности самолета, а с другой – значительно изменяет форму обтекаемых частей самолета и ухудшает его аэродинамику.

*Это интересно:*

Вам, уважаемый читатель, по всей вероятности, приходилось, и не раз, оказываться на улице под дождем в достаточно ветреную погоду. При такой погоде зонтик от дождя практически не спасает, но если он у вас есть, вы обязательно им пользуетесь. Так вот, вы идете по улице в такую погоду под зонтом. Как вам приходится держать зонтик? Все просто: вы держите его таким образом, чтобы набегающий ветер обтекал ваш зонтик. Если вдруг вы как-то неосторожно повернули зонтик или ветер внезапно изменил направление и задул во внутрь зонтика, то удержать зонтик в руках и, тем более, спастись от дождя при таком положении зонтика и таком ветре невозможно. Аналогичные процессы происходят и на самолете при желобковом виде обледенения. Обледенелая поверхность самолета представляет собой «зонтик наоборот» со всеми вытекающими отсюда последствиями. Пожалуй, дальше прояснять ситуацию уже не требуется.

– *хаотический вид обледенения.* Этот вид обледенения наблюдается при полетах в смешанных облаках и осадках. Наросты льда при этом в буквальном смысле слова «торчат в разные стороны». Этот вид обледенения достаточно опасен и был бы даже опаснее предыдущего, но он очень непрочен удерживается на поверхности самолета и легко сдувается потоком набегающего воздуха.

### **10.3. Интенсивность обледенения и ее зависимость от микрофизической структуры облаков и режима полета**

Для оценки влияния обледенения на полет вводится понятие *интенсивности обледенения*. В самом общем виде интенсивность обледенения это масса льда, которая откладывается на единице площади в единицу времени. Однако, и вы это хорошо себе представляете интенсивность обледенения в полете так не измеришь. Поэтому в авиации под интенсивностью обледенения понимают толщину слоя льда, который откладывается на поверхности ВС в единицу времени. Интенсивности обледенения измеряется в миллиметрах в минуту [мм/мин].

Обледенение считается слабым, если его интенсивность ( $I$ ) не превышает 0,5 мм/мин. Обозначается такое обледенение буквой ( $\psi$ ). Умеренным считается обледенение с интенсивностью от 0,5 до 1,0 мм/мин, обозначается такой же буквой ( $\psi$ ), только с двумя вертикальными чертами. Сильное обледенение имеет интенсивность от 1,0 до 1,5 мм/мин, а очень сильное – свыше 1,5 мм/мин. Оба вида обледенения обозначаются буквой  $\psi$  с тремя вертикальными чертами.

Интенсивность обледенения в значительной мере зависит от типа самолета. Известны случаи, когда после полета самолет «привозил» слой льда толщиной более 10 см! Совершенно очевидно, что такое количества льда на поверхности самолета снижает его потолок, дальность полета, маневренность и мощность двигателей.

Рассмотрим механизм оседания капель на поверхности самолета. Будем считать, что поверхность самолета имеет отрицательную температуру, а все капли, коснувшиеся поверхности самолета, замерзнут и прикрепятся к поверхности. Определим, от каких причин зависит интенсивность обледенения. Традиционно возьмем элементарную воздушную трубку и предположим, что кры-

ло самолета остается на месте, а воздушный поток со скоростью полета самолета набегает на крыло (рис. 10.1).

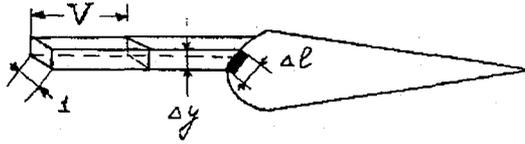


Рис. 10.1. К определению интенсивности обледенения самолета.

В соответствии с нашим предположением, что вся вода, коснувшаяся поверхности самолета, замерзнет, определим, какое количество воды коснется поверхности за единицу времени (см. рис. 10.1). Эта масса воды ( $m_w$ ) будет равна

$$m_w = \Delta y l V w, \quad (10.1)$$

где  $\Delta y l$  – площадь поперечного сечения трубки;  $\Delta y l V$  – объем трубки, который касается поверхности самолета в единицу времени;  $w$  – водность облака;  $l$  (вторая) – плотность воды.

Отбросив «лишние единицы», получим

$$m_w = \Delta y V w. \quad (10.2)$$

Масса льда ( $m_l$ ), отложившаяся на поверхности самолета из этой «воды», может быть определена по формуле

$$m_l = \Delta l l \rho_l, \quad (10.3)$$

где  $\Delta l$  – площадь поверхности крыла, на которой замерзает вода из нашей трубки;  $\Delta l l$  – объем отложившегося льда (ведь интенсивность обледенения это толщина слоя льда, а если ее умножить на площадь, то получим объем);  $\rho_l$  – плотность льда.

Убрав из последней формулы одну «лишнюю единицу» и приравняв массу воды и массу льда, получим

$$\Delta y V w = \Delta l l \rho_l. \quad (10.4)$$

Из формулы (10.4) определим, от каких параметров зависит интенсивность обледенения  $I$ .

$$I = \frac{V w}{\rho_l} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta l}. \quad (10.5)$$

Как видно из (10.5), интенсивность обледенения зависит от типа самолета и скорости его полета ( $\Delta y/\Delta l$  и  $V$ , соответственно), водности облака и плотности отлагающегося льда. Если взять предел величины  $\Delta y/\Delta l$  при  $\Delta l \rightarrow 0$ , то полученная величина будет называться *локальным коэффициентом захвата* и определяться выражением

$$\lim \frac{\Delta y}{\Delta l} = E_l. \quad (10.6)$$

Тогда в окончательном виде формула для определения интенсивности обледенения примет вид

$$I = E_n \frac{V_w}{\rho_n} \quad (10.7)$$

Из последнего выражения видно, что с увеличением скорости полета интенсивность обледенения также увеличивается. Это справедливо всегда, но только до такой скорости полета, пока в дело «не вмешивается» кинетический нагрев поверхности самолета. Кинетический нагрев поверхности воздушного судна возникает за счет соударения молекул воздуха с поверхностью и может достигать больших значений.

*Это интересно:*

В конце 40-х годов XX века перед авиаконструкторами стояла проблема – преодоление звукового барьера, а примерно через 10 лет главной стала проблема преодоления теплового барьера. Дело в том, что при большой скорости полета кинетический нагрев настолько велик, что дюраль, из которого долгое время делался фюзеляж самолета, не выдерживал таких высоких температур. Пришлось передние кромки крыльев и других частей самолета делать из более жаропрочных титановых сплавов. Впоследствии при конструировании космических кораблей и эти сплавы пришлось заменить на более термостойчивые керамические покрытия.

Величину кинетического нагрева поверхности самолета можно определить по формуле

$$\Delta T = \frac{V^2}{2000} = 5 \left( \frac{V}{100} \right)^2, \quad (10.8)$$

где  $V$  – скорость полета, м/с.

Давайте, уважаемый читатель, прикинем, чему будет равен кинетический нагрев при разных скоростях полета:

- при скорости полета 360 км/ч (100 м/с) – примерная скорость полета вертолетов – кинетический нагрев  $\Delta T = 5$  °С;
- при скорости полета 720 км/ч (200 м/с) – примерная скорость полета самолетов местных воздушных линий –  $\Delta T = 20$  °С;
- при скорости полета 900 км/ч (250 м/с) – скорость полета современных магистральных самолетов –  $\Delta T \approx 31$  °С;
- при скорости полета 1200 км/ч (340 м/с) – скорость звука ( $M = 1$ ) –  $\Delta T \approx 61$  °С;
- при скорости полета 2400 км/ч (680 м/с) – сверхзвуковая скорость ( $M = 2$ ) –  $\Delta T \approx 240$  °С.

Анализ приведенных выше значений кинетического нагрева позволяет сделать вывод: при больших скоростях полета поверхность самолета при любых температурах наружного воздуха может быть не только теплой, но и горячей, и ни о каком обледенении тогда речи быть не может.

Справедливости ради следует сказать, что кинетический нагрев, определенный по формуле (10.8), наблюдается только в сухом воздухе, а в сухом воздухе обледенение, естественно, не происходит. Во влажном воздухе величина кинетического нагрева примерно в два раза меньше, чем в сухом воздухе, а нагрев боковых поверхностей самолета составляет примерно 70% от нагрева лобовых его частей.

Совершенно очевидно, что от кинетического нагрева, определенного по формуле (10.8), остается примерно одна треть, и именно этот нагрев нужно учитывать при прогнозе обледенения. Если температура поверхности самолета с учетом кинетического нагрева отрицательная, то в этом случае обледенение возможно, а если положительная – обледенения не будет.

Из этого рассуждения становится понятным, что обледенение скоростных самолетов возможно только при достаточно низких температурах воздуха. В целом установлено, что наиболее интенсивное обледенение наблюдается в интервале температур воздуха на эшелоне полета от 0 до  $-20$  °С.

Обледенение в осадках связано с полетами под облаками. Наиболее опасными видами осадков для возникновения обледенения являются переохлажденный дождь и морось. Интенсивность обледенения в этих видах осадков может превышать 1 мм/мин. В снеге обледенения, как правило, не наблюдается, так как сухой снег сдувается потоком воздуха. Обледенение может иметь место только при выпадении мокрого снега.

Для оценки возможности возникновения обледенения ВС и его интенсивности синоптик должен оценить распределение температуры и влажности воздуха, наличие облачности и водности облаков.

Орография района полета также накладывает свой отпечаток на возможность возникновения обледенения и его интенсивность: на наветренной стороне всегда создаются благоприятные условия для возникновения и развития облачности и увеличения интенсивности обледенения, а на подветренной стороне – условия для растекания облачности и уменьшения интенсивности обледенения или его прекращения.

#### **10.4. Метеорологические и синоптические условия обледенения**

Очень бы хотелось, уважаемый читатель, чтобы вы могли правильно ответить на вопрос: какая разница между метеорологическими и синоптическими условиями? И хотя здесь все достаточно просто и понятно, иногда ответ на этот вопрос вызывает затруднение. Поясняем: *метеорологические условия* – это физика возникновения явления, а *синоптические условия* – это характеристика тех синоптических условий, при которых данное явление наблюдается. Все сказанное относится не только к обледенению, но и к любому метеорологическому явлению.

*Метеорологические условия обледенения.* Говоря о физике обледенения, можно еще раз подчеркнуть, что для его возникновения необходимыми условиями являются наличие отрицательной температуры поверхности воздушного судна (с учетом кинетического нагрева) и наличие в воздухе сконденсированной влаги (облака, осадки).

*Синоптические условия обледенения.* Здесь в первую очередь нужно отметить, что в зоне атмосферных фронтов обледенение ВС встречается чаще, а его интенсивность значительно больше, чем при внутримассовой облачности. На теплых фронтах обледенение чаще всего наблюдается в теплом воздухе в интервале температур от  $-10$  до  $-20$  °С. Чем активнее фронт, чем четче в зоне фронта прослеживаются все фронтальные характеристики и признаки, тем ин-

тенсивнее обледенение в зоне теплого фронта. На холодных фронтах, так же, как и на теплых, обледенение чаще наблюдается в теплом воздухе. Интенсивность обледенения зависит от типа холодного фронта. На холодных фронтах первого рода интенсивность обледенения, как правило, не превышает умеренную (если на этом фронте кучево-дождевая облачность), а на холодных фронтах второго рода интенсивность обледенения обычно сильная. На фронтах окклюзии обледенение чаще всего наблюдается в зоне точки окклюзии в районе холодного фронта. Температурный слой, в котором обледенение ВС возникает наиболее часто, на всех фронтах остается примерно одинаковым: от  $-5$  до  $-20$  °С.

При наличии в районе полетов внутримассовой облачности обледенение ВС также возможно. Его интенсивность зависит от формы облачности и ее водности. Из всей внутримассовой облачности чаще всего обледенение наблюдается в слоистых облаках и кучево-дождевых облаках. В слоистых облаках по интенсивности преобладает умеренное обледенение, а в кучево-дождевых — умеренное или сильное обледенение.

С точки зрения выполнения полетов в условиях возможного обледенения для авиации наибольшую опасность представляют слоисто-дождевые облака при полетах магистральных самолетов и слоистые облака при полетах вертолетов и малой авиации.

*Это интересно:*

В монографиях и учебниках по метеорологии правильно написано, что наиболее сильное обледенение наблюдается при полете в кучево-дождевой облачности. Но наибольшую опасность для полетов с точки зрения обледенения представляют слоисто-дождевые облака. В чем здесь дело? Оказывается, все очень просто. Действительно, интенсивность обледенения в кучево-дождевых облаках значительно больше, чем в слоисто-дождевых. Однако правилами полетов как гражданской, так и военной авиации категорически запрещено летать в кучево-дождевой облачности. Вот и получается, что «самым страшным зверем» для полетов оказалась слоисто-дождевая, а не кучево-дождевая облачность.

### **10.5. Особенности обледенения скоростных самолетов и вертолетов**

Как указывалось выше, обледенению подвержены все, даже скоростные и сверхзвуковые самолеты. Дело в том, что при взлете и заходе на посадку никакой «суперсамолет» не может лететь со сверхзвуковой скоростью. С такой скоростью самолет летит лишь на высотах более 10 000 м). Поэтому и российские, и зарубежные сверхзвуковые военные самолеты на этапе взлета и посадки подвержены обледенению. Со скоростными самолетами, пожалуй, все просто и понятно. Хочется отметить только один момент. Так как кинетический нагрев лобовых и боковых частей самолета разный, то при определенных условиях может возникнуть такая ситуация, когда температура лобовой части крыла будет положительной, а боковой части крыла — отрицательной. Естественно, что при этом на лобовой части лед откладываться не будет, а на боковой поверхности отложение льда возможно. Здесь появляется физическая возможность возникнуть обледенению с желобковой формой отложения льда, которая наиболее опасна, и о которой мы уже говорили.

Вертолеты более подвержены обледенению, чем самолеты, и их чисто технически значительно труднее защитить от обледенения. Это несмотря на то, что физические условия обледенения самолетов и вертолетов практически одинаковы.

Вертолеты могут обледеневать как при горизонтальном, так и при вертикальном полете. При горизонтальном полете с относительно большой скоростью в условиях, благоприятных для обледенения, лед обычно отлагается на винтах, лобовых частях вертолета, носовой части кабины, антеннах, приемнике воздушного давления и т.д. Во время полета с относительно малыми скоростями в режимах набора высоты и вертикального снижения или при висении обледеневают только винты. При переохлажденном дожде, мороси, мокром снеге кроме винтов могут обледеневать и другие части вертолета.

Наибольшую опасность представляет обледенение несущего винта, которое возможно при любом режиме полета вертолета. Обледенение лопастей винтов отличается значительным своеобразием. Скорость обтекания лопасти воздушным потоком изменяется в значительных пределах: от почти звуковой на конце лопасти до отрицательной в зоне обратного обтекания. Последняя представляет собой зону в комлевой части лопасти, в пределах которой лопасть движется задней кромкой вперед.

Интенсивность обледенения винтов при постоянном числе оборотов двигателя зависит от линейной скорости движения лопастей при вращательном движении, от материала, из которого сделаны лопасти, и качества его обработки, а также от метеорологических факторов. Среди последних наиболее существенны водность облака, размер облачных капель и температура воздуха. Интенсивность обледенения тем больше, чем больше водность облака и крупнее капли.

При температуре воздуха  $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже лопасти несущего винта большинства вертолетов обледеневают практически по всей длине. При полете с поступательной скоростью лед отлагается вдоль лопасти неравномерно. Так, в зоне обратного обтекания интенсивность обледенения невелика и лишь немного возрастает вдоль лопасти. По мере удаления от оси винта интенсивность обледенения начинает довольно быстро увеличиваться.

Когда температура воздуха выше некоторой предельной величины, концевые части лопастей перестают обледеневать, поскольку кинетический нагрев этой части лопастей становится достаточным для того, чтобы температура здесь была положительной.

В результате совместного воздействия температуры воздуха и скорости потока отложение льда по длине лопасти может иметь разные формы. На форму отложения льда влияют также различные небольшие неровности поверхности лопасти.

По сравнению с самолетами вертолеты более чувствительны к обледенению, так как на лопастях винтов лед откладывается быстрее, чем на плоскостях самолетов при одних и тех же погодных условиях. Поэтому очень часто в тех случаях, когда в прогнозах погоды указывается умеренное или сильное обледенение, вертолеты полетов не совершают.

Обледенение вертолетов наиболее вероятно при полетах в облаках, в зоне переохлажденного дождя или над открытыми водными пространствами при температуре воздуха от  $0$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Если полет выполняется при температуре

воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже, лед может образоваться на внутренней поверхности фонаря кабины вертолета, в результате чего сильно ухудшаются условия обзора и затрудняется визуальная ориентировка.

*Это интересно:*

Во многих руководствах по эксплуатации вертолетов написано, что у турбовинтовых вертолетов обледенение начинается при температуре воздуха  $+5^{\circ}\text{C}$  и ниже, причем в первую очередь начинают обледеневать входные устройства двигателей (воздухозаборники). Тому есть физическое объяснение. Входное устройство, всасывая воздух в двигатель, несколько уменьшает давление на самом входе этого устройства. В результате на поверхности воздухозаборника из-за уменьшения давления уменьшается и температура, которая при температуре воздуха  $+5^{\circ}\text{C}$  может стать отрицательной, а следовательно, и способной вызвать обледенение.

### **10.6. Способы борьбы с обледенением**

Обледенение воздушного судна в полете настолько опасно, что практически на каждом типе самолета и вертолета предусмотрена и используется какая-нибудь противообледенительная система (ПОС). Все способы борьбы с обледенением можно разделить на несколько групп. Основные из них следующие.

*Механический способ.* Этот способ заключается в механическом удалении образовавшегося льда с лобовых частей самолета, его плоскостей и хвостового оперения. Способ применялся давно на нескоростных самолетах. Его суть заключается в следующем. В передних кромках крыла, хвостового оперения и т.д. прокладываются резиновые протекторы (проще – резиновые шланги), через которые периодически пропускают сжатый воздух. Протекторы начинают пульсировать, ломать лед, а остальное делает воздушный поток, который лед сдувает. Недостатком этой противообледенительной системы является нарушение аэродинамических характеристик крыла и оперения при вздутии протекторов, а также их слабая эффективность.

*Физико-химический способ.* Физико-химический способ борьбы с обледенением основан на уменьшении сцепления льда с поверхностью самолета или на уменьшении температуры замерзания воды.

Для уменьшения силы сцепления льда с обшивкой самолета или вертолета использовались различные защитные покрытия в виде лаков, паст или смазок, а также вещества, не смачивающиеся водой (парафин, вазелин, жиры и т.д.), однако эти средства не дали желаемого эффекта.

*Это интересно:*

Попробуйте, уважаемый читатель, ответить на такой вопрос: сколько граммов краски нужно израсходовать, для того чтобы покрасить квадратный метр поверхности? Если вы делали у себя дома ремонт, то очевидно знаете, что на покраску  $1\text{ м}^2$  поверхности требуется около 200 г краски (это норма расхода краски для маляра средней квалификации). Пусть у «авиационного маляра» самая высокая квалификация, потому он расходует всего 100 г краски на  $1\text{ м}^2$  поверхности. Но площадь Ту-154 составляет примерно  $1000\text{ м}^2$ , и следовательно, окрашенный самолет будет все время «возить» лишних 100 кг! Вот поэтому данный способ борьбы с обледенением не получил широкого распространения.

Большее применение получило смачивание защищаемых от обледенения поверхностей жидкостями, понижающими температуру замерзания воды. Такие жидкости должны иметь достаточно низкую температуру замерзания, хо-

рошо смачивать поверхность, не быть ядовитыми, не вызывать коррозию и не портить лакокрасочные покрытия. Таким требованиям отвечают спирты, смесь спирта с глицерином и другие жидкости.

Данный способ используется, в основном, для защиты от обледенения винтов и стекол кабины, хотя может применяться и для защиты плоскостей и хвостового оперения. Главные недостатки этого метода заключаются в том, что, во-первых, он не способствует устранению того льда, который уже образовался. Во-вторых, антиобледенительная система такого действия имеет достаточно сложную конструкцию, ограничена в действии по времени и предусматривает наличие на борту ВС значительного запаса жидкости. Например, на вертолетах Ми-8 жидкостные антиобледенительные системы имеют расход спирта на нормальном режиме около 1,5 л/мин, а на форсированном режиме – в 1,5–2,0 раза больше.

*Это интересно:*

У жидкостных систем, в которых чаще всего применяется спирт, как наиболее дешевая жидкость, есть еще один огромный недостаток, о котором все знают, но стараются не говорить, а уж тем более не писать в учебниках. Дело в том, что на аэродромах спирт часто используют не по прямому (а, может быть, именно по прямому?!) назначению. Ведь недаром говорят, что на аэродроме не пьют только два пилота: шарпилот и автопилот. Шутка–шуткой, но если воздушное судно попадает в зону обледенения, а в противобледенительной системе нет спирта, то даже самому подготовленному экипажу очень тяжело благополучно завершить такой полет.

*Тепловой (термический) способ.* Тепловой способ борьбы с обледенением основан на термическом способе удаления льда. Этот способ в настоящее время получил самое широкое распространение. А для удаления льда всего-то нужно повысить температуру обледеневающих поверхностей до значений более 0 °С. С этой целью широко применяются воздушно-тепловые противообледенительные устройства, обеспечивающие нагрев передних кромок крыла и хвостового оперения, воздухозаборников и остекления кабины экипажа. Воздушно-тепловые системы достаточно просты, однако они имеют один существенный недостаток. Дело в том, что если после двигателя горячие газы не сразу попадают в выходное сопло, а «гуляют» по самолету (даже делая «доброе дело» – борясь с обледенением), то в этом случае происходит заметная потеря мощности двигателя. Поэтому в последнее время все большее применение находят электротепловые противообледенительные системы, в которых рабочей частью является токопроводящий слой. Располагая его между изоляционными слоями и пропуская ток, можно обеспечить нагрев обледеневающей поверхности и удаление льда. Для уменьшения расхода электроэнергии электротепловая система работает в импульсном режиме, но исправно делает свое дело. Обогрев остекления кабины также осуществляется электрическим способом. В стекла кабины (а это далеко не обычное оконное стекло) вмонтирована тонкая проволока, по которой при необходимости пропускают электрический ток. При прохождении тока стекло нагревается как в обычной бытовой электроплитке, лед тает, и у экипажа пропадают проблемы, связанные с обледенением стекла кабины.

*Комбинированный способ.* Этот способ заключается в совместном использовании всех трех, изложенных выше. Однако обычно так не делается. На воздуш-

ных судах одного типа, как правило, используется только какой-нибудь один способ борьбы с обледенением.

*Косвенные приемы борьбы с обледенением.* Косвенные приемы борьбы с обледенением заключаются в комплексном анализе метеорологических условий на предмет оценки возникновения обледенения и при возможности – изменения маршрута и профиля полета, а также в увеличении скорости полета.

Если позволяют условия и полетное задание, то можно изменить маршрут полета, т.е. обойти стороной зону возможного обледенения. При изменении высоты полета экипажу следует или выйти из облаков, или снизиться так, чтобы на высоте полета была положительная температура воздуха, или, наоборот, набрать высоту так, чтобы на эшелоне полета температура воздуха оказалась ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Что же касается увеличения скорости полета, то это тривиальный кинетический нагрев, который доводит поверхность ВС до положительных температур.

### **10.7. Опасность гололеда и гололедицы для авиации и борьба с ними**

*Гололед* – это матовый или прозрачный лед, который при определенных погодных условиях нарастает на аэродромных постройках, подъездных дорогах, взлетно-посадочной полосе и рулежных дорожках, на самолетах, стоящих на стоянке вне ангаров, а также на проводах линий связи и электропередачи. Толщина слоя льда составляет обычно 1–3 мм, редко 8–10 мм. Слой льда образуется преимущественно с наветренной стороны всех объектов. Обычно гололед отмечается при температуре воздуха от 0 до  $-6^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности 95–100% и скорости ветра до 5–7 м/с. Типичный случай гололеда: резкое похолодание или потепление и выпадающая атмосферная влага, которая замерзает на аэродромных объектах и воздушных судах.

Гололед – одно из опасных для полетов метеорологических явлений, которое может серьезно осложнить деятельность авиации. При гололеде возникают проблемы при подготовке воздушных судов к полету, а аэродромов – к приему и выпуску самолетов и вертолетов. При отложении льда на поверхности воздушного судна на земле взлет такого судна запрещается. Если же гололед покрывает на ВПП или рулежные дорожки, то это значительно уменьшает трение колес шасси о бетон, что затрудняет как разбег, так и пробег самолета. При посадке на обледенелую полосу при боковом ветре создается опасность уклонения самолета от нужного направления движения и выкатывания его за пределы ВПП.

*Гололедица* – это явление погоды (не осадки), которое наблюдается в тех случаях, когда под действием солнечного тепла снег и лед на ВПП, рулежных дорожках и местах стоянки самолетов сначала тают, а затем при похолодании замерзают, образуя на поверхности слой льда.

Особую опасность для взлета и посадки самолетов и вертолетов представляет наличие на искусственных ВПП «пятен» льда, мокрого снега и застоявшейся воды. В этом случае вода и снег, затаившиеся в работающий двигатель, могут вывести его из строя, а лед, снег и даже вода на полосе делают процесс торможения, мягко говоря, плохо управляемым.

Борьба с гололедом на аэродроме осуществляется механическим, тепловым и химическим способами.

*Механический способ* состоит в применении снегоочистителей, оборудованных для удаления гололеда. Этот способ используется в тех случаях, когда сила сцепления льда с поверхностью еще сравнительно мала.

*Тепловой способ* основан на воздействии теплового потока, который расплавляет лед и сдувает образующуюся воду и остатки льда в сторону боковых полос безопасности. Тепловой поток создается реактивным двигателем, смонтированным на специальной машине. Производительность тепловых машин зависит от толщины слоя льда, температуры воздуха, скорости и направления ветра. Тепловые машины применяются на жестких аэродромных покрытиях и частично на асфальтобетонных. При разной температуре воздуха скорость движения машин выбирается, естественно, всегда разной, но такой, чтобы при проходе и остановке машины не было чрезмерного нагрева поверхности ВПП и ее разрушения.

*Это интересно:*

Для тепловых машин не создают специальных реактивных двигателей. Обычно берется и устанавливается на грузовик авиационный двигатель, который отслужил свой срок и его уже нельзя устанавливать на самолете. Вот такие работающие, но «старенькие» двигатели используются в тепловых машинах. Конечно же, на грузовике крепится специальная рама, которая удерживает двигатель в кузове (тепловая машина без бортов) и «не дает тепловой машине взлететь».

*Химический способ* борьбы с гололедом используется или как предупреждающее мероприятие, или как способ плавления образовавшегося льда. Этот способ борьбы с гололедом дает хорошие результаты при температуре воздуха от 0 до  $-8^{\circ}\text{C}$ , а при более низких температурах способ малоэффективен.

### **10.8. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз обледенения и гололеда**

Для прогноза обледенения на практике используется несколько достаточно простых и эффективных способов. Основные из них следующие:

*Синоптический метод прогноза.* Этот метод заключается в том, что по имеющимся в распоряжении синоптика материалам определяются слои, в которых наблюдается облачность и отрицательные температуры воздуха. Слои с возможным обледенением определяются по аэрологической диаграмме, а порядок обработки диаграммы вам, уважаемый читатель, достаточно хорошо знаком. Дополнительно можно еще раз сказать, что наиболее опасное обледенение наблюдается в слое, где температура воздуха колеблется от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$ , а для возникновения сильного или умеренного обледенения наиболее опасным является перепад температур от 0 до  $-12^{\circ}\text{C}$ . Данный метод достаточно прост, не требует значительного времени на выполнение расчетов и дает хорошие результаты. Других пояснений по его использованию давать нецелесообразно.

*Метод Годске.* Этот чешский физик предложил по данным зондирования определять величину  $T_{\text{н.л.}}$  – температуру насыщения надо льдом по формуле

$$T_{\text{н.л.}} = -8D = -8(T - T_d), \quad (10.9)$$

где  $D$  – дефицит температуры точки росы на каком-либо уровне. Если оказывалось, что температура насыщения надо льдом выше температуры окружающего воздуха, то на этом уровне следует ожидать обледенения.

Прогноз обледенения по этому методу также дается с помощью аэрологической диаграммы. Если по данным зондирования получается, что кривая Годске в каком-то слое лежит правее кривой стратификации, то в этом слое следует прогнозировать обледенение. Годске рекомендует использовать свой метод прогноза обледенения ВС только до высоты 2000 м.

В качестве дополнительной информации при прогнозе обледенения можно использовать следующую установленную зависимость. Если в интервале температур от 0 до  $-12$  °С дефицит точки росы больше 2 °С, в интервале температур от  $-8$  до  $-15$  °С дефицит точки росы больше 3 °С, а при температурах ниже  $-16$  °С дефицит точки росы больше 4 °С, то с вероятностью более 80% обледенение при таких условиях наблюдаться не будет.

Ну и, естественно, важным подспорьем для синоптика при прогнозе обледенения (и не только его) является информация, передаваемая на землю пролетающими экипажами или экипажами, взлетающими и заходящими на посадку.

*Прогноз гололеда.* Прежде чем говорить о методах прогноза гололеда, следует отметить, что интенсивность гололеда определяется по толщине (мм) отложившегося льда: слабый гололед (отложение льда менее 5 мм), умеренный (5–19 мм), сильный (20–50 мм) и очень сильный (более 50 мм).

Условия образования гололеда зависят от температуры воздуха  $T$  и дефицита точки росы ( $T - T_d$ ), от изменения во времени и пространстве направления и скорости ветра, от охлаждения воздуха в приземном слое, рельефа местности и состояния подстилающей поверхности. Наибольшее число случаев образования гололеда наблюдается при температуре воздуха от 0 до  $-10$  °С, причем при понижении температуры воздуха соответствующие значения дефицита точки росы у поверхности земли, при которых отмечается гололед, возрастают.

Ветровой режим оказывает большое влияние на образование гололеда. Чем больше скорость ветра при прочих равных условиях, тем интенсивнее отложение льда. Обычно можно выявить основные направления ветра, при которых в данном пункте вероятность гололеда более высокая.

Велика также роль охлаждения масс воздуха в приземном слое у поверхности земли и на высоте образования облаков. В облаках и туманах это приводит к укрупнению облачных элементов до размеров капель дождя (мороси), и оседающие капли при соприкосновении с переохлажденной поверхностью образуют гололед.

Синоптические процессы, при которых отмечается гололед, характеризуются, в основном, адвекцией теплого и влажного воздуха. По условиям образования принято выделять фронтальный и внутримассовый гололед. Фронтальный гололед отмечается перед теплым фронтом, на холодных фронтах, в зоне фронтов окклюзии и на малоподвижных фронтах.

Гололед перед теплым фронтом со значительными контрастами температуры во фронтальной зоне (более 10 °С на 500 км) представляет наибольшую опасность. В зоне теплого фронта, типичного для возникновения гололеда, характерным является очень малый наклон фронтальной поверхности в ее ниж-

ней части и сравнительно небольшая вертикальная мощность облаков в этой части фронта. Верхняя граница облаков обычно располагается на высоте, где температура воздуха лишь немного ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , однако из этих облаков выпадают осадки в виде переохлажденного дождя.

Особенностью теплых фронтов, в зоне которых бывает сильный гололед, является их медленное движение (до  $25\text{ км/ч}$ ). Большая скорость движения фронта, даже при выпадении переохлажденного дождя, способствует быстрому прекращению гололеда.

При прохождении холодного фронта гололед образуется значительно реже. Переохлажденные дожди обычно связаны с холодными фронтами первого рода, которые смещаются со скоростью  $10\text{--}20\text{ км/ч}$ .

Составляя прогноз фронтального гололеда, дополнительно нужно учитывать следующие синоптические признаки:

- гололед возникает на атмосферных фронтах, скорость смещения которых уменьшается и не превышает  $30\text{ км/ч}$ ;
- температура воздуха перед теплым фронтом не должна быть ниже  $-16$  и выше  $2^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, необходима инверсия или изотермия температуры при дефиците точки росы не более  $2^{\circ}\text{C}$ ;
- образованию гололеда перед теплым фронтом способствует адвекция теплого и влажного воздуха;
- на холодном фронте гололед возникает на тех его участках, которые расположены вблизи оси гребня, у вершины волны, а также при слабой адвекции холода у земли и адвекции тепла на уровне  $850\text{ гПа}$ .

Внутримассовый гололед возникает в зонах адвекции тепла на периферии стационарных антициклонов, а также на южной периферии циклонов. Адвекция тепла при этом выражена слабее, чем при фронтальном гололеде. Обязательными условиями образования внутримассового гололеда являются: наличие слоистой облачности, наличие слабого дождя или морозящих осадков, а также отрицательные температуры воздуха у земли.

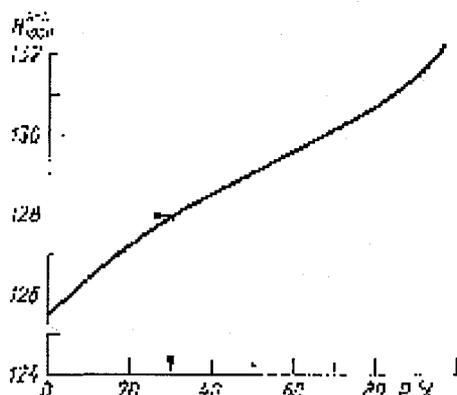


Рис. 10.2. График для определения вероятности возникновения гололеда.

Все сказанное выше относится к *синоптическому методу* прогноза гололеда. В оперативной практике для прогноза гололеда, кроме синоптического метода, можно использовать некоторые рекомендации, предложенные в различных регионах России. Так, например, на рис. 10.2 представлен график для оценки возможности возникновения гололеда в вероятностной форме. Здесь по вертикали отложена разность геопотенциальных высот уровней 1000 и 850 гПа, а по горизонтальной оси – вероятность возникновения гололеда.

Пользование графиком специальных пояснений не требует.

Широкое распространение на практике получил метод прогноза гололеда, предложенный Р.А. Ягудиным. Опуская все теоретические предпосылки, заметим, что автор довел свой метод до номограммы, представленной на рис. 10.3.

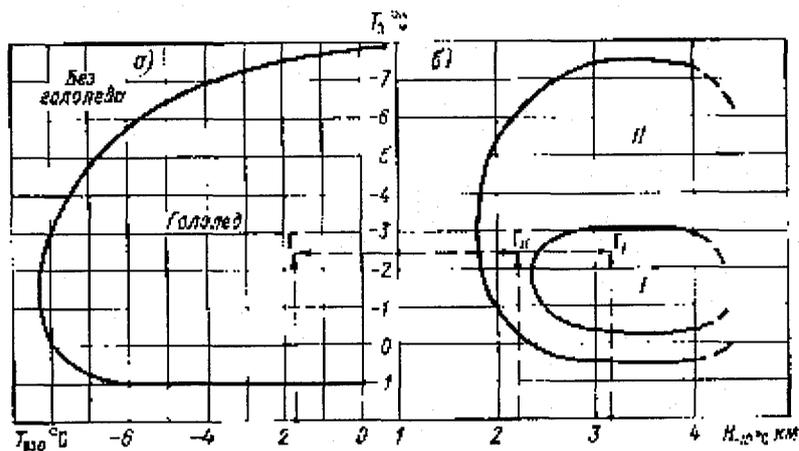


Рис. 10.3. Номограмма Р.А. Ягудина для определения возможности возникновения гололеда (а) и его интенсивности (б):  
I – зона умеренного гололеда; II – зона слабого гололеда.

По левой части номограммы в зависимости от температуры воздуха у земли и на уровне 850 гПа определяется возможность возникновения гололеда. Используя те же исходные данные, перемещаемся в правую часть номограммы, и по температуре воздуха у земли и высоте изотермы  $-10$  °C определяем интенсивность гололеда. Порядок работы с номограммой показан на рисунке.

Кроме гололеда много различных неприятностей может принести *гололедица*, под которой понимают ледяную пленку или корку льда, образовавшуюся на покрытии.

*Это интересно:*

Совсем не профессионально, а чисто по-обывательски, постараюсь объяснить разницу между гололедом и гололедицей. *Гололед* – это явление погоды, при котором «что-то» выпадает (осадки в виде дождя, мороси), замерзает и держится на поверхности. *Гололедица* – тоже явление погоды, при котором на поверхности (дороге) снег и лед сначала тают, а потом при понижении температуры снова замерзнут и образуют пленку или корку. Понятней стало, дорогой читатель?

Наиболее благоприятными для возникновения гололедицы являются синоптические процессы, характеризующиеся адвекцией теплого и влажного воздуха.

Если по прогнозу погоды ожидается выпадение осадков (любых), а температура поверхности чуть ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , то в этом случае в прогнозах следует указывать гололедицу. График для прогноза гололедицы представлен на рис. 10.4.

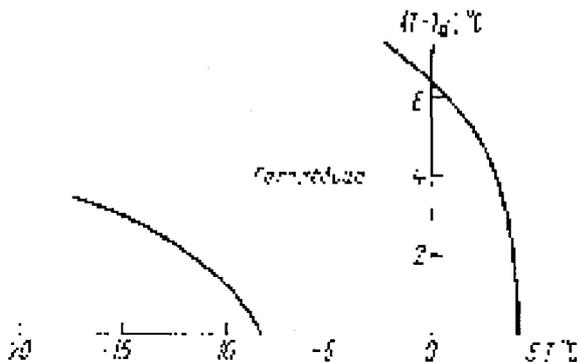


Рис. 10.4. График для прогноза гололедицы.

Предложенный график использует в качестве исходных данные о температуре воздуха у земли и дефиците точки росы у земли. Этот график нашел широкое применение на ЕЧР.

Как уже не раз говорилось выше, все методы прогноза будут «работать» лучше, если разработчики методов будут учитывать местные признаки возникновения опасных и неблагоприятных явлений погоды.

## Глава 11 ВЛИЯНИЕ ГРОЗ И ШКВАЛОВ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАЦИИ

### 11.1. Грозы, смерчи и шквалы как опасные для авиации явления погоды

*Гроза* – комплексное атмосферное явление с многократными электрическими разрядами в виде молний, сопровождающихся громом. Гроза связана с развитием мощных кучево-дождевых облаков. При грозах наблюдаются интенсивные ливневые осадки в виде дождя, града, а иногда и снега. Сухие грозы без осадков у земной поверхности бывают сравнительно редко.

Гроза является одним из наиболее опасных для авиации явлением погоды. Опасность гроз обусловлена:

- интенсивной турбулентностью в облаках, способной вызвать сильную болтанку и перегрузки, превышающие предельно допустимые значения;
- сильным обледенением на высотах, где температура воздуха ниже 0 °С;
- возможностью поражения самолета молниями;
- интенсивными ливневыми осадками.

Грозы часто сопровождаются смерчами и шквалами. *Смерч* – сильный вихрь с осью, стремящейся к вертикали, но часто изогнутой. Диаметр смерча, имеющего четкие очертания, измеряется десятками метров над морем и сотнями метров над сушей. Продолжительность существования смерча – от нескольких минут до нескольких часов. Смерчи возникают примерно при таких же синоптических ситуациях, что и грозы, однако спрогнозировать возникновение смерча при данной синоптической ситуации – задача крайне сложная.

*Смерч* – самое разрушительное атмосферное явление. Его вертикальная протяженность может достигать 12–15 км (в южных широтах до 20 км), горизонтальная протяженность – несколько десятков километров, а скорость движения воздуха в вихре смерча (по сути дела – ветра) достигает значений 200–300 м/с.

*Шквал* – резкое кратковременное усиление ветра, сопровождающееся изменением его направления. Наибольшая зафиксированная скорость ветра при шквале равна 65 м/с. Совершенно очевидно, что шквалы, как и смерчи, представляют серьезную опасность для авиации, и не только для авиации. Можно привести множество примеров разрушительного действия смерчей и шквалов. Эти примеры касаются последствий прохождения смерчей и шквалов у земной поверхности. Если самолет в полете встретится со смерчем, то авиационное происшествие неизбежно. Правда, сочетание всех неблагоприятных явлений вместе взятых имеет сравнительно небольшую вероятность.

При грозах часто наблюдается сильный *сдвиг ветра*, обусловленный как сильными вертикальными токами, так и большой неоднородностью в поле ветра вблизи кучево-дождевого облака.

*Ливневые дожди* – естественные спутники грозы. Сильный дождь очень опасен для полетов, так как при этом нарушается нормальная работа авиационных двигателей, значительно ухудшается видимость, а также осложняется деятельность авиапредприятий.

*Град* также представляет исключительную опасность для полетов. При встрече с градом в полете из-за удара градин о поверхность самолета могут возникать различные повреждения – от вмятин на поверхности до разгерметизации кабины и пассажирского салона.

Перечисленные выше явления в ряде случаев наблюдаются в комплексе. При этом от пилотов, работников службы движения и метеоспециалистов требуется особенно тщательная оценка возможности возникновения грозы и вероятности встречи с ней в районе аэродрома или на маршруте полета. Не случайно в перечне опасных для полетов явлений погоды гроза традиционно стоит на первом месте.

Необходимо также отметить, что из всех метеорологических факторов, связанных с грозой, самым опасным для полетов является *атмосферная турбулентность*. Это подтверждено авиационной практикой и специальными исследованиями, которые проводились в нашей стране и США. Следует отметить еще одно важное обстоятельство: трудные, а иногда невозможные условия для выполнения полетов при грозе создаются не только в грозовых облаках, но и вблизи этих облаков. Именно по этой причине для обеспечения безопасности полетов входить в грозовые облака категорически запрещается, а обходить их стороной следует на достаточно большом безопасном расстоянии, о чем мы будем говорить чуть позже.

*Это интересно:*

Хочется, уважаемый читатель, привести несколько примеров, связанных с кучево-дождевой облачностью и грозами. Это достаточно интересная, на наш взгляд, и редко собираемая вместе информация:

– На земном шаре наблюдается 44 000 гроз в сутки или 1800 гроз в час, а каждую минуту сверкает 100 молний.

– Энергия всех гроз составляет одну тысячную часть той энергии, которая поступает на землю от солнца. Со времен М.В. Ломоносова ведутся опыты по обузданию этой энергии, но пока, к сожалению, безуспешно.

– Энергия грозового облака размером (10 × 10) км и высотой (толщиной) 5 км примерно равна энергии атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму или Нагасаки. Разница в том, что энергия бомбы выделялась несколько секунд, а энергия облака выделяется несколько часов.

– Восходящие потоки в грозовом облаке могут иметь скорость до 50–60 м/с, а нисходящие – 30–35 м/с. Это, соответственно, около 200 и около 100 км/ч.

– Перед грозовым облаком у земли могут наблюдаться шквалы со скоростью ветра более 60 м/с (более 230 км/ч).

– Запас воды в грозовом облаке размером (10 × 10) км и высотой 5 км такой, что этой водой можно целиком заполнить бассейн шириной 100 м, длиной 1000 м и глубиной 5 м. Это составляет примерно 15 000 железнодорожных цистерн. И вся эта вода держится в воздухе только в одном облаке!

– Для того чтобы облачная капля диаметром 20 микрон приобрела размеры примерно в 2 миллиметра и стала дождевой нужно, чтобы эта капля «столкнулась» в облаке с себе подобными 1 000 000 (миллион!) раз.

– Гром не опасен для человека, но мы так устроены, что не успеваем среагировать на молнию и быстро пригибаемся, услышав гром. Те, кто был в боях, говорят, что пуля, которая просвистела, «не твоя». «Своей пули» солдат не услышит.

– Если время (в секундах), через которое после молнии загремит гром, разделить на 3, то получится расстояние в километрах, на котором от вас сверкнула молния.

– В сильном ливне видимость может уменьшиться до нескольких десятков метров. Известны случаи, когда из-за плохой видимости в дожде приостанавливал работу весь наземный транспорт.

– Общая сила удара капель ливня о верхнюю поверхность самолета Ту-154 составляет ... 2,5 тонны!

– С грозой связан и очень опасен град, размеры которого могут быть достаточно большими. На территории России самый крупный град наблюдался в Ростовской области. Здесь зафиксирована масса отдельных градин в 1800 г. Представьте себе, что на вас с высоты 5 км падает двухлитровая банка с водой! Это то же самое. Самый крупный град наблюдался в Индии. Там масса отдельных градин достигала 2200 г.

## 11.2. Виды гроз и степень их опасности для авиации

Грозовое облако за период своей жизни проходит несколько стадий, различающихся интенсивностью конвекции, фазовой структурой облаков и их электрическим состоянием. Наиболее распространенным представлением о развитии грозы является деление ее «жизни» на три стадии, в каждой из которых создаются принципиально разные условия для полетов.

1. *Начальная стадия развития.* Эта стадия начинается от зарождения облака и заканчивается выпадением первых капель дождя. Сначала это обычное кучевое облако, которое постепенно трансформируется в мощное кучевое. Нижняя граница таких облаков колеблется в пределах 800 – 1500 м, а верхняя – 3–5 км. Восходящие вертикальные токи в облаках могут достигать 15–20 м/с, а нисходящие токи очень слабые. Эта стадия развития кучево-дождевого облака наименее опасна для полетов. В зоне облака может наблюдаться слабая или умеренная турбулентность и слабое или умеренное обледенение в зоне отрицательных температур.

2. *Стадия зрелого облака.* Стадия зрелого облака начинается с момента выпадения первых капель дождя, что свидетельствует о появлении кристаллов в облаке, и заканчивается началом его разрушения. На этой стадии нижняя граница облака понижается до 300–500 м, верхняя граница может достигать высоты 8–15 км или тропопаузы. В верхней части облака образуется наковальня. У земли наблюдаются интенсивные ливневые осадки, электрические разряды, возможен град. В облаке всегда сильная и очень сильная турбулентность и сильное обледенение. Восходящие токи в облаке могут достигать 50 м/с, а нисходящие по краям облака – 30 м/с. В передней части кучево-дождевого облака (по ходу его движения) у земли образуется «крутящийся вал», шквал или смерч. Совершенно очевидно, что в этой стадии грозовое облако наиболее опасно для полетов, и полеты в таких облаках категорически запрещены.

3. *Стадия рассеяния.* Эта стадия развития облака продолжается от начала его разрушения до момента трансформации в облака других форм. При этом, как правило, образуются облака различных ярусов, небольшие по своей вертикальной мощности и не очень опасные для полетов. Вертикальные токи в таких облаках направлены как вверх, так и вниз, но их скорость не превышает 5 м/с. В такой облачности может наблюдаться слабая турбулентность и слабое обледенение.

Средняя продолжительность жизни грозового облака составляет примерно 5 ч. Однако это именно средняя величина. Иногда все три стадии развития об-

лака могут «уложиться» и в один час, а то и меньше, а иногда грозовое облако может сохраняться до 10 ч и более.

В период образования облака происходит его электризация. После накопления больших объемных электрических зарядов и достижения между облаками или между облаком и землей напряженности электрического поля, превышающей пробивную напряженность, возникают молнии, опасность которых для авиации чрезвычайно велика.

Останавливаясь на вопросах электризации облака, образования града и возникновения молний мы не будем, так как эти вопросы излагаются в других курсах.

Рассмотренные выше стадии грозового облака могут развиваться неодинаково в зависимости от влагосодержания воздушной массы, контраста температур в зоне атмосферного фронта и рельефа местности, над которой проходят кучево-дождевые облака. Обычно грозы делят на *внутримассовые* и *фронтальные*.

Внутримассовые грозы бывают *конвективные (тепловые)*, *адвективные* и *орографические*.

*Тепловые грозы* чаще всего возникают в размытом барическом поле во второй половине дня. Эти грозы имеют небольшие размеры и смещаются с незначительной скоростью (10–15 км/ч). Однако внутримассовые кучево-дождевые облака «приносят» много молний, града и сильных ливней. Ветер при тепловых грозах слабый, только перед самой грозой наблюдается кратковременное его усиление. Температуры воздуха у земли при таких грозах обычно высокие (выше 22–25 °С). Тепловые грозы во время полета легко обойти из-за их небольших размеров.

*Адвективные грозы* возникают после прохождения холодных фронтов в массах морского умеренного воздуха. Эти грозы могут развиваться при низких температурах и имеют большую скорость смещения. Очаги адвективных гроз обычно изолированы.

*Орографические грозы* возникают не только в горах, но даже и в холмистой местности, когда рельеф и направление движения воздушных масс способствует увеличению вертикальных токов.

Фронтальные грозы подразделяются на *грозы холодного фронта*, *теплого фронта* и *фронтов окклюзии*.

*Грозы на холодном фронте* возникают над поверхностью холодного фронта. Эти грозы обычно растянуты вдоль линии фронта и имеют ширину 50–70 км. Средняя скорость смещения грозовых зон составляет 30–40 км/ч, однако иногда они могут смещаться и со скоростью 100 км/ч. Разрывы между отдельными кучево-дождевыми облаками достигают 10–20 км, поэтому обойти такие грозы сбоку от облака, не нарушая установленных норм безопасности, достаточно сложно. Грозы на холодных фронтах усиливаются во второй половине дня и ослабевают ночью.

*Грозы на теплом фронте* наблюдаются сравнительно редко. Они возникают при подъеме теплого и влажного воздуха. Такие условия чаще всего возникают при выходе на ЕЧР циклонов с Черного или Средиземного морей. Кучево-дождевые облака на теплом фронте почти всегда маскированы, а следова-

тельно, самолет попадает в такую облачность внезапно. Для определения местоположения кучево-дождевых облаков в полете следует использовать бортовые РЛС, а обходить такие грозы нужно только сверху, выполняя полет выше верхней границы облачности.

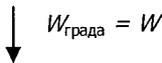
Грозы на теплом фронте усиливаются ночью и ослабевают в дневное время. Это обусловлено тем, что в ночное время (после захода солнца) верхняя граница облачности перестает «нагреваться» и начинает излучать тепло. В результате температура верхней границы облачности понижается, что приводит к увеличению вертикального градиента температуры в облаке, появлению неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности вместо слоисто-дождевой.

Грозы на фронтах окклюзии могут наблюдаться в любое время суток, однако чаще они бывают на холодных фронтах окклюзии, а следовательно, во второй половине дня. Эти грозы практически никогда не бывают сплошными, и в полете их можно достаточно спокойно обойти.

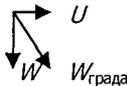
*Это интересно:*

Хочется, уважаемый читатель, привести еще два примера, связанных с развитием грозовой облачности.

Однажды автору этих строк знакомый командир экипажа самолета Ту-154 сказал, что видел в полете «горизонтально летящий град». Сами понимаете, что град горизонтально лететь не может. Я не поверил, но задумался. И вот что в результате оказалось. Под действием силы тяжести градина должна лететь к земле сначала с ускорением, а потом с установившейся скоростью около 50 м/с. Вектор скорости полета градины только под действием силы тяжести будет строго вертикален.



Если на высоте полета наблюдается ветер скоростью 25 м/с, то траектория смещения градины уже не будет строго вертикальной. Эта траектория будет иметь вид:



Если же учесть, что скорость полета самолета примерно равна 900 км/ч (250 м/с), то для летчика, находящегося в кабине, град на самом деле можно принять за летящий горизонтально:



Таким образом, становится понятно, почему летчик утверждал, что град летел горизонтально.

Второй случай связан с тяжелым летным происшествием, которое случилось в аэропорту Пулково в Санкт-Петербурге. Самолет Ту-154 при заходе на посадку внезапно попал в зону сильного ливня и столкнулся с земной поверхностью до начала ВПП. К счастью, экипаж самолета остался жив. Командир экипажа рассказал, что после прохода БПРМ самолет наткнулся «на стену дождя», а никаких отклонений от нормального режима захода на посадку экипажем допущены не были.

Действительно, в это время в районе аэродрома начался ливневый дождь. На одном торце ВПП видимость была равна 8000 м, а на другом – 2300 м. При анализе мы рассмотрели пять основных причин, которые могли бы нарушить нормальный режим захода на посадку.

*Первая.* Попадание в двигатель вместе с воздухом капель дождя. По этой причине тяга двигателя должна увеличиться примерно на 1–2%, что не могло привести к посадке самолета до взлетной полосы.

*Вторая.* Капли дождя, ударяясь о верхнюю поверхность самолета с определенной силой, как бы «прижимают самолет к земле». Такая сила действительно возникает, и равнодействующая всех сил соударения капель с поверхностью самолета составляет 2,5 т! Но сам самолет весит около 70 т, поэтому «лишние 2,5 тонны» не должны были сказаться на режиме снижения самолета.

*Третья.* Соударение самолета, летящего почти горизонтально, с каплями, летящими почти вертикально. За счет сообщения каплям дождя поступательной скорости, самолет скорость, естественно, теряет. Это приводит к уменьшению подъемной силы и увеличению скорости снижения самолета. Однако по этой причине подъемная сила уменьшится только на 1–2%, что будет практически незаметно.

*Четвертая.* Сильный сдвиг ветра в зоне кучево-дождевого облака. В принципе, такое возможно. Мы рассмотрели случай сильного сдвига ветра (5 м/с на 30 м высоты). При этом уменьшение подъемной силы возможно до 10%. Это уже всегда заметно, но опытный экипаж с посадкой при такой величине сдвига ветра должен был справиться (это мнение всех летчиков).

*Пятая.* Нисходящие токи по краям кучево-дождевого облака. Такие токи есть всегда, до последнего времени их никогда не определяли, но именно они могут послужить причиной летного происшествия. По режиму захода на посадку самолет снижается со скоростью 5 м/с, и от БПРМ до начала взлетной полосы пролетает 70 м по вертикали и 1000 м по горизонтали. В этом случае посадка «штатная». Если же самолет попал в зону нисходящих токов, предположим 10 м/с (это не самые сильные нисходящие токи), то общая скорость снижения самолета составит 15 м/с, и самолет коснется ВПП уже через 5 с, успев за это время пролететь по горизонтали всего около 400 м.

Вот эта пятая причина и является основной при посадке самолета до ВПП. К сожалению, в учебнике мы не можем подробно останавливаться на вопросе определения вертикальных токов при такой ситуации. Об этом можно почитать в специальной литературе.

### **11.3. Особенности выполнения полетов в зоне грозовой деятельности**

Гроза, безусловно, одно из самых опасных для авиации явлений погоды. Поэтому работникам гражданской авиации и сотрудникам АМСГ необходимо осуществлять все меры, предусмотренные для выполнения полетов без авиационных происшествий и предпосылок к ним. Недопустимы какие-либо нарушения и упущения при организации, обеспечении и выполнении полетов и управлении воздушным движением.

Практика выполнения полетов показывает, что в ряде районов страны грозовая деятельность является основной причиной нарушения регулярности воздушного движения и предпосылок к летным происшествиям. Установлено также, что все самолеты могут подвергаться атмосферным электрическим разрядам, причем с увеличением размеров и скорости полета самолетов вероятность этого увеличивается. Данное обстоятельство требует от пилотов и работников службы движения тщательной оценки метеорологических условий полетов, что и предусматривается основными руководящими документами, регламентирующими летную работу.

Экипаж в полете должен внимательно следить за состоянием атмосферы и условиями полета. Если предстоит подход к зоне грозовой деятельности или сильных ливневых осадков, командир воздушного судна должен оценить возможность продолжения полета и принять соответствующее решение на обход зоны, непременно согласовав свои действия с органами управления воздушным движением.

В случае визуального обнаружения в полете мощных кучевых и (или) кучево-дождевых облаков, примыкающих к грозовым очагам, разрешается обходить их на удалении не менее 10 км. Если нет возможности обойти указанные облака на заданной высоте, разрешается визуальный полет под облаками или выше их. Под облаками полет разрешается только днем, вне зоны осадков, причем высота полета над рельефом местности и искусственными препятствиями должна быть не менее безопасной высоты полета (200 м над равнинной и холмистой местностью и 600 м в горной местности). Расстояние от высоты полета до нижней границы облака не должно быть при этом менее 200 м. В случае полета над облаками расстояние от верхней границы облака и высотой полета не должно быть менее 500 м.

Если на самолете есть бортовая РЛС, то экипажу разрешается обходить мощные кучевые и кучево-дождевые облака на удалении не менее 15 км от ближней границы засветки. Пересекать фронтальную облачность с отдельными грозовыми очагами можно в том месте, где расстояние между границами засветок на экране бортовой РЛС не менее 50 км.

В тех случаях, когда предстоит взлет или посадка в условиях сильного ливня, экипаж должен хорошо представлять степень ухудшения летных и аэродинамических характеристик ВС.

Если в полете экипаж обнаруживает вертикальные вихри, то такие вихри самолет должен обходить стороной, а вихри, связанные с кучево-дождевой облачностью, должен обходить на расстоянии не менее 30 км от их видимых боковых границ.

При полете в зоне грозовой деятельности также должны осуществляться меры безопасности полета на случай встречи с сильным сдвигом ветра, электрическими разрядами, обледенением и другими явлениями. Полный перечень всех явлений и меры безопасности, которые должен принять экипаж, предусмотрены и описаны в Наставлении по производству полетов и в Руководстве по летной эксплуатации воздушного судна данного типа.

#### *Это интересно:*

Внимательный читатель мог заметить одну интересную деталь: при облете кучево-дождевого облака расстояние от его боковой границы по визуальному определению должно быть равно 10 км, а по самолетному локатору – 15 км. Почему при определении расстояния по прибору это расстояние больше? Оказывается здесь все верно. Для того чтобы локатор зафиксировал какую-то высоту в качестве нижней или верхней границы облаков, одной облачной капли мало. За границу облачности будет принята середина объема облачного воздуха, радиолокационного отражения от которого достаточно для фиксации этой границы. Следовательно, при определении толщины облака с помощью РЛС нижняя граница всегда завышается, а верхняя – всегда занижается. Поэтому при измерении толщины облаков с помощью РЛС эти облака оказываются всегда тоньше, чем на самом деле. Вот поэтому и облетать кучево-дождевые облака при определении расстояния до них с помощью локатора нужно на большем расстоянии, чем при визуальной ориентировке.

#### 11.4. Использование данных МРЛ для диагноза и прогноза грозových очагов

Радиолокационные наблюдения обычно проводят или в ближней зоне на расстоянии до 30–40 км от расположения МРЛ, или в дальней зоне на расстоянии до 300 км. В этих зонах по особенностям структуры вертикального и горизонтального радиоэха качественно определяется форма облачности и измеряются некоторые количественные характеристики.

Обнаруженные при радиолокационных наблюдениях облака в зависимости от сопутствующих явлений погоды подразделяются на три группы.

1. *Градоопасные облака и грозвые облака с градом.* Облака, в которых образуется град диаметром 0,5 см и более, принято называть градовыми. Если высота нулевой изотермы составляет 3–4 км, то диаметр образующегося града обычно меньше 1,6–1,8 см. Такой град тает при падении, не достигая земной поверхности. Облака, в которых образуется подобный град, называются *градоносными*. Если же нулевая изотерма расположена на высоте 1,5–2,0 км, то такие облака становятся градоопасными, так как град из них обычно достигает земной поверхности. Отраженные радиосигналы от градовых и дождевых облаков значительно отличаются друг от друга. Эти отличия и используют на практике для определения характера облачности.

2. *Грозоопасные облака и ливневый дождь с грозой.* К грозоопасным облакам относятся кучево-дождевые облака в предгрозовой, грозовой и послегрозовой стадиях. Радиоэхо внутримассовых кучево-дождевых облаков прослеживается обычно 1,0–2,5 ч, а фронтальных облаков – 3–6 ч. Характерная особенность радиоэха кучево-дождевых облаков заключается в большой их вертикальной протяженности (до 13–15 км в умеренных широтах и до 16–18 км в тропических), которая часто бывает больше горизонтальных размеров радиоэха.

3. *Негрозоопасные конвективные облака и ливни.* В основном это мощные кучевые и кучево-дождевые облака, которые в процессе развития не достигают стадии грозового облака, но могут сопровождаться интенсивными восходящими движениями, развитой турбулентностью и дождями.

Количество осадков, выпавших за какой-либо период времени, можно определить по типу радиоэха и его высоте, используя статистические данные, а прогноз осадков, гроз и града основывается на использовании принципа перемещения этих явлений вместе с зоной радиоэха облачности. Заблаговременность прогноза может колебаться от 1 до 12 ч, однако наилучшие результаты получаются при сроке прогноза до 3 ч.

#### 11.5. Электризация самолетов

Современные скоростные самолеты при полете в облаках слоистых форм и в зонах осадков (особенно в виде снега) подвержены поражению электрическими разрядами, причем конвективные формы облачности непосредственно в районе поражения не отмечаются. Совершенно очевидно, что атмосфера обладает электрическими свойствами. Так как находящиеся в воздухе пылинки, капли сконденсированной влаги, частицы осадков, кристаллы льда и др. имеют электрический заряд, то самолеты в полете электризуются. Электризации само-

летов способствуют электрические свойства облаков, осадков, а также характеристика самого самолета и режим полета.

Электрические свойства облаков и осадков связаны с их фазовым состоянием (капли, кристаллы), формой, размерами, концентрацией в единице объема, электрическим зарядом частичек и напряженностью электрического поля в окрестностях облаков. Для электризации наиболее существенны такие характеристики самолета, как особенности конструкции, материалы покрытия, тип двигателей и параметры статических стекателей. Режим полета самолета определяется высотой и скоростью полета, режимом работы двигателей и используемым топливом.

Электризация самолета – сложный и неоднородный процесс, так как в полете самолет одновременно приобретает электрический заряд и теряет его. Величина электрического заряда на самолете зависит от состояния токов, заряжающих и разряжающих самолет.

*Заряд* на самолете появляется главным образом в результате взаимодействия частиц облаков и осадков с поверхностью самолета и взаимодействия частиц несгоревшего топлива с материалом выхлопной системы двигателя. Однако последней причиной часто пренебрегают, так как при нормальной работе двигателя (почти полное сгорание топлива) возникающие токи крайне малы.

На электризацию самолета существенное влияние оказывает и микроструктура облаков. Например, чем больше водность облаков, чем больше в облаке кристаллов, а не жидкой воды, тем сильнее электрические токи, заряжающие самолет. Поэтому особенно опасны мощно-кучевые, кучево-дождевые и плотные слоисто-дождевые облака. При длительном полете в высоко-слоистых и перисто-слоистых облаках также может произойти сильная электризация самолета. Повышенная электризация самолетов наблюдается обычно в облаках большой вертикальной протяженности.

*Разряд (стекание заряда с поверхности самолета)* происходит за счет проводимости горячих выхлопных газов, срыва частиц облака или осадков с поверхности самолета и коронного разряда. Разница в скоростях заряда и разряда самолета обуславливает величину электрического заряда, оставшегося на самолете после его посадки.

Электрический заряд на самолете таит в себе двойную опасность. С одной стороны, в полете электрический заряд «провоцирует» разряд молнии в самолет даже в тех случаях, когда напряженность электрического поля (без самолета) в воздухе еще не достигла пробивной напряженности. С другой стороны, после посадки при заправке самолета топливом может проскочить искра между заправочным пистолетом и открытой горловиной топливного бака со всеми вытекающими отсюда последствиями. Поэтому на многих типах самолетов предусмотрена система автоматического заземления фюзеляжа, а техник самолета после его заруливания на стоянку в первую очередь обязан заземлить самолет. Такие же проблемы подстерегают военные самолеты при их дозаправке в воздухе.

*Это интересно:*

Проблема появления электрического заряда на поверхности самолета (одни токи самолет заряжают, другие – разряжают) очень напоминает прежние школьные задачи по ариф-

метике, когда в бассейн по одной трубе поступает вода, а по трем другим – вытекает. В задаче требуется узнать, сколько воды окажется в бассейне через определенное время. С электризацией самолета происходит то же самое. Одна причина приводит к появлению заряда на самолете, а три других – к его уменьшению (стеканию). В итоге требуется определить, какой заряд останется на самолете после посадки.

И еще одно интересное обстоятельство. Электризация самолета – безусловно, опасное явление, и его нужно прогнозировать. Однако нам хочется пошуутя – пошуутя – пошуутя все опасные для авиации явления погоды разделить на две группы: опасные явления и модные опасные явления. В последнюю группу, на наш взгляд, следует включить сдвиг ветра, электризацию воздушных судов и орнитологическую обстановку. Все перечисленные явления на самом деле «имеют место быть» и на самом деле опасны для полетов. В настоящее время о них говорят и пишут значительно больше, чем о грозах, туманах и низкой облачности. Мы не присваиваем приоритеты опасным явлениям – для самолета опасны все, но сейчас больше внимания уделяется этим явлениям.

И последнее. Иногда пытаются связать НЛО (неопознанный летающий объект) и электризацию воздушных судов и наличие электрических зарядов в воздухе. При академии наук России даже существовала специальная группа, которая занималась исследованиями всех необычных явлений. Материала для исследований в этой группе очень много. Его анализ позволил сделать комиссии следующие выводы. В 50% случаев появление НЛО можно объяснить физическими законами. Еще в 40% случаев авторы сообщений нуждаются в помощи психиатра, а вот последние 10% объяснить никак не удается. Всегда говорят, что любое открытие проходит три стадии: *первая* – это не может быть, *вторая* – в этом что-то есть, *третья* – господи, как это все просто. Нам кажется, что «в этом что-то есть», а вот *что* – пусть каждый читатель решает самостоятельно.

## **11.6. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз гроз и града**

### ***11.6.1. Основные методы прогноза гроз***

*Прогноз гроз методом частицы.* Прогноз гроз методом частицы – это, пожалуй, самый простой и самый доступный метод прогноза. По данным температурно-ветрового зондирования за утренний срок синоптик обрабатывает аэрологическую диаграмму, на которой и строит кривую состояния. Как известно (об этом мы говорили ранее), кривая состояния показывает, как изолированный объем воздуха (отдельная частица) изменяет свою температуру при изменении высоты. Если после всех построений на аэрологической диаграмме оказывается, что уровень конвекции выше уровня конденсации на 4,5 км и более, то по району следует ожидать грозы, а для пункта нужно прогнозировать грозу каким-нибудь другим способом.

*Это интересно:*

Во-первых, будем считать, что совершать необходимые построения на аэрологической диаграмме вы умеете.

Во-вторых, этот метод прогноза гроз и называется «методом частицы» потому, позволяет определить параметры поднимающейся изолированной частицы воздуха, изолированного объема.

В-третьих, разрушение сети аэрологических станций в период перестройки привело, увы, к тому, что сегодня (2003 г.) от аэродрома до ближайшего пункта зондирования расстояние может составлять от 300 до 500 км, а то и больше. Вот и приходится синоптику смотреть на направление воздушных потоков, а потом уже решать, чей радиозонд в этой ситуации больше подходит для определения параметров свободной атмосферы. Это неудобно для всех, однако, ничего другого не остается делать.

Прогноз гроз по методу Н.В. Лебедевой. Для прогноза гроз, ливневых осадков и других явлений, связанных с развитием мощной кучевой и кучево-дождевой облачности, Н.В. Лебедева предложила по данным утреннего зондирования атмосферы рассчитывать параметры конвекции, по которым и определяется возможность возникновения тех или иных конвективных явлений. Назовем эти параметры:

1. Суммарный дефицит температуры точки росы на уровнях 850, 700 и 500 гПа ( $\Sigma D$ , °C). Этот параметр косвенно учитывает влияние вовлечения и характеризует возможность образования облачности в слое 850–500 гПа. Если  $\Sigma D > 25$  °C, то дальнейшие расчеты не производятся, так как при большой сухости воздуха в нижней половине тропосферы конвекция не приводит к образованию кучево-дождевых облаков. Если же  $\Sigma D \leq 25$  °C, то рассчитывается второй параметр.

2. Дефицит температуры точки росы у земли или на верхней границе приземной инверсии на момент максимального развития конвекции ( $D_0$ , °C). Если  $D_0 > 20$  °C, то уровень конденсации расположен на высоте более 2,5 км, следовательно, осадки не будут достигать поверхности земли, и дальнейшие расчеты не производятся. При такой высоте уровня конденсации, а следовательно, и высоте нижней границы облаков, капля дождя по пути к земле успеет полностью испариться. Если же уровень конденсации расположен ниже 2 км и для возникновения конвекции существуют благоприятные условия, то в этом случае следует определять все остальные параметры.

3. Толщина конвективно-неустойчивого слоя (КНС) ( $\Delta H_{\text{кнс}}$ , гПа). Каждая частица этого слоя участвует в конвекции до больших высот. Чем больше толщина КНС, тем больше вероятность образования кучево-дождевой облачности, тем больше вероятность развития грозовой деятельности (будем считать, что определять толщину КНС по аэрологической диаграмме вы еще не разучились).

4. Уровень конденсации ( $H_{\text{конд.}}$ , км). Уровень конденсации характеризует среднее положение высоты нижней границы кучево-дождевой облачности. Определение уровня конденсации также производится по аэрологической диаграмме.

5. Уровень конвекции ( $H_{\text{конв.}}$ , км). Уровень конвекции позволяет определить среднее положение вершин кучево-дождевых облаков. Совершенно очевидно, что чем выше этот уровень, тем более мощными должны быть «грозовые» облака.

6. Температура воздуха на уровне конвекции ( $T_{\text{конв}}$ , °C). Установлено, что чем ниже эта температура, тем более вероятны ливни и грозы.

7. Средняя величина отклонения температуры на кривой состояния ( $T'$ ) от температуры на кривой стратификации ( $T$ ). Это отклонение ( $\Delta T$ ) определяется по формуле

$$\Delta T = \frac{\sum_1^n (T' - T)}{n}, \quad (11.1)$$

где  $T'$  и  $T$  – температура на кривой состояния и кривой стратификации, соответственно, на уровнях, кратных 100 гПа,  $n$  – число целых слоев толщиной по 100 гПа, начиная от уровня конденсации и до уровня конвекции.

Совершенно очевидно, что чем больше  $\Delta T$ , тем больше степень неустойчивости воздуха, а следовательно, тем интенсивнее может развиваться конвекция.

8. Средняя вертикальная мощность конвективных облаков ( $\Delta H_{к.о.}$ , км). Эта величина определяется как разность высот уровня конвекции и уровня конденсации. Чем больше эта величина, тем более вероятно возникновение конвективных явлений и тем больше их интенсивность.

По результатам расчета указанных восьми параметров конвекции в соответствии с табл. 11.1 Н.В. Лебедева предлагает оценивать возможность возникновения конвективных явлений.

Таблица 11.1

**ПАРАМЕТРЫ КОНВЕКЦИИ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ КОНВЕКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ (по Н.В. Лебедевой)**

$\Sigma D$	$D_0$	$\Delta H_{кис}$	$H_{конт}$	$H_{конт}$	$T_{конт}$	$\Delta T$	$\Delta H_{к.о.}$	Конвективные явления
$> 25$	$> 20$	—	—	—	—	—	—	Не ожидаются
$\leq 25$	$\leq 16$	$> 10$	$\sim 1,5$	$> 6$	$< -23$	$> 4$	$\sim 4,5$	Слабый ливневый дождь
$\leq 20$	$\leq 14$	$> 20$	$\sim 1,5$	$> 5$	от $-23$ до $-10$	$\geq 3$	$> 3,5$	Ливневый дождь без грозы
$\leq 20$	$\leq 14$	$> 30$	$\sim 1,5$	$> 8$	$< -23$	$\geq 3$	$> 6,5$	Ливневый дождь, местами гроза
$\leq 16$	$\sim 10$	$> 60-100$	от $1,5$ до $1,0$	$> 8$	$< -23$	$\geq 3$	$> 7,5$	Сильный ливневый дождь с грозой
$\sim 16$	$\sim 10$	—	от $1,5$ до $1,0$	$> 8$	$< -23$	$> 3$	$> 7,5$	Град

Оправдываемость прогноза наличия гроз по методу Н.В. Лебедевой составляет 80%, а их отсутствия – 89%.

Метод Н.В. Лебедевой разработан, как и некоторые другие, на основе метода частицы. Далее мы рассмотрим и другие методы, в основе которых также лежит метод частицы.

Прогноз гроз по методу Бейли. Метод Бейли для прогноза гроз используется обычно в сочетании с другими методами. Бейли (США) установлены признаки отсутствия грозы. Если в каком-либо районе по данным утреннего зондирования выполняется хотя бы один из перечисленных ниже пяти признаков, то в этом районе гроза не ожидается:

- 1) на любом уровне в слое 850–700 гПа дефицит температуры точки росы равен или больше  $13^\circ\text{C}$ ;
- 2) сумма дефицитов температуры точки росы на уровнях 700 и 600 гПа больше или равна  $28^\circ\text{C}$ ;
- 3) заметная на картах барической топографии адвекция сухого воздуха на уровнях 850 и 700 гПа;
- 4) вертикальный градиент температуры в слое 850–500 гПа равен или меньше  $0,5^\circ\text{C}/100\text{ м}$ ;
- 5) уровень замерзания ( $T = -12^\circ\text{C}$ ) располагается ниже высоты 3600 м. В этом случае из развивающихся облаков могут выпадать только слабые ливневые осадки.

Если же по данным утреннего зондирования не выполняется ни один признак отсутствия грозы, то в этом районе грозу следует указывать в прогнозе погоды.

Вероятность возникновения гроз по Бейли можно определить с помощью графика, представленного на рис. 11.1.

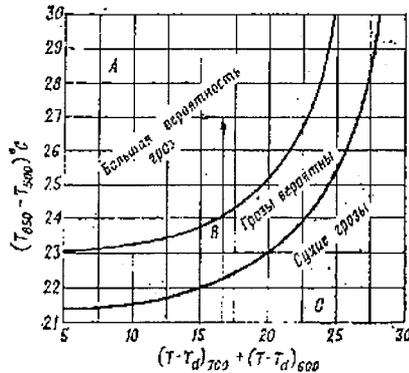


Рис. 11.1. График для прогноза гроз по методу Бейли.

На этом графике по горизонтальной оси откладывается сумма дефицитов точки росы на уровнях 700 и 600 гПа, а по вертикальной оси – разность температур на уровнях 850 и 500 гПа. Вся площадь графика разделена двумя кривыми на три области с разной вероятностью грозы. Порядок работы с графиком на всякий случай показан на рисунке стрелками.

*Это интересно:*

Бейли, разрабатывая свой метод, решил оказаться «хитрее всех». Дело в том, что гроза – явление сравнительно редкое, поэтому метод прогноза будет «работать» лучше, если прогнозировать не наличие, а отсутствие грозы. Это примерно то же самое, если бы кто-то из нас все время говорил: выиграю по лотерее автомобиль, выиграю по лотерее автомобиль... Оправдываемость такого желания близка к нулю. Другое дело, если все время говорить: не выиграю по лотерее автомобиль, я не выиграю по лотерее автомобиль... Здесь оправдываемость равна почти единице. Это, конечно, шутка, так как разумные методы оценки оправдываемости учитывают все возможные варианты.

Еще одно интересное наблюдение: посмотрите, пожалуйста, на критерии Бейли и на параметры конвекции по Н.В. Лебедевой. Пожалуй, в них вы найдете много общего, хотя метод Бейли «старше» метода Н.В. Лебедевой на добрый десяток лет.

Прогноз гроз по методу Вайтинга. Метод Вайтинга основан на расчете по данным утреннего зондирования параметра  $K$ , который определяется по формуле:

$$K = 2T_{850} - T_{500} - D_{850} - D_{700}, \quad (11.2)$$

где  $T$  – температура;  $D$  – дефицит температуры точки росы на соответствующем уровне.

Если в результате расчета окажется, что  $K < 20$ , то гроз ожидать не следует, если  $20 < K < 25$ , то следует ожидать изолированные грозы, если  $25 < K < 30$ , то в прогнозе следует указывать отдельные грозы, ну а если величина  $K > 30$  – грозы повсеместно.

Метод Вайтинга дает хорошие результаты при прогнозе гроз не по пункту, а по площади. Обычно синоптик утром, получив данные зондирования атмосферы, для своей территории (зоны ответственности), строит карту изолиний коэффициента  $K$ . Для этого сначала рассчитываются и наносятся на карту зна-

чения  $K$ , а затем проводятся изолинии через пять единиц, начиная со значения 20. Затем очаг с максимальным значением этого коэффициента переносится по потоку на 12 ч, и в том районе, где этот очаг окажется, следует указывать грозы. Данный метод получил достаточно широкое распространение по территории России. Значения коэффициента  $K$ , целесообразно уточнять для каждого пункта.

*Это интересно:*

Трудно в метеорологической литературе отыскать разъяснения по вопросу, какая разница между изолированными грозами и отдельными грозами. Только в одной старой-старой книге я нашел объяснение. *Изолированные грозы* – это такие грозы, когда грозу указывает (дает) одна из десяти наблюдательских станций, а *отдельные грозы* – это такие грозы, когда грозу дает одна из четырех наблюдательских станций.

Иногда в рассчитанные значения коэффициента  $K$  вводится поправка на кривизну приземных изобар. Величину поправки можно взять из табл. 11.2.

Таблица 11.2

**ВЕЛИЧИНА ПОПРАВКИ НА КРИВИЗНУ ПРИЗЕМНЫХ ИЗОБАР**

$R$ , км	> 1000	1000–500	500–250	< 250
$Z_p$	0	1,0	1,4	2,0
$AZ_p$	0	-1,0	-1,4	-2,0

Надеюсь, что порядок определения радиуса кривизны изобар вам, уважаемый читатель, известен.

Совершенствуя метод Вайтинга, Н.П. Фатеев предложил использовать для прогноза гроз параметр  $A$ , который полнее учитывает распределение влажности по высотам. По Н.П. Фатееву

$$A = T_{850} - T_{500} - (D_{850} + D_{700} + D_{600} + D_{500}). \quad (11.3)$$

Обозначения в формуле (11.3) пояснений не требуют. Если по расчетам получается, что  $A \geq 0$ , то в прогнозе следует указывать грозу.

Прогноз гроз по методу Фауста. Прогноз гроз по методу Фауста основан на определении разности ( $\Delta T$ ) между температурой нулевого испарения ( $T_v$ ) и температурой на уровне 500 гПа ( $T_{500}$ ). Эта разность определяется по формуле

$$\Delta T = T_v - T_{500}. \quad (11.4)$$

Иногда в полученное значение  $\Delta T$  вводят две поправки: поправку на кривизну изобар (как в методе Вайтинга) и поправку на сходимости или расходимости изобар (поправка равна  $+1^\circ\text{C}$  при сходимости изобар и  $-1^\circ\text{C}$  при их расходимости).

Сама же величина  $T_v$ , определяется по графику, представленному на рис. 11.2, осями которого являются температура воздуха на уровне 850 гПа и средний дефицит температуры точки росы на уровнях 850, 700 и 500 гПа.

Грозы следует указывать в прогнозе в тех случаях, когда  $T_v > 0$ .

На европейской части России оправдываемость наличия гроз по методу Фауста составляет 82%, а их отсутствия – 91%.

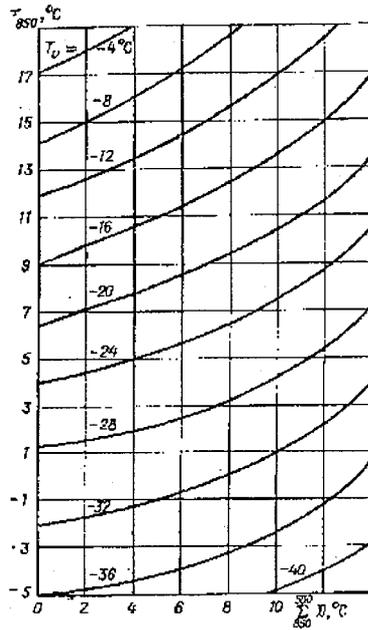


Рис. 11.2. График для определения температуры нулевого испарения.

Прогноз гроз по методу Г.Д. Решетова. Г.Д. Решетов предложил определять возможность возникновения гроз по трем параметрам, которые сравнительно легко определить по аэрологической диаграмме. Такими параметрами являются: высота вершин кучево-дождевой облачности ( $H_b$ ), значение температуры воздуха на этой высоте ( $T_b$ ) и толщина слоя облака, его верхней части, в которой наблюдаются отрицательные температуры ( $\Delta H$ ).



Рис. 11.3. График для прогноза гроз (по методу Г.Д. Решетова).

Если наблюдаются благоприятные синоптические условия, к которым Решетов относит наличие фронтальных разделов, особенно холодных фронтов,

области вблизи вершины волны, центральной части молодого или развитого циклона, окрестности точки окклюзии, ложбина в теплом секторе циклона, а также малоградиентное поле давления на приземной карте и ложбина или очаг холода на высотах, то в этих случаях следует указывать грозу.

Возможность возникновения гроз определяется по графику, представленному на рис. 11.3.

На этом графике по горизонтальной оси откладывается температура воздуха ( $T_B$ ), а по вертикальной – величина ( $\Delta H$ ). Пользование графиком не представляет никаких трудностей, а оправдываемость прогноза составляет около 90%.

Кроме перечисленных выше методов прогноза гроз, существует еще «великое множество» различных методов и методик, которые носят региональный характер, и поэтому мы не будем их рассматривать.

*Это интересно:*

Иногда грозы наблюдаются тогда, когда по прогнозу даже опытный синоптик их не ждет. Действительно, по построенной по всем правилам аэрологической диаграмме получалось, что в атмосфере на всех уровнях энергия неустойчивости отрицательная, и, следовательно, нет условий для развития конвекции. А гроза есть. В чем здесь дело? Дело в том, что при небольшой влажности воздуха у земли при классических построениях диаграммы грозы быть не должно. Однако если кривую состояния начинать строить не от земли, а от верхней границы фронтальной зоны, то может получиться сильная неустойчивость и, как следствие, – грозы. Поэтому иногда целесообразно более внимательно подойти к анализу аэрологической диаграммы, особенно в тех случаях, когда не очень уверен в том, что грозы не будет.

Иногда при внутримассовых грозах создается впечатление, что отдельное кучево-дождевое облако перемещается против потока, чего в принципе быть не может. А здесь в чем дело? Оказывается, для перемещающегося воздуха облако является какой-то «посторонней субстанцией». Поэтому при подходе к облаку, т.е. на его наветренной стороне наблюдаются восходящие потоки, а на подветренной – нисходящие. Известно, что восходящие токи приводят к образованию облачности, а нисходящие – к ее растеканию. Вот и создается впечатление, что облако «движется против ветра». На самом деле это не движение облака, а рост его с наветренной стороны, растекание с подветренной и слабое продвижение облака по потоку, по ветру.

### **11.6.2. Методы прогноза града**

Нет нужды говорить много о том, что град является опасным явлением погоды и его нужно прогнозировать. Образование градовых облаков в большинстве случаев наблюдается на активных, быстро перемещающихся атмосферных фронтах (на теплых фронтах это бывает редко), реже – при внутримассовых процессах. Выпадение града над равнинной территорией чаще всего отмечается в теплое время года в дневные часы не только на фронтах, но и на оси небольших барических ложбин в теплых секторах циклонов. Процесс образования града усиливается под очагами холода в средней тропосфере. В горных районах при благоприятных синоптических условиях град может выпадать в любое время суток.

Для прогноза града и размера градин у земли используется ряд графиков. Параметры, необходимые для входа в эти графики, рассчитываются по прогнозическим кривым стратификации и состояния атмосферы, построенным на вре-

мая максимального развития конвекции или на момент прохождения фронта через пункт прогноза.

На практике достаточно широкое распространение получил комплексный график Г.Д. Решетова, который позволяет не только спрогнозировать грозу, но и сказать будет или нет наблюдаться град.

По данным Шоуолтера, если перегрев облака относительно окружающего воздуха  $\Delta T = 13 \pm 2^\circ\text{C}$ , то практически всегда следует ожидать ливневой дождь и грозу. Шоуолтер рекомендует для определения перегрева облака строить кривую стратификации от уровня 850 гПа.

И еще одна практическая рекомендация. Если гроза ожидается на холодном фронте, а разность температур воздушных масс на этом фронте  $10^\circ\text{C}$  и более, то гроза будет обязательно. При этом, если температура холодной воздушной массы около  $10^\circ\text{C}$  и более, то следует ожидать ливневой дождь и грозу. Если же температура холодной воздушной массы около  $20^\circ\text{C}$  и более, то следует ожидать грозу, град и шквалистое усиление ветра до 20–25 м/с и более.

*Это интересно:*

Иногда можно наблюдать явления похожие на чудеса. Так, например, известны случаи, когда град выпадал при...ясном небе. Никакого чуда здесь нет. Просто сильный ветер в слое от уровня, на котором образовалась градина, до земли приводил к тому, что эта градина «вылетала из облака» и могла приземлиться на расстоянии нескольких километров впереди него. Смотрится такое явление очень интересно.

И еще одно «чудо». Знакомые летчики рассказывали автору о том, что встречали в полете «горизонтально летящий град». Однако об этом мы рассказали вам чуть раньше.

## Глава 12

# ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЮ АЭРОДРОМОВ

### 12.1. Учет климатических данных при изыскании, строительстве и оборудовании аэродромов

Изыскание, строительство, оборудование аэродромов производится с учетом всех факторов, которые будут воздействовать на аэродром. Аэродром строится на длительное время, на долгий период эксплуатации. На изыскательские работы, строительство, оборудование и эксплуатацию аэродрома затрачиваются значительные средства. Поэтому при решении вопроса о том, где и как строить аэродром, обязательно учитывается возможность его использования в различных народно-хозяйственных проектах и проектах оборонного значения. Вот почему перед началом строительства аэродрома предварительный учет воздействующих на него факторов оказывается совершенно естественным и необходимым.

При изыскании, строительстве и оборудовании аэродромов наряду с другими воздействующими факторами рассматриваются и метеорологические (климатические) условия.

Принимается во внимание и учитывается многолетний режим таких наиболее важных метеорологических величин и атмосферных явлений, как температура воздуха, атмосферное давление, ветер, облачность, осадки, видимость, гололед и др. Необходимость учета перечисленных явлений обусловлена тем, что периодические и непериодические колебания этих величин могут приводить к изменениям состояния летного поля и подъездных путей к аэродрому. Это, в свою очередь, может значительно затруднить условия эксплуатации аэродрома. Воздействие погодных условий на аэродром особенно ощутимо проявляется на полевых аэродромах, в том числе снежных, ледовых и на гидроаэродромах. Метеорологические условия – решающий фактор продолжительности эксплуатационного периода этих аэродромов.

При разработке генерального плана аэродрома обычно исходят из наиболее неблагоприятных метеорологических условий взлета и посадки самолетов и максимальной повторяемости «погоды», осложняющей работу авиации в месте расположения аэродрома. В первую очередь учитываются многолетние (климатические) сезонные изменения метеорологических величин. Учет осуществляется путем использования специально разработанных для этой цели методик и технологий. Необходимые данные, характеризующие наиболее существенные изменения метеорологических величин, получают из соответствующих климатических справочников. Детальное представление о метеорологическом режиме в районе аэродрома дает авиационно-климатическое описание (справка). Текущие изменения погоды учитываются в процессе эксплуатации аэродрома на основании фактического и ожидаемого состояния погоды. Эти сведения поступают из метеорологических органов, обеспечивающих работу данного аэропорта.

## 12.2. Влияние гидрометеорологических факторов на состояние и эксплуатацию аэродромов с естественным и искусственным покрытием

Эксплуатационное состояние аэродромов с различным покрытием взлетно-посадочных полос (ВПП), рулежных дорожек (РД) и мест стоянки самолетов (МС) определяется комплексом природных и технологических условий. К ним относятся физико-географические факторы, своевременность и регулярность профилактических мероприятий по поддержанию необходимой прочности поверхностей ВПП, РД и МС, по обеспечению требуемого сцепления колес самолета с этими поверхностями и по обеспечению эксплуатации средств механизации технического обслуживания и содержания аэродромов. Наибольшее влияние на эксплуатационное состояние аэродромов оказывают гидрометеорологические условия.

Воздействие этих условий на аэродромы с естественным и искусственным покрытием неодинаково: чем больше зависимость прочности поверхностей ВПП, РД и МС от гидрометеорологических факторов, тем сильнее это влияние. Такая зависимость характерна для грунтовых и ледовых аэродромов. Эксплуатационное состояние аэродромов с искусственным покрытием хотя и в меньшей степени, но также зависит от ряда гидрометеорологических факторов. Это относится к тем погодным явлениям, которые либо изменяют сцепление колес самолета со взлетной полосой, РД и т.д., либо определяют время, последовательность, объем и содержание работ по поддержанию в рабочем состоянии всех частей летного поля и подъездных путей.

Из сказанного выше следует, что эксплуатационное состояние аэродромов зависит в основном от прочности поверхности летного поля и нужного сцепления колес с этой поверхностью. Рассмотрим зависимость этих характеристик летного поля от гидрометеорологических факторов. При этом заметим, что прочность поверхности грунтовых (снежных) и ледовых аэродромов ( $\sigma$ ) определяется прочностью уплотненного грунта (снега) и ледяного покрова. Величина  $\sigma$  характеризует способность грунтовых (снежных, ледовых) ВПП, РД и МС выдерживать динамические и статические нагрузки при допустимой колеиности (глубины колеи), обеспечивающей нормальное руление, взлет и посадку самолета.

Прочность грунта на аэродроме зависит от геологических, гидрологических, гидрометеорологических и некоторых других факторов. К ним относятся механический состав грунта, его влажность, плотность, температура и степень уплотнения. При прочих равных условиях наибольшее влияние на прочность грунтовых поверхностей оказывает влажность грунта, его плотность и температура. Эти параметры тесно связаны между собой и в совокупности называются гидрометеорологическими показателями эксплуатационного состояния грунтовых аэродромов.

Прочность поверхности грунтовых аэродромов обычно имеет годовой ход, соответствующий изменениям в течение года влажности и плотности грунта. Так, при положительных температурах грунта повышение его влажности сопровождается уменьшением плотности и, как следствие, – понижением прочности.

В холодный период года при отрицательных температурах грунта его прочность также не остается постоянной: она изменяется в соответствии с колебаниями влажности промерзающего слоя. Прочность мерзлого слоя тем больше, чем выше его влажность перед началом промерзания.

Основные показатели проходимости самолетов на грунтовых аэродромах в теплый период года – *эксплуатационная глубина колеи*, а в холодный период – *толщина мерзлого слоя*. Эти показатели зависят от прочности грунта, конструктивных особенностей самолетов и их массы. Обычно глубина колеи не превышает 4–5 см, а толщина мерзлого слоя грунта не должна быть меньше 15–20 см.

Эксплуатационное состояние временных аэродромов (ледовых) зависит от прочности льда и состояния его поверхности. Прочность льда, в свою очередь, является сложной функцией ряда характеристик ледяного покрова (толщины льда, его температуры и солености), водного объекта (ширины, глубины, скорости течения и др.) и снега на льду (высоты, плотности, температуры и равномерности залегания). При прочих равных условиях прочность речного (озерного) льда в 1,2–1,5 раза больше прочности морского соленого льда. Неодинакова и эксплуатационная толщина льда для самолетов на колесах и на лыжах. Толщина льда для самолетов с колесными шасси должна быть примерно в 1,3–1,5 раза больше, чем для самолетов на лыжах.

Из сказанного выше становится понятным, какое важное влияние оказывают гидрометеорологические факторы на состояние и эксплуатацию аэродромов с естественным покрытием. Эти же факторы определяют сроки и продолжительность эксплуатационных периодов для грунтовых аэродромов.

*Это интересно:*

Есть одна интересная и до сих пор не решенная задача. Сформулировать ее можно примерно следующим образом. В районе аэродрома с грунтовым покрытием выпал дождь. Летное поле аэродрома «раскисло». Требуется ответить на вопрос: через какое время на этом аэродроме могут возобновиться полеты?

Эта проблема решается просто. У выпавших осадков есть три пути «покидания аэродрома»: фильтрация в почву, естественный сток и испарение. Первые две составляющие осадков при любой их интенсивности в процентном отношении величины примерно постоянные, а время испарения оставшейся части осадков будет зависеть от температуры и влажности воздуха и скорости ветра. Если мы правильно спрогнозируем количество осадков, а по нему и возможность «раскисания» аэродрома, то, правильно спрогнозировав температуру, влажность и ветер, мы можем определить, через какое время аэродром будет снова пригоден к эксплуатации. В принципе решение такой задачи интересно и для определения проходимости грунтовых дорог и езде по бездорожью. Решение этой задачи в таком плане может иметь и прикладное военное значение.

Попробуйте, уважаемый читатель, решить эту задачу. Памятника при жизни не обещаю, но вы сделаете очень интересную и нужную работу.

В значительно меньшей степени гидрометеорологические условия влияют на состояние и эксплуатацию аэродромов с искусственным покрытием. Правда, сказать, что аэродромы с искусственным покрытием совершенно не зависят от гидрометеорологических условий нельзя.

Прежде всего, при проектировании и строительстве взлетной полосы нужно не только выбрать для нее место и направление взлета и посадки, но и рассчитать и предусмотреть так называемую стоковую канализацию, чтобы при

любом количестве выпавших осадков и любой их интенсивности ВПП оставалась «сухой». На взлетную полосу с искусственным покрытием, естественно, влияет гололед, причем его влияние на бетон может быть значительно более сильным, чем на хорошо укатанный грунт.

При любом покрытии на аэродроме после выпадения снега ВПП, РД и МС нужно чистить. И опять же при искусственном покрытии взлетно-посадочной полосы требования к качеству ее очистки от снега значительно выше требований, предъявляемых к очистке грунтовой ВПП. Ну а резкие перепады температур и высокие температуры приводят к ухудшению качества швов между бетонными плитами на взлетной полосе и к необходимости строить полосу достаточно большой длины. На хорошем аэродроме длина ВПП должна быть около 3000 м, а то и больше. Если учесть, что погонный метр современной взлетной полосы стоит примерно 20 000\$, то становится понятным в какую «копеечку» обойдется такое строительство. Это обстоятельство еще раз говорит о том, что к проблемам изыскательских работ при строительстве аэродрома нужно подходить очень серьезно и грамотно учитывать все возможные аспекты его эксплуатации, в том числе и гидрометеорологические условия в районе аэродрома.

### **12.3. Влияние метеорологических условий на воздушные суда, расположенные на земле**

На воздушные суда, находящиеся на земле, воздействуют температура воздуха, ветер, осадки, электрическое состояние атмосферы, гололед и др. Влияние температуры воздуха проявляется главным образом при очень низких и очень высоких значениях температуры.

При *очень низкой температуре воздуха* существенно осложняются условия подготовки авиационной техники к эксплуатации. Иногда приходится предварительно прогревать двигатели самолета для обеспечения их запуска в строго назначенное время. При очень низкой температуре воздуха образуется твердый конденсат в авиационном топливе (керосине), что осложняет подготовку авиационной техники к эксплуатации и саму эксплуатацию. При низкой температуре затрудняется работа на открытом воздухе специалистов, готовящих самолеты к полетам. При *очень высокой температуре воздуха* также осложняется подготовка техники к эксплуатации и условия работы инженерного и технического персонала авиапредприятия. Действительно, если температура воздуха в тени (в будке) 35 °С, то поверхность самолета на солнце нагревается до 70–80 °С. Работа в таких условиях, уверяю вас, никакого удовольствия не доставляет.

При *сильном ветре* необходимо принимать меры по сохранению авиационной техники на земле. Очень сильный ветер может перевернуть самолеты, поэтому должна быть произведена их швартовка (крепление). Это значительно осложняет эксплуатацию воздушных судов.

*Осадки* (особенно смешанные) являются серьезной помехой для деятельности авиации, так как осложняют подготовку самолетов и вертолетов к полетам. Снег и лед, отлагающиеся на поверхности самолета, необходимо предварительно удалять. Производить взлет на обледенелых воздушных судах катего-

рически запрещается, так как при их попадании в облачность, содержащую переохлажденные капли, начинается интенсивное обледенение. Особую опасность представляют отложения гладкого и чистого льда (иногда бугристого льда) из-за сложности его удаления с поверхности воздушного судна.

*Статическая электризация самолетов*, которая наблюдается при метелях, снегопадах и пыльных бурях, требует неперемного заземления воздушных судов и проведения других наземных мероприятий для обеспечения безопасной работы по подготовке самолетов и вертолетов к эксплуатации.

*Гололед* отлагается на всех неукрытых деталях самолета или вертолета. Его удаление, как и удаление льда при наземном обледенении, – обязательное предварительное условие выпуска воздушного судна в полет.

Все наземные службы, обеспечивающие подготовку авиационной техники к полетам, внимательно следят за изменением метеорологических условий на аэродроме. Необходимая для работы этих служб метеорологическая информация поступает к ним от АМСГ или АМЦ, расположенного на этом же аэродроме и предназначенного для метеорологического обеспечения авиации.

#### **12.4. Авиационно-климатические описания и их использование для метеорологического обеспечения авиации**

Как отмечалось выше, для решения многих практических задач требуется предварительный учет авиационно-климатических особенностей аэродрома (района аэродрома). Авиационно-климатический режим необходимо знать и специалистам-метеорологам, так как климатические характеристики являются фоновой информацией для прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды в любое время года. Наличие авиационно-климатического описания или справки для аэродрома – обязательное требование к метеорологической службе, расположенной на аэродроме, и принимающей непосредственное участие в метеорологическом обеспечении полетов с этого аэродрома.

Авиационно-климатическое описание включает в себя предисловие, физико-географическую характеристику аэродрома (района аэродрома), авиационно-климатическую характеристику аэродрома и оценку летно-метеорологических условий для работы авиации на данном аэродроме. Каждый из перечисленных разделов авиационно-климатического описания освещает следующие вопросы.

*Предисловие* содержит сведения о материалах наблюдений или о климатических источниках, данные которых использовались для составления описания. Указывается положение метеорологической станции, освещенность района с метеорологической точки зрения, надежность авиационно-климатической информации, дается перечень метеорологических величин и явлений погоды, которые будут включены в описание, и какие величины из данного перечня требуют дополнительных уточнений.

Согласно «Наставлению по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России», на каждой авиационной метеорологической станции (АМСГ), наряду с другими видами работ по обеспечению авиации, проводятся исследования, связанные с изучением авиационно-климатических условий и разработкой соответствующих описаний.

Для авиационно-климатического описания (справки) используются результаты 5-летних наблюдений, проводившихся в данном аэропорту, на МВЛ и в районе полетов. Если период наблюдений меньше пяти лет, то в этом случае составляется временное описание.

*Физико-географическая характеристика района аэродрома* – важная часть описания, которая содержит оценку влияния орографических особенностей местности на формирование условий погоды и климата на данном аэродроме (в районе аэродрома). В ней приводятся сведения о географическом положении пункта, высоте аэродрома над уровнем моря и величине магнитного склонения. Кроме того, указываются основные особенности окружающей местности (высота и протяженность горных массивов, наличие болот, лесов и т.д.), время наступления весенней и осенней распутицы (там, где она бывает), даты наступления морозов, даты установления и схода снежного и ледового покрова. В этой же части описания оценивается влияние орографических особенностей на метеорологический режим. При этом особое внимание уделяется тем характеристикам, которые оказывают наибольшее влияние на деятельность авиации. Это, прежде всего, видимость, высота нижней границы облаков, опасные явления погоды, местное усиление ветра и т.п.

*Авиационно-климатическая характеристика аэродрома* – основная (центральная) часть описания. В ней содержатся сведения об основных метеорологических величинах и явлениях. Освещается облачность, осадки, атмосферные явления – видимость, ветер, температура, влажность воздуха, снежный покров, условия погоды различной степени сложности и др. Содержание этой части описания и детали ее составления подробно изложены в учебнике «Авиационная климатология».

Следует отметить, что для авиационно-климатических описаний очень важной является информация о повторяемости условий погоды различной степени сложности. Эта информация включает в себя данные о вероятности сочетаний нескольких метеорологических величин. Так, например, для характеристики сложных условий полетов необходимы данные одновременных наблюдений высоты нижней границы облаков 200 м и ниже и видимости 2000 м и менее, а также случаев, когда они наблюдаются раздельно. Такая комплексная характеристика позволяет оценить вероятность полетов различных воздушных судов при установленных для них минимумах погоды. Комплексные вероятностные характеристики рассчитываются в среднем или для календарного сезона, или месяца, или какого-нибудь периода суток.

Для наглядности некоторые авиационно-климатические характеристики представляются в виде графиков, таблиц или плакатов.

*Синоптико-климатическая характеристика* содержит описание синоптических процессов (в климатическом плане), обуславливающих тот или иной метеорологический режим. В этом разделе описания представлена информация о преобладающих синоптических процессах, траекториях барических образований (циклонов и антициклонов), об атмосферных фронтах и т.д.

*Оценка летно-метеорологических условий.* В этой части описания основное внимание уделено информации о наиболее сложных и наиболее простых для выполнения полетов периодах года и периодах суток. Подробно рассмат-

риваются причины (метеорологические явления), ухудшающие или улучшающие условия полетов в указанный период времени.

Особое внимание при этом уделяется выявлению синоптических процессов, обуславливающих опасные для полетов метеорологические явления, а также характеристике наблюдаемых явлений.

Квалифицированно составленное авиационно-климатическое описание – важный документ, характеризующий метеорологические условия полетов на данном аэродроме. Он используется для разных целей и разными аэродромными службами, но предназначен для решения одной задачи – более рационального планирования всех авиационных работ, или, иными словами, для оптимального использования авиационной техники на аэродроме с учетом климатических факторов. Авиационно-климатическое описание содержит только фоновые характеристики. Конкретные мероприятия, связанные с учетом погодных условий, осуществляются по текущим синоптическим материалам, которые АМСГ (АМЦ) представляет руководству авиапредприятия.

## Глава 13

# ВЛИЯНИЕ ОЗОНА И КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАЦИИ

### 13.1. Содержание озона в атмосфере и его влияние на деятельность авиации

Озон представляет собой малую примесь в атмосфере. Озон – аллотропное видоизменение кислорода с трехатомной молекулой  $O_3$ . Озон является химически нестойким соединением. В чистом воздухе при малых концентрациях он разлагается сравнительно медленно, но при повышении температуры до  $100\text{ }^\circ\text{C}$  или в присутствии двуокиси азота, хлора или тяжелых металлов разложение его происходит быстро. Озон исследуется различными методами как с поверхности земли, так и с самолетов и спутников. Озон – достаточно сильно пахнущий газ, и уже при концентрации 10–4% его запах становится заметным и узнаваемым.

В приземном слое воздуха плотность озона над континентом около  $21\text{ мкг/м}^3$ ; на побережье она возрастает до  $28\text{ мкг/м}^3$ . С высотой количество озона увеличивается. В тропической зоне озона больше, чем в других широтах. Над Антарктидой пока по невыясненным причинам озона значительно меньше.

Озон имеет большое значение для жизни на земле и термического режима разных слоев атмосферы. Он поглощает значительную часть ультрафиолетового солнечного излучения, что предохраняет все живое на земле от вымирания, так как излучение в диапазоне 250–320 нм разрушает белки и нуклеиновые кислоты.

Основная часть озона содержится в стратосфере. Здесь он в значительной степени определяет термический режим, поскольку поглощение коротковолновой солнечной радиации приводит к нагреванию озоносодержащих слоев стратосферы. Максимум содержания озона приходится на высоты 20–25 км. Согласно исследованиям, выше 70–75 км озон практически не наблюдается. Ну а содержание озона в атмосфере зависит от географической широты, времени года и высоты.

В нижней стратосфере вследствие горизонтального и вертикального обмена наблюдается значительное колебание озона. Он образуется благодаря различным фотохимическим реакциям. На содержание озона в стратосфере влияют также динамические процессы турбулентного обмена и упорядоченного горизонтального и вертикального переноса. Очень часто перечисленные процессы действуют одновременно увеличивая или уменьшая концентрацию озона в определенном районе.

Наименьшая изменчивость содержания озона наблюдается в экваториальной зоне, наибольшая – в высоких широтах северного полушария, где отмечается сезонный ход с максимумом весной.

В зависимости от широты места существенно различаются и пределы изменения общего содержания озона.

Изучением влияния озона на деятельность авиации уже давно занимаются российские и зарубежные ученые. Ими установлено, что на дозвуковые транспортные самолеты, выполняющие полеты на высотах 10 000–12 000 м, содержание озона в атмосфере практически никакого влияния не оказывает. Крейсерский полет сверхзвукового транспортного самолета (СТС) проходит на вы-

сотах 18 000–22 000 м – высоте с повышенным содержанием озона. При большой концентрации озона заметно его вредное окисляющее воздействие на некоторые материалы, используемые в самолетостроении, а также на органы дыхания человека. Максимально допустимая для человека концентрация озона в воздухе равна  $0,1 \cdot 10^{-6}$  части объема при нахождении в таких условиях в течение 8 ч в сутки. На крейсерских высотах СТС содержание озона в атмосфере превышает эту норму в 5–10 раз. Однако в служебные и пассажирские салоны самолета попадает только незначительная часть озона. Прежде чем попасть в самолет, воздух сжимается в компрессоре до нормального давления. При этом в результате сжатия он нагревается, и значительная часть озона разрушается.

По данным В.В. Осечкина, при температуре воздуха в зоне его отбора от компрессора менее 600 К в кабину сверхзвукового самолета попадает примерно 90% атмосферного озона. При температуре выше 600–650 К доля проникающего озона резко падает, а при температуре 750–850 К она становится совсем незначительной. Относительная концентрация озона в кабине СТС также зависит от температуры отбираемого воздуха, что определяется скоростью полета (кинетический нагрев). На режиме сверхзвукового полета и температуре воздуха для наддува примерно 800 К концентрация озона очень мала. Для уменьшения концентрации озона внутри СТС до безопасного предела можно применять специальные фильтры. При их достаточной эффективности отпадает необходимость обеспечивать экипажи СТС оперативной информацией о содержании озона в атмосфере.

Поскольку крейсерский режим полета СТС предусматривает скорости, значительно превышающие скорость звука, неизбежен кинетический нагрев самолета и пограничного с ним слоя атмосферного воздуха. Высокие температуры разрушают озон и существенно ослабляют его коррозирующее воздействие.

### **13.2. Космическая радиация и ее влияние на деятельность авиации**

Космическая радиация (космическое излучение) – это корпускулярная радиация сложного состава с высокой энергией и большой проникающей способностью. Она может пронизывать всю атмосферу. Космическую радиацию (космическое излучение) обычно разделяют на две группы; первичное и вторичное космическое излучение. Первичное космическое излучение проникает в атмосферу из мирового космического пространства. Частицы этого излучения – протоны, альфа-частицы (ядра гелия) и атомные ядра других элементов с очень высокой энергией. Вторичное космическое излучение – результат ионизации атомов атмосферных газов частицами первичного космического излучения. Это излучение содержит все известные виды элементарных частиц (электроны, мезоны, нейтроны, фотоны и др.).

В целом можно считать, что космическая радиация для полетов самолетов гражданской авиации, вернее для высот, на которых летают самолеты гражданской авиации, определяется первичным космическим излучением и излучением, возникающим при крупных хромосферных вспышках Солнца.

Рассмотрим кратко каждый из источников.

1. *Первичное космическое излучение.* Галактическое космическое излучение в годы максимума солнечной активности обуславливает дозу примерно в 15 млрд/сут, или около 5 рад/год (1 рад = 0,01 Дж/кг).

Из-за сильной проникающей способности первичного излучения доза мало зависит от экранирования, создаваемого корпусом самолета. При попадании компоненты первичного излучения в такой большой объект, как человеческое тело, пучок космических лучей «размножается» вследствие вторичного излучения. За счет этого доза облучения увеличивается, по крайней мере, в два раза.

Расчет возможного облучения самолета космическим излучением, соответствующий его учет и принятие мер безопасности особенно необходимы при планировании полетов по дальним трассам. Продолжительность экспедиции пилотируемого космического корабля к Марсу и обратно составит 400–500 дней. Полная доза от галактических космических лучей за это время может превысить 150 бэр (1 бэр = 0,01 Дж/кг). Следовательно, первичное космическое излучение является барьером для осуществления столь длительных полетов. Ведутся исследования различных путей преодоления этого барьера.

2. *Космические лучи солнечных вспышек.* Главная радиационная опасность при длительных полетах создается излучениями, возникающими при крупных хромосферных вспышках. Различают релятивистское и нерелятивистское солнечные космические излучения (СКИ).

При релятивистском СКИ протоны имеют энергию от 1 до 50 ГэВ, движутся со скоростями, близкими к скорости света, и достигают Земли за 10–40 мин. Вторгаясь в область беспорядочных магнитных полей, расположенную за орбитой Земли, СКИ рассеиваются и снижают свою энергию. Плотность потока протонов равна около  $2 \cdot 10^6$  частиц/с·см<sup>2</sup>, в то время как при отсутствии вспышек она составляет в космическом пространстве примерно 2 частицы/с·см<sup>2</sup>.

При нерелятивистском СКИ протоны имеют энергию от 10 до 500 МэВ. При хромосферных вспышках Солнце испускает сгустки плазмы с «вмороженным» в них магнитным полем, создающим своеобразную ловушку для заряженных частиц. «Облака» такой плазмы движутся со скоростью примерно 103 км/с. Толщина сгустков плазмы достигает  $10^8$  км. Плотность нерелятивистского СКИ может составлять  $10^9$  частиц/с·см<sup>2</sup>. Из-за диффузии в магнитных сгустках плазмы и межпланетном магнитном поле СКИ может продолжаться в течение нескольких дней и существовать значительно дольше, чем породившая его вспышка.

Говоря об опасности космической радиации на деятельность авиации, следует отметить, что для дозвуковых самолетов гражданской авиации космическая радиация особой опасности не представляет, и ее во внимание не принимают. Однако при полетах сверхзвуковых транспортных самолетов (СТС) на высотах 18 000–20 000 м и более с ней приходится считаться и принимать меры предосторожности.

*Это интересно:*

В последнем абзаце не зря говорится, что для дозвуковых самолетов именно *гражданской авиации* космическая радиация опасности не представляет. Дело в том, что на вооружении в авиации США есть дозвуковой самолет U-2, который выполняет полеты на высотах до 24 000 м. Аналогичный самолет есть на вооружении и в наших ВВС. Естественно, что при полетах этих самолетов возможное воздействие космической радиации на экипаж следует учитывать обязательно.

В атмосфере Земли доза радиации, обусловленная галактическими космическими лучами и солнечным космическим излучением, до высоты 12 км незначительна и не опасна для экипажа и пассажиров СТС. В годы максимума солнечной активности поток протонов вследствие хромосферных вспышек может породить вторичные частицы высоких энергий. Последние могут проникать в нижние слои атмосферы и иногда даже фиксируются на поверхности Земли.

При большой солнечной активности концентрация вторичных частиц, являющихся следствием хромосферных вспышек, на высотах 18–21 км может превышать предел, безопасный для человека. Особенно значительна вероятность высокой концентрации частиц в полярных областях земного шара при магнитных бурях и полярных сияниях. Опасные дозы радиации в полярных областях могут наблюдаться в период двух-трех наиболее крупных вспышек за 11-летний цикл солнечной активности. В экваториальном направлении интенсивность повышенной радиации от хромосферных вспышек становится слабее. Над умеренными широтами опасная радиация возможна один-два раза за 11-летний цикл. На высотах до 12 км полеты безопасны при самых сильных хромосферных вспышках.

Вероятность опасного облучения экипажа и пассажиров СТС неодинакова. Для пассажиров СТС, совершающих полет продолжительностью 2–3 ч, она очень мала. Для экипажа вероятность облучения возрастает вследствие более длительного его пребывания на высотах 18–21 км.

Для предотвращения вредного воздействия облучения при сильных солнечных вспышках необходимо уменьшить высоту полетов СТС приблизительно до 12 000 м или даже временно прекращать полеты.

Для обеспечения безопасности полетов СТС и космических полетов большое значение имеет прогнозирование солнечного космического излучения и возможных доз радиации. Методы подобного рода прогнозов разрабатываются на основе астрономических, радиофизических и других астрофизических наблюдений. В принципе различают три вида прогнозов СКИ: долгосрочный (стратегический) прогноз, оперативный прогноз и краткосрочный прогноз, которые в настоящее время в большей степени используются в космонавтике, а не в авиации. В данном учебнике проблемами разработки таких прогнозов, передаче их в авиапредприятия и использовании при обеспечении авиации мы заниматься не будем.

В нашей стране разработаны и на правительственном уровне утверждены нормы радиационной безопасности, которые содержат конкретные количественные значения доз для экипажей воздушных судов и пассажиров с учетом времени нахождения под воздействием облучения. Очевидно, что само понятие «радиационная безопасность» означает исключение каких-либо вредных для здоровья людей воздействий и последствий.

### *Контрольные вопросы к разделу 2*

1. Назовите основные параметры стандартной атмосферы.
2. Как влияют температура и давление на показания барометрического высотомера?
3. Как влияют температура и давление на показания указателя воздушной скорости?
4. Какие виды расходов топлива используются при штурманских расчетах и как влияют температура и давление на расход топлива?

5. Нарисуйте навигационный треугольник скоростей и назовите все его элементы.
6. Почему самолет взлетает и производит посадку против ветра?
7. Чем опасны для самолетов сдвиги ветра?
8. Дайте определение минимума погоды.
9. От каких факторов зависит видимость в атмосфере?
10. Какая разница между метеорологической и полетной видимостью?
11. Оцените условия полетов в облаках различных форм.
12. Оцените условия полетов при различных метеорологических явлениях, ухудшающих видимость.
13. Оцените условия полетов на различных атмосферных фронтах.
14. Что называется обледенением самолета?
15. Перечислите виды ледяных отложений, которые могут наблюдаться в полете.
16. В каких единицах измеряется интенсивность обледенения?
17. Как влияет скорость полета на интенсивность обледенения?
18. Какие способы борьбы с обледенением вы знаете?
19. Какие метеорологические явления называются грозой и шквалом?
20. В чем заключается опасность гроз и шквалов для авиации?
21. Как можно облетать кучево-дождевое облако?
22. Назовите основные причины электризации самолетов.
23. Как влияют гидрометеорологические условия на состояние и эксплуатацию аэродромов?
24. Как влияют метеорологические условия на воздушные суда, расположенные на земле?
25. Какое влияние на деятельность авиации оказывает атмосферный озон и космическая радиация?

## **РАЗДЕЛ 3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТОВ**

### **Глава 14**

### **ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ АВИАЦИОННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНОВ**

#### **14.1. Назначение, задачи и организация авиационных метеорологических органов**

Как отмечалось выше, при полете на воздушные суда воздействуют внешние условия, которые могут иногда создавать ситуацию, опасную для полетов. Для безопасного полета необходимо знать фактическую погоду и будущее состояние внешней среды на аэродроме вылета, маршруте полета и аэродроме посадки. Следовательно, каждый полет должен обеспечиваться в метеорологическом отношении. Это подтвердила многолетняя авиационная практика.

Своевременное доведение до руководящего, командного и летного состава, работников службы движения и других должностных лиц гражданской авиации метеорологической информации, необходимой для выполнения возложенных на них обязанностей, и представляет собой *метеорологическое обеспечение полетов в гражданской авиации*.

Метеорологическое обеспечение гражданской авиации организует Росгидромет РФ. Метеорологическое обеспечение организуется и осуществляется в соответствии с «Положением о метеорологическом обеспечении гражданской авиации», «Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации» (НМО ГА), «Нормами годности к эксплуатации аэродромов» (НГЭА) и другими нормативными документами Государственной службы гражданской авиации (ГС ГА) и Росгидромета. Ответственность за полноту, качество и своевременность этого обеспечения несет Росгидромет.

Оперативными органами Росгидромета, осуществляющими непосредственное метеорологическое обеспечение гражданской авиации в аэропортах гражданской авиации (ГА), являются следующие: Главный авиационный метеорологический центр (ГАМЦ), зональные авиаметеорологические центры (ЗАМЦ), авиаметеорологические центры (АМЦ), авиаметеорологические станции гражданские (АМСГ) I, II, III, IV разрядов, оперативные группы (ОГ) и авиационные метеорологические посты (АМП). В дальнейшем будем называть их метеорологическими органами Росгидромета. В оперативном отношении метеорологические органы подчиняются командирам авиационных подразделений или заместителям начальников аэропортов по движению.

Как уже говорилось, назначение и главная задача метеорологических органов Росгидромета – обеспечение руководящего и летного состава, а также службы движения и других должностных лиц гражданской авиации необходимой метеорологической информацией. В зависимости от класса аэродрома, авиационного подразделения, базирующегося на нем, и объема выполняемых авиационных работ назначается и организуется соответствующий оперативный орган Росгидромета.

Главный авиационный метеорологический центр (ГАМЦ) находится в Москве в аэропорту Внуково, а его филиалы – в аэропортах Домодедово, Шере-

метьево и Быково. Зональные авиационные метеорологические центры (ЗАМЦ) имеются в Новосибирске и Хабаровске, а авиационные метеорологические центры (АМЦ) во многих крупных аэропортах. Так, например, такими центрами являются: аэропорт Пулково (Санкт-Петербург), аэропорт Талаги (Архангельск), аэропорт Кольцово (Екатеринбург), аэропорт Толмачево (Новосибирск) и др.

*Это интересно:*

В настоящее время в России работает всего 12 АМЦ, 350 АМСГ, из которых 35 являются АМСГ I разряда и 15 авиационных метеопостов.

В России в системе Росгидромета служит примерно 50 тыс. человек. Из них 53% имеют высшее или среднее специальное образование. Такой уровень специалистов характерен только для авиационно-космического комплекса. По всей России специалистов, занимающихся разработкой прогнозов погоды, не более 5000 человек. Для этих «мучеников» разговор о погоде – не светская беседа, а разговор о деле. Эти же «мученики», как бы им не хотелось, ну никак не могут перевыполнить план. Попробуйте дать на работе оправдываемость прогнозов погоды на 101% – ничего не получится!

Для обеспечения безопасности, регулярности и экономической эффективности воздушных перевозок оперативным органам метеослужбы, расположенным на аэродроме, приходится решать следующие задачи:

- осуществлять непосредственное метеорологическое обеспечение полетов ГА;
- обеспечивать эксплуатацию метеорологических приборов;
- проводить региональные исследования в области авиационной метеорологии и краткосрочных прогнозов погоды;
- обеспечивать АМСГ – IV разряда и оперативные группы прогнозами погоды и предупреждениями об опасных явлениях погоды;
- проверять новые методы прогноза опасных явлений погоды;
- знакомить работников гражданской авиации, обслуживающих полеты на местных воздушных линиях, с теми разделами авиационной метеорологии, которые нужны им для выполнения своих обязанностей;
- контролировать работу оперативных групп и АМП;
- проводить занятия и принимать зачеты по авиационной метеорологии у летного и диспетчерского состава авиапредприятия;
- организовывать и проводить занятия с сотрудниками АМСГ;
- организовывать и проводить облет обслуживаемых воздушных трасс;
- обеспечивать (при необходимости) органы управления воздушным движением (УВД) информацией о вулканической деятельности.

*Это не очень интересно, но очень важно:*

Многое из только что перечисленного является пунктами НМО ГА, т.е. является обязательным для выполнения. Такие же достаточно строгие строчки из документов будут сравнительно часто встречаться в этом разделе учебника. Специального пояснения этим строкам даваться не будет, так как поступать таким образом не позволяет объем учебника. Пояснения будут даны только тем определениям, которые, на наш взгляд, в этом очень нуждаются.

Оперативные органы Росгидромета, расположенные на аэродроме, отвечают:

- за своевременность и качество метеорологического обеспечения полетов;

- за качество наблюдений на аэродроме и своевременность передачи данных этих наблюдений заинтересованным работникам ГА;
- за правильность ведения всей метеорологической документации;
- за правильность оформления и своевременность передачи телеграмм на узлы связи;
- за содержание метеорологических приборов и установок в исправном состоянии.

Для решения всех перечисленных задач требуются квалифицированные специалисты, современное техническое оборудование, помещение для работы и т.д.

Авиапредприятия, расположенные на аэродроме, обязаны для метеорологического органа, который их обслуживает, предоставлять служебные помещения, выделять линии связи и средства связи для передачи метеорологической информации, обеспечить строительство помещений для МРЛ, РДВ и другой техники, предоставлять бесплатный облет обслуживаемых воздушных трасс и заблаговременно извещать об изменении расписания полетов и доводить план полетов.

*Это интересно:*

В наше время с выполнением обязательств, указанных в последнем абзаце, часто возникают проблемы. Дело в том, что сегодня на многих аэродромах между авиапредприятием и АМСГ устанавливаются коммерческие отношения. Это значит, что авиапредприятие для АМСГ ничего не делает бесплатно. Иногда даже помещение, которое занимает АМСГ, авиапредприятие сдает метеослужбе в аренду. Поэтому все взаимоотношения между АМСГ и авиапредприятием закрепляются специальным договором, который заключается обычно сроком на один год. В этом договоре указаны все обязанности и условия, которые должна выполнять каждая сторона и за какие деньги она должна это делать.

На отдельных аэродромах иногда вместе базируется как гражданская, так и военная авиация. У военной авиации также есть «своя» метеорологическая служба. Дублировать на одном аэродроме весь комплекс работ по метеорологическому обеспечению авиации экономически невыгодно. Поэтому руководители метеорологических подразделений, расположенных на одном аэродроме, специальной местной инструкцией устанавливают общий порядок проведения метеорологических наблюдений, использования метеорологической техники и средств связи. Непосредственное обеспечение полетов производится в таких случаях по ведомственной принадлежности (гражданские синоптики обеспечивают полеты экипажей ГА, а военные – экипажей ВВС).

Если на аэродроме находится метеорологическая служба только одного (любого) ведомства, то эта служба обеспечивает полеты всех воздушных судов, которые производятся с этого аэродрома.

Гражданские и военные синоптики должны между собой согласовывать все разрабатываемые ими прогнозы погоды. Если обе метеорологические службы занимают одно помещение и работают вместе, то такое согласование производится лично, а если службы находятся в разных помещениях, то между ними должна быть установлена речевая громкоговорящая связь (ГГС).

Хочется еще раз повторить, что вся работа авиационных метеорологических органов, расположенных на аэродроме, да и всей авиации, каждой ее службы, строго регламентирована руководящими нормативными документами, которые утверждаются на самом высоком уровне как в ГС ГА, так и в Росгидромете.

## 14.2. Размещение и оборудование АМСГ

При выполнении на АМСГ работ, связанных с обеспечением полетов самолетов и вертолетов ГА, используется целый ряд приборов и систем, средств связи и другой техники. Кроме того, летный состав ГА приходит на АМСГ для получения консультации о погоде перед вылетом. Для размещения дежурной смены АМСГ, для установки приборов и другого оборудования, прежде всего, требуется «место» – служебное помещение. Это служебное помещение должно быть предоставлено метеослужбе авиапредприятием, расположенном на аэродроме. Авиапредприятие всегда предоставляет это помещение, но, к сожалению, в большинстве случаев стараются выделить под АМСГ как можно меньше площади, что создает в работе метеорологических органов на аэродромах определенные трудности.

Метеорологические органы на аэродроме должны размещаться на командно-диспетчерских пунктах или вблизи от них. Помещения, где расположены АМСГ, должны быть приспособлены для сбора и анализа метеоинформации, разработки прогнозов погоды и штормовых предупреждений, а также для консультации летного состава.

Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА) не дает конкретных рекомендаций по количеству комнат и их площади, но практика обеспечения полетов показывает, что на каждой АМСГ, где ведется прогностическая работа, имеются следующие помещения:

- комната дежурного синоптика,
- комната для консультаций летного состава,
- аппаратная,
- специальная комната,
- комната для хранения архивов и расходных материалов,
- основной, вспомогательный и дополнительные пункты наблюдений,
- помещение для размещения автономного пункта приема спутниковой информации (АППИ),
- помещение для размещения метеорологического радиолокатора (МРЛ),
- водородохранилище.

### *Это интересно:*

Очень часто при размещении АМСГ на аэродроме приходится вспоминать КЗОТ и санитарные нормы размещения работников. Так в помещениях (комнатах) полагается устанавливать столько рабочих мест (столов), чтобы на каждое место приходилось не менее 4 м<sup>2</sup> площади или 12 м<sup>3</sup> объема помещения. И еще одно интересное обстоятельство. В царской России были в разные годы построены в Петербурге две тюрьмы: одна в Петропавловской крепости, а вторая – на правом берегу Невы, известная сейчас как «Кресты». В обеих тюрьмах по замыслу архитекторов камеры были только одиночными. Площадь каждой камеры 9 м<sup>2</sup>, а высота – 3 м. Следовательно, объем камеры равен 27 м<sup>3</sup>. Именно такое количество воздуха (по медицинским нормам) нужно одному человеку в день для нормального дыхания. заключенным полагалась одна прогулка в день. За это

время камера проветривалась, и заключенные могли снова сутки дышать более или менее свежим воздухом.

В комнате дежурного синоптика оборудуется рабочее место инженера-синоптика АМСГ. Это обычный или специальный стол, на котором находится необходимый для работы синоптический материал. На столе под стеклом или в столе в отдельной папке собраны методики прогноза различных метеорологических величин и явлений погоды (описания, графики, таблицы и т.д.), которые используются в ежедневной работе. Здесь же находятся должностные инструкции лиц дежурной смены и другая документация, а также необходимые средства связи (телефон, ГГС и др.). В последнее время на многих АМСГ на столе у дежурного синоптика появляется компьютер.

В комнате для консультации летного состава на стендах размещены карты погоды, вертикальные разрезы, данные о фактической и ожидаемой погоде по направлениям (Кавказ, Урал, Сибирь, Восток и т.д.), с помощью которых летный состав самостоятельно изучает метеорологическую обстановку. В этой комнате также оборудуется рабочее место инженера-синоптика, который проводит консультации экипажей. Инженер-синоптик всегда имеет «под руками» последнюю информацию о фактической погоде и прогнозах погоды из всех аэропортов назначения. На столе находится необходимая документация, средства связи, а рядом устанавливается компьютер или пишущая машинка для заполнения метеорологической документации, которую экипажи берут с собой. Это рабочее место оборудуется магнитофоном для записи на пленку метеорологической консультации каждого экипажа.

Аппаратная предназначена для размещения радиоприемной, факсимильной и буквопечатающей аппаратуры. Практически вся метеорологическая информация, приходящая на АМСГ, проходит через аппаратную. Сюда же обычно подведены и телеграфные проводные каналы связи.

Если позволяют условия базирования и размещения, то буквопечатающую и факсимильную аппаратуру размещают в разных комнатах (для изоляции буквопечатающей аппаратуры как более шумной). В аппаратной оборудуется также рабочее место инженера (техника) для выполнения регламентных и профилактических работ на метеорологической связной технике.

*Это интересно:*

Перечисленные средства связи – это не только «вчерашний», но даже «позавчерашний» день. Однако такие средства пока еще существуют и верно служат метеослужбе. Если же появляется современная вычислительная техника и средства связи, то общие блоки, модемы, центры коммутации сообщений располагаются в бывших аппаратных, а компьютеры и мониторы – на рабочих местах дежурной смены АМСГ.

Специальная комната для работы с множительной техникой предназначена для размножения карт погоды и других документов, необходимых для обеспечения полетов. Эта комната оборудуется по специальным правилам в соответствии с существующими требованиями.

*Это интересно:*

Прежде специальная комната, действительно, использовалась для хранения множительной техники и для размножения документов. В настоящее время так строго охра-

нять множительную технику смысла нет, так как в любом офисе и в любой службе есть ксерокс, который размножает любые документы. Однако, отдавая дань прошлому, эту комнату часто называют комнатой для работы с множительной техникой. На самом же деле спецкомнату используют для работы с закрытыми материалами. Такими материалами являются зашифрованные сводки погоды, которые нужно раскодировать с помощью специальных шифровальных машин (в так называемый «особый период» погода становится закрытой информацией, и чтобы уметь ее раскодировать – нужно тренироваться). Работа с этими машинами и производится сегодня в специальных комнатах на АМСГ.

*Комната для хранения архива и расходных материалов* представляет собой склад, на котором в достаточном количестве имеются бланки различных карт, вертикальных разрезов, бюллетеней погоды и других документов. Здесь же хранятся так называемые расходные материалы и архивные материалы АМСГ. Различные документы на АМСГ в соответствии с существующим положением имеют разный срок хранения и уничтожаются по мере истечения этого срока. Так, например, факсимильные карты на АМСГ должны храниться 3 месяца, а дневники погоды – постоянно.

*Основной, вспомогательный и дополнительные пункты наблюдений.* Эти пункты наблюдений организуются для производства наблюдений на аэродроме. Оборудование пунктов наблюдений изложено в следующем параграфе.

В соответствии с существующими требованиями гидрометслужбы и техники безопасности оборудуются помещения для размещения аппаратуры АППИ, МРЛ, метеоплощадка и водородохранилище. Кроме того, при необходимости организуются рабочие места синоптиков в помещениях районного и зонального центров ЕС ОрВД.

### **14.3. Виды и объем работы на АМСГ**

Виды и объем работы на АМСГ определяются теми задачами, которые решает авиапредприятие, расположенное на аэродроме. В какой-то мере объем решаемых задач зависит от штатной численности АМСГ и ее укомплектованности специалистами.

Действительно, если на одном аэродроме в течение суток производится один-два десятка вылетов самолетов, да и то только по местным воздушным линиям и в дневное время, а на другом аэродроме таких вылетов в течение всех суток больше сотни, а один-два десятка – международные, то совершенно очевидно, что на этих АМСГ необходимо выполнять разный объем работ.

Если на АМСГ первого аэродрома один синоптик в состоянии справиться и с разработкой прогнозов, и с консультацией экипажей, и с оформлением документации, так как здесь в среднем за час происходит один вылет самолета, то на АМСГ второго аэродрома на обслуживание каждого экипажа в часы «пик» расписания у синоптика не более пяти минут. Поэтому не один, а иногда 3–4 инженера-синоптика одновременно работают на АМСГ (АМЦ).

Однако, несмотря на различную загрузку аэропортов, а, следовательно, и различную загрузку АМСГ на них, на каждой АМСГ можно выделить следующие основные виды работ:

- производство наблюдений;
- оперативно-прогностическая работа;
- информационная работа;

– методическая работа.

Рассмотрим каждый вид работ, который выполняют на АМСГ, более подробно.

На АМСГ проводятся *метеорологические, аэрологические и радиолокационные наблюдения*. Выполняют их техники-метеорологи. Порядок проведения наблюдений на АМСГ рассмотрен в следующем параграфе.

*Оперативно-прогностическая работа*, которой занимается инженер-синоптик, заключается в составлении авиационных прогнозов погоды на разные сроки и для разных целей. Совершенно очевидно, что при этом обязательно учитывается расписание полетов в аэропорту. Кроме того, этот вид работы включает в себя и разработку штормовых предупреждений по обслуживаемой территории, так как штормовое предупреждение также является прогнозом. Оперативно-прогностическая работа требует от инженера-синоптика хорошей подготовки в области краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов, внимательного слежения за расписанием полетов и за рейсами (воздушными судами), вылетающими вне расписания. Синоптику также необходимо знать местные особенности возникновения опасных для авиации явлений погоды, так как неучет местных факторов приведет к тому, что оправдываемость прогнозов будет низкой.

*Информационная работа* заключается в своевременном доведении до специалистов ГА и метеослужбы той метеорологической информации, которая им необходима для выполнения своих служебных обязанностей. Этот вид работы по своей важности не уступает оперативно-прогностической работе. Сюда входит и своевременная информация синоптика «своим» метеонаблюдателем об изменении фактической погоды на аэродроме, и консультация (плановая, по вызову или штормовому предупреждению) руководства авиапредприятия и командования авиаотряда, и консультация экипажей воздушных судов, и консультация органов УВД, а также дежурной смены РЦ (ЗЦ) ЕС ОрВД, и консультация (предупреждение) наземных служб ГА в тех случаях, когда изменение погоды может вывести из строя авиационную технику или аэродромные сооружения (шквалы, снежные заносы и т.д.), и взаимный обмен информацией с дежурным синоптиком соседнего аэродрома, и передача информации о погоде службам города, в котором находится аэропорт и многое другое.

Эта информационная работа требует от синоптика отличного знания порядка передачи той или иной метеоинформации, знания метеорологической и воздушной обстановки в зоне ответственности, умения быстро реагировать на изменившуюся ситуацию. К сожалению, даже проводя в вузе деловые игры, этому трудно научить студентов. Все навыки четких действий, связанных с выполнением информационной работы, приходят на практике. Поэтому, чем быстрее молодой выпускник освоит этот вид работы, тем скорее он сможет стать хорошим специалистом.

*Методическая работа* на АМСГ заключается в составлении и периодическом обновлении авиационно-климатических описаний аэродрома, изучении местных особенностей возникновения опасных для авиации явлений погоды, разработке и проверке новых методов прогноза отдельных метеорологических величин как непосредственно разработанных на АМСГ, так и присланных на проверку из вышестоящих органов Росгидромета. Методическая работа вклю-

чают также проведение занятий по авиационной метеорологии с командным, летным и диспетчерским составом авиапредприятия.

Чтобы успешно справляться с различными методическими задачами, инженеру-синоптику необходимо не только хорошо знать авиационную метеорологию, синоптическую метеорологию, климатологию, математическую статистику и другие дисциплины, но и уверенно ориентироваться в вопросах, связанных с выполнением летной работы и управлением воздушным движением. Кроме того, надо достаточно хорошо знать текущие и перспективные задачи авиапредприятия, метеорологическим обеспечением которого приходится заниматься.

Многие виды работ на АМСГ выполняет дежурная смена. В состав дежурной смены входят старший инженер-синоптик (старший смены), инженеры-синоптики (1–3 человека в зависимости от объема работы на АМСГ), инженер (техник) по приборам, старший техник-наблюдатель и техник-наблюдатель, начальник узла связи (радиоаппаратной) и радиооператоры.

Руководит всей работой на АМСГ ее *начальник*. В его обязанности входит:

- организация метеорологического обеспечения полетов,
- содержание в образцовом состоянии метеорологических приборов и оборудования,
- систематический контроль за оперативной работой дежурных смен АМСГ и непосредственное участие в этой работе при сложной метеорологической обстановке,
- организация и проведение занятий с работниками АМСГ и ГА,
- проведение инспекций и проверок АМСГ более низких разрядов,
- ведение учета возврата и задержек воздушных судов по метеорологическим условиям и др.

Основные обязанности должностных лиц дежурной смены заключаются в следующем.

*Старший инженер-синоптик (старший смены)* осуществляет контроль за качеством приема и обработки синоптического и аэрологического материала, за соблюдением синоптиками установленных требований при разработке прогнозов погоды, за работой техников-наблюдателей, а также осуществляет учет оправдываемости авиационных прогнозов погоды, контроль за использованием в оперативной практике расчетных методов прогноза и замещает начальника АМСГ в период его отсутствия. Под руководством старшего инженера-синоптика и непосредственно с его участием разрабатываются все прогнозы погоды.

*Дежурный инженер-синоптик* обязан обеспечивать работников ГА консультациями, прогнозами погоды и предупреждениями об опасных явлениях погоды и информацией о фактической погоде в районе аэродрома и по трассам, своевременно анализировать синоптический и аэрологический материал, поступающий на АМСГ, контролировать своевременность поступления на АМСГ оперативной метеорологической информации, знать воздушную обстановку, контролировать работу дежурной смены и при необходимости – участвовать в полетах на разведку погоды.

*Инженер (техник) по приборам* обязан знать устройство и правила эксплуатации всех приборов, используемых на АМСГ, содержать приборы и установки в рабочем состоянии и проводить занятия с техниками-наблюдателями.

*Старший техник-наблюдатель (техник-наблюдатель)* обязан содержать в порядке метеорологическую площадку и водородохранилище, производить метеорологические и шаропилотные наблюдения, составлять и передавать телеграммы с информацией о погоде в установленные адреса и сроки, постоянно наблюдать за погодой и при необходимости – предупреждать об ее изменении инженера-синоптика и работников авиапредприятия.

*Начальник узла связи (радиоаппаратной)* на АМСГ обеспечивает эксплуатацию фототелеграфной и буквопечатающей аппаратуры и ее ремонт, проведение занятий с радиооператорами и принимает участие в составлении расписания работы радиометцентра.

Подробно обязанности всех должностных лиц изложены в НМО ГА.

*Это интересно:*

Уже было сказано, уважаемый читатель, что существующая на АМСГ техника и средства связи в какой-то мере устарели. Но, что поделаешь?!? Они оказались «живучими». Если же на АМСГ появляется компьютерная техника, то, естественно, в этом случае все меняется: и технология производства наблюдений, и технология передачи информации, технология проведения консультаций и даже технология разработки прогнозов погоды. Мы как раз живем в период «компьютеризации метеослужбы». Появление на АМСГ новой техники требует от ее сотрудников нового мышления, а от начальника – новой инструкции по эксплуатации этой техники и новой должностной инструкции для дежурной смены.

При круглосуточной работе АМСГ у инженеров-синоптиков и всей дежурной смены работа обычно организуется по четырехдневному циклу (так называемая «четырёхсменка»): 1-й день – дневная смена с 9 до 21 ч, 2-3-й дни – ночная смена с 21 до 9 ч и 4-й день – выходной. Следовательно, и это вполне естественно, на АМСГ работают днем и ночью, в праздники и будни.

Чтобы у работников АМСГ не было переработки в соответствии с трудовым законодательством в период отпусков или болезни кого-либо из сотрудников, в дежурную смену включаются поддежурные инженеры-синоптики. В период полностью укомплектованных штатов на АМСГ поддежурные по заданию начальника АМСГ выполняют какой-либо вид работы, а в случае не полностью укомплектованных штатов – выполняют обязанности дежурного синоптика.

#### **14.4. Организация наблюдений на АМСГ**

Для осуществления метеорологического обеспечения полетов необходима исходная информация – данные метеорологических, аэрологических, радиолокационных и спутниковых наблюдений. Эти наблюдения (регулярные и эпизодические) ведутся во всех метеорологических органах в объеме и в сроки, соответствующие возможностям метеорологического органа и установленному порядку его работы. Организация, программа и порядок наблюдений определяется НМО ГА.

*Метеорологические наблюдения.* Для производства метеорологических наблюдений на аэродроме создаются следующие пункты: основной пункт наблю-

дений (ОПН), вспомогательный пункт наблюдений (ВПН) и дополнительные пункты наблюдений (ДПН). ОПН создается на аэродроме любого класса, включая неклассифицированные аэродромы и посадочные площадки, а ВПН и ДПН – в зависимости от конкретных условий эксплуатации аэродрома.

Если аэродром оборудован системами посадки, то ОПН располагается на стартовом диспетчерском пункте (СДП) того курса, с которым наиболее часто производится взлет и посадка воздушных судов. Если системы посадки на аэродроме нет, то ОПН оборудуется на контрольно-диспетчерском пункте (КДП). Место для производства наблюдений должно обеспечивать хороший обзор летного поля и подходов к нему. Рядом с ОПН размещается метеорологическая площадка с приборами, обеспечивающими производство наблюдений. ВПН располагается у противоположного основному старту торца ВПП на СДП. Вспомогательный пункт наблюдений оборудуется такими же приборами, как и ОПН (рядом с ним нет только метеоплощадки). Дополнительные пункты наблюдений размещаются на ближних приводных радиомаркерах (БПРМ) для наблюдений за высотой нижней границы облаков, видимости и опасными для полетов метеорологическими явлениями. Выезд техника-наблюдателя на ДПН производится по фактической или прогнозируемой высоте нижней границы облаков 200 м и менее. Доставка техника-наблюдателя на ДПН обеспечивается руководителем полетов (старшим диспетчером). Основным пунктом наблюдений должен быть оснащен прямой громкоговорящей связью с синоптиком, с рабочими местами диспетчеров УВД и другими службами аэропорта.

Метеорологические наблюдения производятся непрерывно. На аэродромах с круглосуточной работой наблюдения проводятся ежечасно, а при наличии полетов – через 30 мин. На аэродромах с некруглосуточной работой метеорологические наблюдения должны начинаться за 2 ч до вылета первого самолета.

*Это интересно:*

Представьте, уважаемый читатель, такую картину. Лето, тепло, световой день продолжается очень долго, и уже в 6 часов утра становится светло. Летчикам очень удобно, особенно при выполнении полетов на аэрофотосъемку, начинать полеты пораньше, чтобы еще не было облаков. Вот такие полеты и начинаются летом в шесть утра. А теперь давайте с вами «читать назад». Чтобы самолет вылетел в 6 ч нужно начать наблюдать за погодой в 4 ч. Примерно час нужен на дорогу от дома до аэропорта и еще час на сборы, чашечку кофе и т.д. Итак, встать нужно в два часа – стоит ли ложиться?! Вот поэтому часто на аэродромах даже с некруглосуточной работой наблюдения проводятся круглосуточно, а синоптическая работа ведется в зависимости от плана полетов. Синоптика и всех заинтересованных лиц служебный автобус ночью «соберет» по городу и доставит в аэропорт, а там уже каждый займется своим делом: техники за 2 ч подготовят самолет к вылету, диспетчерская служба «утрясет» все свои вопросы, а синоптик успеет ознакомиться с погодой и разработать прогноз погоды.

Метеорологические наблюдения делятся на *регулярные, специальные и выборочные*.

*Регулярные* наблюдения, как только что об этом было сказано, проводятся ежечасно или через 30 мин в зависимости от наличия полетов на аэродроме. Кроме того, по программе регулярных наблюдений проводятся наблюдения по сигналу «Тревога». Этот сигнал поступает на АМСГ от старшего авиационного начальника на аэродроме и передается в том случае, когда в районе аэродрома

произошло летное происшествие. Объем регулярных наблюдений включает в себя наблюдения за следующими метеорологическими величинами:

- направлением и скоростью ветра,
- видимостью и видимостью на ВПП,
- явлениями погоды,
- облачностью,
- температурой и точкой росы,
- относительной влажностью,
- атмосферным давлением.

Результаты всех наблюдений включаются в сводки, которые могут передаваться открытым текстом или международными кодами METAR или SPECI. Форматы кодов мы рассмотрим позднее.

Официальными данными о погоде на аэродроме, по которым принимается решение на прием, выпуск и полет воздушных судов, являются данные метеорологических наблюдений, полученные от оперативных органов Росгидромета, расположенных на этом аэродроме.

Специальные наблюдения проводятся в соответствии с перечнем критериев об улучшении или ухудшении погоды, составленным на АМСГ совместно с руководством авиапредприятия и органами УВД, расположенными на аэродроме. Обычно эти критерии совпадают или близки к установленным различным значениям минимумов аэродрома. Специальные наблюдения проводятся сразу же после возникновения на аэродроме явления, указанного в перечне. Результаты специальных наблюдений используются только на своем аэродроме и по каналам связи на другие АМСГ не передаются.

Выборочные наблюдения – это также специальные наблюдения, но только за отдельными величинами, а не за всем комплексом погодных условий. Результаты выборочных наблюдений, в отличие от наблюдений специальных, как раз используются для передачи на соседние АМСГ. Эти наблюдения проводятся и регистрируются в тех случаях, когда изменения в погоде соответствуют определенным критериям, которые согласовываются на АМСГ с руководством авиапредприятия и диспетчерской службой. Результаты выборочных наблюдений при ухудшении погоды передаются сразу же после того, как это ухудшение зафиксировано наблюдателем, а при улучшении погоды – передаются в установленные адреса только через 10 мин после того, как это было зафиксировано. Данные выборочных наблюдений передаются только в адреса тех пунктов (аэродромов), которые находятся на удалении до 2 ч полетного времени от аэродрома, на котором эти наблюдения производились.

Независимо от того, какие метеорологические наблюдения производились (регулярные, выборочные или специальные), методы и практика наблюдений за метеорологическими величинами одинаковая:

Приземный ветер. На АМСГ необходимо измерять направление и скорость ветра и проводить осреднение за 2 или 10 мин. Период осреднения данных наблюдений за приземным ветром, используемых для взлета и посадки, должен составлять 2 мин, поскольку было доказано, что при таком осреднении получается наиболее вероятное значение ветра, которое будет влиять на воздушное судно на этих этапах полета. Для метеорологической информации,

распространяемой за пределы аэродрома, период осреднения должен составлять 10 мин.

В сообщениях, распространяемых на аэродроме и передаваемых на борт ВС, фигурирует магнитный ветер, т.е. ветер, в направлении которого вводится поправка на магнитное склонение. Эта поправка учитывается в тех случаях, когда магнитное склонение по абсолютной величине больше 5 градусов. Истинное направление ветра указывается в сообщениях, распространяемых за пределы аэропорта.

В дополнение к измерениям среднего ветра определяют также отклонения ветра от среднего значения (порывы), выбирая максимальную скорость ветра за предыдущие 10 мин.

Направление ветра оценивается всегда в градусах с округлением до ближайшего десятка, а скорость ветра – в м/с (в некоторых странах в км/ч или узлах).

*Видимость.* Наблюдения за видимостью производятся с помощью приборов или ориентиров видимости (дневных или ночных). Если на аэродроме есть система посадки, а таких аэродромов большинство, то видимость определяется только вдоль ВПП. Инструментальные наблюдения за видимостью обязательно проводятся со значений видимости в 2000 м и менее. Если длина ВПП меньше 2 км, то видимость измеряется у концов взлетной полосы, а если длина ВПП больше 2 км, то у середины полосы и у рабочего старта. В обоих случаях в сводки включается меньшее из двух значений видимости.

При значениях видимости от 50 до 1500 м необходимо измерять видимость на ВПП. Период осреднения для данных наблюдений за видимостью составляет 2 мин, однако, при этом происходит не простое арифметическое осреднение за этот период. Осреднение значений видимости производится за каждую из двух минут отдельно, а затем из двух полученных средних значений видимости выбирается наименьшее.

Полученное значение видимости всегда округляется в меньшую сторону. Если значение видимости менее 500 м, то округление производится до 50 м, если видимость изменяется в пределах от 500 до 5000 м, то округление следует производить до 100 м. При видимости более 5000 м округление производят до 1 км.

*Явления погоды.* Наблюдения за явлениями погоды на аэродроме проводятся всегда визуально. Информация обо всех явлениях передается пользователям или открытым текстом, или кодом METAR с использованием таблицы 4678 этого кода. По сути дела в этой таблице указаны практически все опасные явления погоды, и здесь нет смысла их перечислять. Авиационные метеорологические коды и их формы и форматы будут рассмотрены ниже.

*Облачность.* Наблюдения за облаками составляют визуальные наблюдения за физическими характеристиками облачности, включая ее протяженность в вертикальном и горизонтальном направлениях, за структурой и формой, а также инструментальные наблюдения за высотой нижней границы и направлением и скоростью смещения. В сообщениях в следующем порядке включаются данные о количестве облачности в октантах, форме облаков (только если наблюдается мощно-кучевая или кучево-дождевая облачность) и высоте нижней границы облаков над аэродромом. В тех случаях, когда нижняя граница облачности размыта, разорвана или быстро меняется, приводятся минимальные зна-

чения высоты облаков. Значения высоты нижней границы облачности, передаваемые авиационному пользователю, является минимальным за период 10 мин. Информация об облачности содержит данные как об общем количестве облаков, так и отдельно об облачности нижнего яруса. В одной сводке (информации) об облачности могут сообщаться сведения о четырех слоях облаков, причем информация о них передается начиная с самого нижнего слоя. Высота нижней границы облаков включается с округлением до 10 м в меньшую сторону. Если наблюдается облачность высотой более 200 м, то измерять высоту облаков можно в любой точке аэродрома (чаще всего это ОПН), а если высота облаков ниже 200 м, то измерение высоты облачности должно производиться на БПРМ рабочего старта. При превышении торца ВПП и БПРМ более чем на 10 м, в показания прибора следует вводить поправку. Если в тумане или других явлениях высоту облаков определить невозможно, то вместо высоты облаков в сводках указывается вертикальная видимость, а при количестве облаков в 4 октанта и менее допускается визуальное определение высоты нижней границы облачности.

*Температура воздуха и температура точки росы.* Авиацию интересует, прежде всего, температура воздуха на уровне воздухозаборников двигателей над ВПП, однако проводить наблюдения в таких местах невозможно. Поэтому наблюдения за температурой сухого и смоченного термометра производятся на метеоплощадке, и эти данные являются достаточно репрезентативными. По этим данным с помощью психрометрических таблиц определяется температура точки росы. Температура воздуха и точка росы измеряются до десятых долей градуса, однако в сводках эти температуры передаются в целых градусах, и округление производится до ближайшего целого значения.

*Относительная влажность воздуха.* Относительная влажность воздуха «в лоб» на аэродроме не измеряется. Обычно на аэродроме измеряют температуру сухого и смоченного термометра, по ним, используя психрометрические таблицы, определяют температуру точки росы и относительную влажность воздуха. Потребителям значение относительной влажности передается в процентах с округлением до целых чисел.

*Атмосферное давление.* Атмосферное давление на АМСГ измеряется ртутными барометрами или барометрами-анероидами. Показания барометра округляются до ближайшей десятой доли гПа или мм рт. ст. В сводках, распространяемых на своем аэродроме, указывается давление в мм рт. ст., приведенное к уровню рабочего старта ВПП, а в сводках, передаваемых на другие аэродромы, давление указывается в гПа, приведенное к уровню моря. Порядок внесения поправок в показания барометра вам должен быть известен из других курсов.

В принципе проведение метеорологических наблюдений на аэродроме не отличается от проведения наблюдений на любых других станциях. Однако авиация является «очень капризным» потребителем нашей информации. Ей требуется подробно все знать о видимости, высоте нижней границы облаков, ветре и других характеристиках, которые могут весьма значительно различаться на небольших расстояниях и быстро изменяться во времени.

Репрезентативные данные наблюдений за такими метеорологическими параметрами получают благодаря использованию датчиков, размещенных надле-

жащим образом и нужных «местах». Грамотное размещение датчиков определено в «Нормах годности к эксплуатации гражданских аэродромов» (НГЭА).

Обычно на аэродромах не проводятся наблюдения за количеством выпавших осадков и за интенсивностью гололедно-изморозевых отложений. Однако в тех случаях, когда в пункте, где расположен аэродром, другой метеорологической станции нет, приходится проводить наблюдения и за этими явлениями.

Если же на аэродроме или посадочной площадке совсем нет метеорологической службы, то наблюдения на таких аэродромах проводят работники гражданской авиации. Это или диспетчер, или даже командир экипажа. Естественно, что эти лица предварительно должны пройти специальную подготовку, а их допуск к производству метеорологических наблюдений осуществляется согласно правилам, которые совместно установлены ГС ГА и Росгидрометом.

Аэрологические наблюдения. На аэродромах проводятся только шаропилотные наблюдения. Эти наблюдения должны проводиться всегда через три часа в основные синоптические сроки. Кроме этого шар-пилот может выпускаться в любое другое время по указанию дежурного синоптика или оперативного руководства авиационного подразделения, расположенного на аэродроме. При любом выпуске шара-пилота этот выпуск должен быть согласован со службой УВД аэродрома.

*Это интересно:*

То, что вы только что прочли, записано в соответствующих руководящих документах. Однако в последнее время так делается, к сожалению, не всегда. Дело в том, что даже шаропилотные наблюдения являются достаточно «дорогим удовольствием». Поэтому на АМСГ иногда просто экономят оболочки и водород, а иногда просто нет в наличии ни того, ни другого. Конечно, у хорошего начальника АМСГ всегда есть «в запасе» несколько оболочек и баллон с водородом, но этот неприкосновенный запас держится на самый крайний случай, когда без выпуска шара-пилота просто не обойтись.

С помощью шаропилотных наблюдений определяется ветер на высоте 100 м, на высоте круга и на других высотах. Допускается использование аэрологических данных других станций, если эти станции находятся на расстоянии менее 10 км от контрольной точки аэродрома (о том, что принимается на аэродроме за КТА, мы вам рассказывали выше). Занимаются выпуском шаров-пилотов техники-наблюдатели.

Шаропилотные наблюдения на аэродроме не производятся в тех случаях, если:

- высота нижней границы облаков на аэродроме менее 150 м;
- скорость ветра у земли более 15 м/с;
- температура воздуха у земли выше 40 °С или ниже –30 °С;
- на аэродроме наблюдаются грозы, жидкие или смешанные осадки.

*Это интересно:*

Введенные ограничения на выпуск шара-пилота имеют достаточно обоснованный логический смысл. Известно, что вертикальная скорость шара близка к 200 м/мин, поэтому при высоте облаков 150 м мы получим всего одну информацию о ветре на высоте 100 м (через 30 с). При скорости ветра у земли более 15 м/с очень трудно «поймать» шар в теодолите, так как он летит почти горизонтально. При низких температурах очень сложно подготовить оболочку к выпуску и наблюдать за шаром, а при высоких темпера-

турах достаточна велика опасность взрыва водорода. Влияние гроз на шаропилотные наблюдения, пожалуй, понятно, а жидкие или смешанные осадки, попадая на объектив теодолита, мешают наблюдению.

В тех случаях, когда по каким-то причинам шаропилотные наблюдения не производились, дежурный синоптик обязан дать самостоятельно прогноз ветра на высотах или воспользоваться данными, передаваемыми с бортов воздушных судов.

Радиолокационные наблюдения. Радиолокационные наблюдения на аэродроме производятся за облачностью, грозowymi очагами, зонами града и ливневых осадков. Если на аэродроме есть метеорологический радиолокатор (МРЛ), то радиолокационные наблюдения проводятся регулярно. В период полетов эти наблюдения должны проводиться ежедневно, а при отсутствии полетов – через 3 ч. По согласованию с диспетчерской службой при отсутствии облачности даже во время полетов радиолокационные наблюдения могут проводиться через 3 ч. Грозопеленгаторы, установленные на аэродроме, должны использоваться совместно с МРЛ или автономно для получения информации о местоположении грозowych очагов. Результаты наблюдений грозопеленгаторов наносятся на радиолокационную карту совместно с данными МРЛ или отдельно и используются в оперативно-прогностической работе на АМСГ. В тех случаях, когда на аэродроме нет МРЛ, радиолокационные наблюдения производятся эпизодически по запросу дежурного синоптика с помощью диспетчерского радиолокатора.

*Это интересно:*

Принцип работы диспетчерского радиолокатора и МРЛ практически одинаков. Разница только в том, что диспетчер на своем локаторе должен видеть цели (самолеты), находящиеся даже в зоне сплошной и достаточно мощной облачности. Для диспетчера облака – помеха. Поэтому в диспетчерском локаторе установлен специальный фильтр, который позволяет оператору избавиться от засветок, которые дают облака. Нам же как раз и нужно посмотреть на эту «помеху». При необходимости провести радиолокационные наблюдения синоптик связывается с диспетчером (чаще всего просто приходит к нему на рабочее место) и просит на короткое время выключить фильтр. Обычно антенна станции вращается со скоростью 6 об/мин, следовательно, один оборот антенна делает за 10 с. Опытному синоптику достаточно двух оборотов антенны для того, чтобы оценить радиолокационную обстановку. За 20 с даже при скорости полета 900 км/ч (250 м/с) самолет улетит и сместится на экране локатора всего на 5 км. За такое время диспетчер не успеет на экране «потерять» самолет, и если позволяет воздушная обстановка, без всяких опасений может на 20 с выключить фильтр и дать возможность синоптику ознакомиться с радиолокационной обстановкой, тем более что и диспетчеру ее тоже нужно знать.

По существующим правилам радиолокационные наблюдения можно проводить с помощью МРЛ или диспетчерских локаторов, установленных на расстоянии не более 50 км от аэродрома.

Спутниковые наблюдения. В зависимости от наличия на АМСГ специальной аппаратуры для приема спутниковой информации на станции возможен прием информации непосредственно от ИСЗ в масштабе реального времени или прием снимков облачности или монтажей. Последняя указанная информация получается со значительным запаздыванием. Полученные данные используются дежурным синоптиком при разработке прогнозов погоды и передаются службам УВД и при

необходимости – руководству авиапредприятия. Детали анализа спутниковой информации излагаются в специальном курсе.

*Наблюдения и донесения с бортов воздушных судов.* Наблюдения, проводимые с бортов ВС, используются для получения информации о турбулентности, обледенении, сдвиге ветра и других опасных явлениях. Эти наблюдения проводятся или экипажем воздушного судна (что бывает чаще всего), или синоптиком, который включен в состав экипажа и прошел предварительно специальную подготовку.

Наблюдения и донесения с борта воздушного судна подразделяются на следующие виды:

– *наблюдения на этапе набора высоты и снижения.* На этих этапах полета экипаж может определить высоту нижней и верхней границы облаков, наличие турбулентности и обледенения, сдвиг ветра и ветер на высоте 100 м и на высоте круга. Полученная экипажем информация на взлете передается после того, как воздушное судно достигло безопасной высоты полета, а при снижении – до того момента, пока ВС не достигло безопасной высоты полета или после посадки;

– *наблюдения при полетах по трассе или по району.* При полете по трассе (району) экипаж воздушного судна определяет наличие турбулентности, обледенения и других опасных явлений погоды, которые могут помешать другим воздушным судам. Информация об этих явлениях передается сразу же после их обнаружения диспетчеру и в дальнейшем используется при консультации экипажей;

– *специальные и другие нерегулярные наблюдения.* Нерегулярные наблюдения с бортов ВС проводятся по запросу синоптика АМСГ через органы управления воздушным движением. Командир ВС по запросу диспетчера (для синоптика) должен передать на землю данные о турбулентности, обледенении, ветре, температуре или других явлениях в районе своего местонахождения;

– *наблюдения по специальной форме (AIREP) при выполнении международных полетов.* Порядок проведения этих наблюдений определяется специальной инструкцией и здесь рассматриваться не будет.

Данные наблюдений и донесений с бортов ВС фиксируются в специальном журнале на АМСГ, а на борту ВС записываются на бланк «Бортовая погода», который после приземления ВС должен отдаваться на АМСГ. Кроме того, передавая этот бланк дежурному синоптику, командир экипажа или штурман (тот член экипажа, который принес на АМСГ бланк) устно передает информацию об условиях полета по маршруту.

Детали метеорологических, аэрологических и радиолокационных наблюдений, их объем, сроки, детализация, документирование, порядок доклада руководящему и летному составу и работникам службы движения излагается в НМО ГА, а состав и размещение оборудования и приборов на аэродромах ГА – в НГЭА.

## Глава 15

# СБОР И РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА АМСГ

### 15.1. Основные источники метеорологической информации

В основе работы по метеорологическому обеспечению авиации лежит сбор и распространение метеорологической информации. Действительно, трудно представить работу АМСГ, если на эту станцию не поступает ни одного сообщения о погоде. Зная только «погоду над собой» невозможно грамотно обеспечить экипаж воздушного судна метеорологической информацией, даже если этот экипаж выполняет полет по местным воздушным линиям.

Поэтому сбору и распространению метеорологической информации в Росгидромете уделялось и уделяется большое внимание.

Источники информации могут быть различными: от метеорологического спутника Земли до метеонаблюдателя авиационного метеорологического поста, и откуда бы эта информация не поступала, она должна быть *своевременной*, поступать с *минимальными искажениями* и быть *репрезентативной*.

К основным источникам информации, необходимой для метеорологического обеспечения авиации, относятся:

- наземная российская и ведомственная сеть метеорологических станций;
- сеть международного обмена;
- сеть автоматических станций;
- средства разведки погоды;
- метеорологическая космическая система.

Каждый из источников информации не является универсальным, и удовлетворить требования авиации можно только пользуясь всем объемом информации. Так, с помощью *наземной метеорологической и аэрологической сети* поступает основной объем информации, необходимый для обеспечения авиации. Современное оборудование на сети станций позволяет определять метеорологические величины и явления с достаточно высокой точностью. Однако дискретность этой информации и ее отсутствие на отдельных участках (районах) большой протяженности делает необходимым привлечение других источников информации.

*Сеть международного обмена* позволяет получить метеорологическую информацию, аналогичную той, которая передается по российской сети.

*Сеть автоматических станций* составляют станции, установленные в труднодоступных районах (горы, льды Арктики и т.д.). Эти станции обычно четыре раза в сутки передают сведения об измеренных метеорологических величинах, а по их работе при пеленгации (если станция дрейфующая) определяется местоположение станции. Станции автоматической сети передают информацию с неосвоенной территории, и это очень хорошо. Однако на таких станциях не выполняются аэрологические наблюдения, а для передачи информации в центры погоды требуется ретрансляция через ИСЗ.

Особое место в сети автоматических станций занимают станции, расположенные на аэродромах. Это *комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция (КРАМС)* или приходящая ей на смену *автоматическая метеорологическая информационно-измерительная система (АМИИС)*.

На этих системах по заданной программе производятся измерения и регистрация (запись) метеорологических величин, выдача результатов измерений на цифровые индикаторы, установленные у различных должностных лиц ГА, ответственных за безопасность полетов, а также кодирование результатов измерений специальными метеорологическими кодами. На обеих системах смена информации при необходимости может производиться в соответствии с требованиями ИКАО через 1-2 мин.

К *средствам разведки погоды* следует отнести средства радиотехнической и воздушной разведки.

*Радиотехническая разведка* проводится с помощью различных радиолокационных станций. Основными объектами наблюдений являются облака вертикального развития (мощные кучевые и кучево-дождевые), ливни и грозы. Специальные метеорологические локаторы (МРЛ), кроме того, дают возможность наблюдать за облаками всех других ярусов, различать зоны осадков определенной интенсивности, определять вертикальную структуру облачности в ближней зоне и т.д.

К *средствам воздушной разведки* относятся воздушные суда без пассажиров на борту, которые в сложной и неустойчивой метеорологической обстановке могут выполнять специальные полеты для оценки метеорологических условий. Эти полеты проводятся по решению командира авиационного отряда.

Воздушная разведка позволяет определить вертикальную структуру облачности, видимость в облаках, наличие опасных для авиации явлений погоды и т.д. К участию в полетах на воздушную разведку могут привлекаться синоптики АМСГ, если они имеют на это специальное разрешение.

Воздушная разведка в гражданской авиации проводится сравнительно редко – это «дорогое удовольствие». Намного чаще информацию о погоде, о наличии опасных явлений и их влиянии на взлет, полет и посадку передают экипажи взлетающих или пролетающих воздушных судов, а также ВС, заходящих на посадку.

Метеорологическая космическая система позволяет получить большой объем информации, необходимой для обеспечения гражданской авиации. Наблюдения с помощью ИСЗ принимаются на наземных автономных пунктах приема информации и передаются синоптикам для анализа. В малоосвещенных районах для оценки погодных условий данные ИСЗ оказывают неоценимую помощь.

Различные виды метеорологической информации, полученные от различных источников, в значительной мере дополняют друг друга и в конечном счете помогают успешно решать задачи по метеорологическому обеспечению гражданской авиации.

## **15.2. Сбор и распространение метеорологической информации по радиоканалам связи**

Сбор и распространение метеорологической информации по радиоканалам связи постепенно уходит в прошлое. Еще пять-десять лет назад существовали при Росгидромете достаточно мощные *радиометеорологические центры* (РМЦ), которые передавали в эфир практически всю метеорологическую информацию, необходимую для обеспечения гражданской авиации и других отраслей народного хозяйства. Сейчас большая часть информации передается по проводам. Однако РМЦ еще не совсем прекратили свою работу.

Прежде всего, это *ведомственные РМЦ*, которые принадлежат Министерству обороны, геологам, флоту и т.д. От этих центров, зная частоту работы радиостанций и расписание передач (а эти данные известны всегда), можно получать информацию о фактической погоде пунктов, находящихся в зоне ответственности данного РМЦ, штормовые оповещения и предупреждения, данные о ветре на высотах и данные МРЛ и воздушной разведки погоды.

Кроме того, существует *служба авиационного радиовещания*, которая используется для передачи сообщений непосредственно на борт воздушного судна, находящегося в полете. Эта служба передает по радио информацию двух видов:

– *передача VOLMET*. Информация о погоде (сводка) записывается на магнитофон и непрерывно передается в эфир на определенной частоте УКВ-диапазона. Вещание ведется на английском языке и содержит информацию о фактической погоде и прогнозах погоды на посадку по нескольким аэропортам (международным). При поступлении новой информации сводка, естественно, обновляется. Такие передачи очень удобны, так как после записи сводки на магнитофон не требуется никакого вмешательства для ее передачи вплоть до поступления новых данных. Это очень удобно и пользователям, поскольку информация становится доступной в сравнительно большом районе (дальность передач VOLMET около 400 км). Кроме того, обеспечивается постоянное повторение имеющейся информации. Если же экипажу ВС необходима метеорологическая информация по какому-либо конкретному аэродрому, то он может ее получить, воспользовавшись данными, поступающими по КВ-каналам. Регулярные сводки готовятся на русском и английском языках и передаются в эфир два раза в час в форме открытого текста. Дальность вещания по КВ-каналам более 2000 км.

– *передача ATIS (Automatic terminal information service – служба автоматической передачи информации в районе аэродрома)*. Эта передача позволяет получить в автоматическом режиме погоду одного (нужного) аэродрома. Текст передачи формируется в открытом виде непосредственно после проведения наблюдений системой КРАМС на русском и английском языках. Дальность передач системой ATIS составляет 400–450 км, и проводятся эти передачи также два раза в час.

*Это интересно:*

Раньше вместо службы авиационного радиовещания в крупных аэропортах работала так называемая ШВРС ГА (широковещательная радиостанция). Эта станция четыре раза в час передавала информацию о погоде 5–9 аэропортов в радиусе до 800 км. Поэтому каждый экипаж, зная частоту работы ШВРС ГА того или иного аэропорта, мог в полете «снабжать» себя самой «свежей» информацией о погоде по маршруту полета.

Особым источником метеорологической информации, принимаемой по радиоканалам связи, являются *ИСЗ*. *Спутниковая информация* важна для слежения за перемещением и развитием фронтальных систем, скоплений облачности и даже за перемещением тумана, охватывающего большие площади, и т.д. Съемки производятся в видимом и инфракрасном диапазонах. Изображения в видимом диапазоне полезны для получения информации о распределении и типе состоящих из капель облаков, главным образом на низких уровнях, в дневное время. Данные в инфракрасном диапазоне могут интерпретироваться

как значения температуры на верхней границе облаков в течение всех 24 часов. Наиболее яркие изображения дают самые холодные, состоящие из кристаллов льда, облака. Комплексное рассмотрение этих двух видов снимков помогает получить трехмерную картину распределения облачности. Данные о температуре верхней границы облачности, полученные в инфракрасном диапазоне, могут быть сопоставлены с известными или стандартными значениями температуры воздуха на различных высотах, что позволяет определить или вычислить высоту верхней границы облаков в заданном районе. Кроме того, централизованная обработка спутниковых данных при наличии необходимого программного обеспечения могла бы позволить получать дополнительные сведения о вертикальных профилях температуры, влажности, температуре поверхности моря и ветре на различных уровнях, рассчитанных по движению облаков и т.д. К сожалению, на сегодняшний день спутниковая информация должным образом не анализируется и носит в основном вспомогательный характер при оценке общей синоптической обстановки.

Также по радиоканалам связи, вернее с помощью радиотехнических средств, на АМСГ производится сбор *радиолокационной метеорологической информации*. Принцип действия МРЛ и диспетчерских локаторов, о которых мы уже рассказывали выше, такой, что собрать информацию от радиолокационной станции можно только по радиоканалам связи, а дальнейшую передачу этой информации потребителю можно осуществлять и по проводным каналам связи. Наблюдения, проводимые с помощью МРЛ, позволяют установить местонахождение и проследить за отраженными сигналами от атмосферных осадков, фронтальной облачности, ливней и так называемых «снежных зарядов», гроз, кучево-дождевых облаков и тропических циклонов. Эта информация используется для раннего предупреждения об опасных для авиации метеорологических явлениях, особенно тех, которые наблюдаются сравнительно близко от аэродрома (20–40 км). Кроме того, данные МРЛ оказывают неоценимую помощь при работе в районах с редкой сетью метеорологических станций, в приморских районах и районах, расположенных достаточно близко от государственной границы.

Говоря о радиоканалах связи, нельзя не упомянуть такой источник информации как *самолет-разведчик погоды* или *пролетающий борт*. Эти воздушные суда передают данные о фактической погоде и опасных явлениях погоды того района, в котором они находятся.

Кроме того, на аэродроме в качестве резервного канала связи между отдельными службами в случае выхода из строя проводной (телефонной) связи может использоваться связь по *радиостанции УКВ диапазона*. Раньше такие станции напоминали радиостанции работников ГИБДД, а теперь они похожи на уже ставший обыкновенным сотовый телефон.

Основное преимущество радиоканалов связи перед другими видами связи – нет необходимости прокладывать дорогостоящий кабель, а основной недостаток – все средства радиосвязи подвержены радиопомехам и поэтому очень уязвимы от внешней среды, под которой можно понимать все, начиная от полярного сияния и магнитных бурь и кончая специально работающими помеховыми радиостанциями.

*Это интересно:*

В свое время для всех нужд радиоканалы связи представляли собой беспроводный телеграф, изобретенный Эдисоном. Однажды на каком-то великосветском собрании одна знатная дама попросила Эдисона попроще объяснить, что представляет собой беспроводный телеграф, как он работает. Эдисон на какое-то время задумался, а потом ответил следующее: «Мадам, представьте себе таксу длиной от Петербурга до Парижа. Если хвост таксы находится в Петербурге и за него как следует дернуть, то такса залает, но лаять она будет в Париже, так как там находится ее голова. Беспроволочный телеграф – это то же самое, но без...таксы». По-моему очень понятное объяснение.

### **15.3. Сбор и распространение метеорологической информации по проводным каналам связи**

Проводные каналы связи являются наиболее надежным источником метеорологической информации. По проводам на АМСГ может поступать большая часть информации, а иногда, особенно в современных условиях, практически вся метеорологическая информация, необходимая для обеспечения работы авиапредприятия.

Однако прежде чем рассказать о проводных каналах связи, хочется напомнить, что под метеорологической информацией понимаются данные, полученные в результате проведения метеорологических наблюдений и прогностические данные, полученные в результате разработки прогнозов погоды. Как только эти данные появились, их необходимо передать пользователям в удобной и понятной для них форме. Поэтому любая информация сначала формируется, а затем передается в виде сводки. Сводка – это заявление о наблюдавшихся или ожидаемых (прогноз) метеорологических условиях в конкретный момент времени и в конкретном месте, которое подготовлено в соответствии с предписанным форматом для последующего выпуска для пользователей. К пользователям этой информации относятся члены экипажей самолетов, метеорологические органы, диспетчеры аэродромов, служба инструктажа экипажей и диспетчеры авиалиний.

Метеорологические сводки используются авиационными пользователями, главным образом, при осуществлении наиболее сложных фаз полета, т.е. взлета и посадки. Безопасность полета при взлете и посадке зачастую непосредственно зависит от своевременности и точности полученных сводок. Кроме того, ежедневно на основе этих сводок принимаются сотни важных решений для целей предполетного планирования и уточнений действий экипажей во время полета. Поэтому метеорологические сводки имеют чрезвычайно важное значение для экономики и эффективности деятельности авиации. Эти сводки используются также на АМСГ для подготовки авиационной климатологической статистики по аэродромам.

Основной объем метеорологической информации поступает на АМСГ через региональное управление гидрометеорологической службы (региональное УГМС), а основными проводными (телеграфными и телефонными) каналами связи на АМСГ являются следующие:

- прямой провод с телеграфом Министерства связи (абонентский телеграф);
- прямой провод с автоматизированной системой передачи данных (АСПД);

- прямой провод с каналом AFTN (канал ГА);
- прямой провод с фототелеграфным каналом радиометеорологического центра;
- прямой провод с телефонным узлом города, в котором находится аэропорт.

*Прямой провод с телеграфом Министерства связи* (проще – с местным телеграфом) используется на АМСГ для получения информации о возникновении, усилении (ослаблении) и прекращении опасных явлений погоды от станций штормового кольца и любой метеорологической информации по запросу. Этот канал на АМСГ есть всегда, однако за пользование им (за полученные и отправленные телеграммы) АМСГ оплачивает все телеграммы по действующему в Министерстве связи тарифу.

Организация штормового кольца будет рассмотрена подробно в следующем параграфе.

*Прямой провод с системой АСПД* наиболее загружен, так как основной объем информации поступает именно по этому каналу. В рамках Росгидромета создана сложная информационно-вычислительная система с целым рядом специфических функций, обусловленных особенностями технологического процесса обработки гидрометеорологических данных: их глобальностью, разнообразием видов информации, разноплановостью назначения, необходимостью применения как объективных, так и субъективных методов контроля. АСПД представляет собой совокупность справочно-информационной и обрабатывающей систем. С точки зрения системотехники АСПД может быть условно разделена на отдельные уровни, каждый из которых характеризуется определенным классом выполняемых задач. Снизу вверх идет информационный поток в виде данных метеорологических измерений, а сверху вниз – поток переработанной информации в виде диагностических и прогностических карт. Подобная структура построения АСПД определяет четкое разграничение функций как по сбору сходной информации, так и по ее дальнейшей переработке.

Все опорные пункты гидрометеорологической сети группируются по районам со своим центром сбора первичной информации – территориальным гидрометеорологическим центром (ТГМЦ). Такой ТГМЦ является научно-оперативным органом, осуществляющим сбор, обработку и анализ поступающей информации, проводит научные исследования гидрометеорологического режима по закрепленной территории, ведет разработку прогнозов различного назначения, выполняет климатические и гидрологические расчеты. Например, для аэропорта Пулково (Санкт-Петербург) таким ТГМЦ является гидрометцентр Северо-Западного УГМС.

Еще более крупными центрами по сбору и распространению гидрометеорологической информации являются региональные ГМЦ (РГМЦ). В рамках АСПД помимо оперативно-прогностической деятельности РГМЦ занимаются научно-исследовательской работой. В России имеется три РГМЦ, которые расположены в Москве, Новосибирске и Хабаровске. Наряду со всеми функциями РГМЦ Московский ГМЦ выполняет еще функции мирового гидрометеорологического центра. Они заключаются в сборе гидрометеорологической информации по территории земного шара, в производстве всего комплекса прогно-

стической работы и в ее распространении. Кроме того, в обязанности мирового ГМЦ входит хранение полученных данных. В нашей стране архивацию выполняет не непосредственно Московский ГМЦ, а обнинское подразделение гидрометслужбы.

Несмотря на наличие централизованного обмена информацией в системе АСПД существует возможность прямой связи отдельных ГМЦ между собой.

Метеорологическая информация, поступающая по АСПД, содержит данные всемирной системы зональных прогнозов (ВСЗП). ВСЗП – международная система, обеспечивающая представление в единообразной стандартной форме авиационных метеорологических прогнозов по маршрутам полетов. ВСЗП состоит из согласованной на межгосударственном уровне сети всемирных и региональных центров зональных прогнозов (ВЦЗП и РЦЗП). При этом основным назначением такой системы является обеспечение возможно более точных зональных прогнозов на рентабельной основе с учетом соответствующих требований, утвержденных международной организацией гражданской авиации (МОГА).

Принятие на себя государством каких-либо обязательств по обеспечению ВЦЗП и/или РЦЗП следует рассматривать как обязательство предоставлять высококачественные данные по зональным прогнозам в плане их точности, своевременности и общего удовлетворения эксплуатационных требований. Это подразумевает наличие соответствующего персонала, соответствующих данных и соответствующих технических средств.

На сегодняшний день ВСЗП состоит из двух всемирных центров (Лондон и Вашингтон) и пятнадцати региональных центров, один из которых находится в Москве.

Если по каким-то причинам на АМСГ не поступила нужная сводка, то синоптик посылает запрос в один из Банков авиационных метеорологических данных. Получение ответов на запросы происходит по служебному каналу АСПД. Существует всего пять Мировых банков данных, которые расположены в Москве (Внуково), Вене, Брюсселе, Вашингтоне и Бразилиа. Для российских АМСГ предпочтительнее обращаться к зарубежным банкам данных, так как они, в отличие от банка данных во Внуково, за метеорологическую информацию и сам ее запрос не требуют оплаты.

*Прямой провод с каналом AFTN (канал ГА).* Этот канал представляет собой всемирную систему авиационных фиксированных цепей, предназначенной главным образом для обеспечения безопасности аэронавигации, а также регулярности, эффективности и безопасности воздушного движения. AFTN предусматривает обмен сообщениями и/или цифровыми данными между авиационными фиксированными станциями (аэропортами).

В отличие от системы АСПД каналы связи AFTN организованы по принципу децентрализации передачи сообщений, т.е. здесь отсутствует иерархическая конструкция обмена метеорологической информацией между пользователями, присущая автоматизированной системе Росгидромета. Это дает возможность метеорологическим органам обмениваться оперативными данными с другими метеорологическими органами напрямую, не задействуя при этом вышестоящие инстанции, что, в свою очередь, повышает скорость передачи сообщений.

Особенно остро проблема снижения временных затрат на получение метеорологической информации проявляется в том случае, если на АМСГ необходимы данные о фактической погоде и прогнозы по аэродрому посадки и запасным, а в работе каналов АСПД произошел сбой и требуемая информация не поступила. В этом случае синоптик АМСГ имеет право послать прямой запрос по каналам AFTN в аэропорт, сообщения из которого отсутствуют, и получить необходимую информацию.

*Прямой провод с фототелеграфным каналом радиометеорологического центра.* Этот вид электросвязи предназначен для передачи в аналоговой форме графических изображений. На современном этапе развития техники в факсимильных аппаратах для приема данных уже не используют опасную для здоровья человека электрохимическую бумагу, пропитанную специальным раствором, а напрямую подсоединяют факсимильный аппарат к компьютеру и выводят необходимую информацию на принтер.

*Прямой провод с телефонным узлом города, в котором находится аэропорт.* Распространение метеорологических данных осуществляется также и при помощи телефонной связи. Это относительно недорогой способ связи пользователей, позволяющий вносить в передаваемые сообщения уточнения, которые невозможно отразить в кодовой форме, используемой в печатных устройствах. Однако для этого канала связи характерны такие недостатки как большая вероятность возникновения ошибки при передаче информации и большая трудоемкость, так как при нескольких пользователях информацией процесс их «обзванивания» занимает довольно много времени. Кроме того, если телефонный разговор не записывается на магнитную ленту, то не происходит никакой регистрации переданного сообщения. Поэтому стандартную телефонную службу используют как резервную систему распространения информации, предусмотренную на случай отказа основных систем.

Существует также и другой способ использования телефонной связи. На АМСГ производят запись информации о погоде на телефонный автоответчик, и лица, интересующиеся метеорологической информацией, могут вызвать этот автоответчик. Эта система удобна для специалистов АМСГ, подготавливающих метеорологическую информацию, тем, что после разовой записи информации не требуется их вмешательства до появления следующих, более новых данных.

В заключение следует отметить, что помимо перечисленных выше существуют и другие средства распространения метеорологической информации. Это, в первую очередь, *громкоговорящая связь (ГГС)*, предназначенная для связи отдельных метеорологических и авиационных служб, расположенных на аэродроме, различные *электропишущие устройства*, позволяющие воспроизводить копию рукописного сообщения в каком-либо месте, удаленном от места отправления, *телевидение*, использующее телевизионную камеру для передачи телевизионного изображения полученных данных (например, карту погоды) на экраны, расположенные в рабочих помещениях пользователей, и даже *механическая связь* (пневмопочта), применяемая для передачи сообщений малому количеству пользователей, находящихся в непосредственной близости друг от друга. Однако эти виды связи мы рассматривать не будем, так как их использование достаточно понятно без пояснений.

Подробно рассказав о проводных и радиоканалах связи, имеющихся на АМСГ, и о той информации, которую на АМСГ могут принимать по этим каналам, ответим коротко еще на вопрос о том, какую информацию могут передавать с АМСГ?

АМСГ передает фактическую погоду «своего» аэродрома, прогнозы погоды различного назначения, данные МРЛ, данные воздушной разведки погоды, штормовые оповещения и предупреждения и аэрологические данные. Вся информация в зависимости от потребителя может быть передана по проводным или радиоканалам связи открытым текстом или в закодированном виде. Для кодирования этой информации используются специальные международные авиационные коды, речь о которых пойдет ниже.

*Это интересно:*

С конца 50-х годов тогда еще в СССР существовала *сеть прямых авиационных связей* (система СПАС). Эта система была организована по принципу централизованной передачи информации. К ней было подключено более ста крупных аэропортов. В авиационных метеорологических центрах, таких, как Ленинград, Свердловск, Новосибирск и им подобных, формировался за определенный срок пакет телеграмм, который передавался в центр СПАС, расположенный в Главном авиаметеорологическом центре (ГАМЦ) во Внуково. Из этого центра по заранее составленной заявке каждый аэропорт, имеющий прямую телеграфную связь с ГАМЦ, получал необходимую информацию в пакетном режиме.

Передача информации в пакетном режиме – основной недостаток СПАС. Дело в том, что при таком порядке обмена информацией на АМСГ всегда поступал весь пакет телеграмм, даже если из него для работы было нужно всего две-три телеграммы. Такой порядок работы загружал каналы связи и уменьшал их быстродействие. А ведь окончательным устройством в те годы и так был «тихоходный» телетайп. Современная система АСПД в какой-то мере является значительным усовершенствованием системы СПАС, исходя из открывшихся новых возможностей как связной, так и вычислительной техники.

Также в какой-то мере система AFTN является развитием и модернизацией канала ГА, по которому сначала по принципу децентрализации передавались сообщения напрямую из одного аэропорта в другой. Так передавались так называемые «вылетные» телеграммы, диспетчерские и технические телеграммы и информация о погоде.

#### **15.4. Организация штормового оповещения и предупреждения на АМСГ**

Одна из существенных проблем метеорологического обеспечения полетов – своевременное оповещение и предупреждение об опасных для полетов метеорологических явлениях, в том числе и имеющих локальный кратковременный характер. Действительно, некоторые явления, например, грозы, смерчи, шквалы и др., имеют локальный характер и не всегда обнаруживаются синоптическим методом. Для этого еще в 30-х годах прошлого столетия была применена система оповещения об опасных метеорологических явлениях со станций, расположенных вокруг аэродрома. Эта система оказалась действенной и постепенно получила всеобщее распространение. Система штормовых оповещений регламентирована. Она представляет собой важную часть метеорологического

обеспечения безопасности полетов. На основе штормовых оповещений получило развитие и штормовое предупреждение. В настоящее время значение штормовых оповещений и предупреждений еще более возросло.

Организация штормового оповещения и предупреждения на аэродроме несколько условно может быть разделена на две части: организацию штормового кольца и организацию штормового оповещения и предупреждения на аэродроме. Но сначала давайте дадим определение штормового оповещения и предупреждения. *Штормовое оповещение* – это разовая метеорологическая информация любого метеорологического органа о начавшемся (усилившемся) опасном для авиации явлении погоды. *Штормовое предупреждение* – это информация об ожидаемом возникновении (усилении) опасного для авиации явления погоды. Из этих определений становится ясно, что за штормовое оповещение отвечает наблюдатель, а штормовое предупреждение разрабатывает синоптик.

*Организация штормового кольца.* Для оповещения вокруг каждой АМСГ создается штормовое кольцо. Региональные УГМС привлекают к подаче сведений об опасных для авиации явлениях погоды метеостанции различного назначения (авиационные метеостанции, метеостанции общего назначения, метеорологические посты и т.д.). Обычно для создания штормового кольца привлекаются метеостанции, расположенные не ближе, чем 20 км от аэродрома и не дальше, чем 200 км. Эти расстояния обусловлены тем, что при средней скорости смещения барических образований и атмосферных фронтов, равной 30 км/ч, опасное явление погоды «пройдет» 20 км быстрее, чем о нем на АМСГ придет телеграмма, а пока явление смещается на 200 км, то за счет даже только суточного хода, погода может настолько измениться, что информация 6-7-часовой давности окажется нерепрезентативной. В штормовое кольцо практически никогда не включаются метеостанции, расположенные ближе 20 км, а станции, расположенные на удалении более 200 км включаются в штормовое кольцо только в районах с редкой сетью метеорологических станций.

В труднодоступных районах при отсутствии проводных средств связи к подаче штормовой информации привлекаются метеостанции, оснащенные передающими радиосредствами связи. По указанию местных органов ГА для подачи сведений об опасных для авиации явлениях погоды привлекаются работники аэродромов и посадочных площадок местных воздушных линий, а также экипажи воздушных судов, которые выполняют авиационно-химические работы.

Заявку на привлечение различных метеостанций к подаче штормовой информации составляет ежегодно начальник АМСГ и посылает в региональное УГМС. Руководство УГМС определяет целесообразность привлечения (включения) той или иной станции в штормовое кольцо данного аэродрома. При этом учитывается наличие средств связи на этой станции и ее загруженность информационной работой. Если какая-либо метеостанция запрашивается для включения в штормовое кольцо многими различными аэропортами, то руководство УГМС устанавливает предельное число адресов подачи телеграмм (обычно не более девяти). В целом выбор метеостанций, привлекаемых к передаче штормовой информации производится с учетом густоты метеорологической сети, своеобразия географического положения аэродромов, средств связи и преобладающих атмосферных процессов. Штормовые оповещения передают-

ся в установленные адреса круглосуточно, а отдельными станциями – только в период их работы. Самовольно прекращать подачу штормовой информации категорически запрещается. Телеграммы со штормовой информацией передаются по телеграфным каналам с индексом «Шторм» вне очереди. Подспудно у начальника АМСГ и руководства УГМС при выборе станций штормового кольца есть еще одна «головная боль». За полученные на АМСГ телеграммы от станций штормового кольца нужно платить Министерству связи по действующим тарифам за отправление телеграмм. Естественно, чем больше станций в штормовом кольце, тем лучше, но когда начинают считать деньги, мнение иногда меняется. Поэтому штормовое кольцо вокруг каждого аэродрома насчитывает от 20 до 40 станций различного назначения, причем эти станции выбираются с таким расчетом, чтобы при любом направлении смещения «зоны плохой погоды» хоть одна из всех станций могла эту погоду зафиксировать и предупредить АМСГ штормовой телеграммой.

Содержание штормовых оповещений и порядок их доведения до АМСГ (АМЦ), диспетчерского, руководящего и летного состава установлен НМО ГА и на каждом аэродроме незначительно корректируется местной инструкцией, исходя из конкретных условий на аэродроме.

Для наглядности схема расположения метеорологических станций, включенных в штормовое кольцо, оформляется в виде специального стенда и размещается в комнате дежурного синоптика и на рабочих местах работников ГА, отвечающих за безопасность полетов.

*Это интересно:*

Схема расположения станций, передающих информацию об опасных явлениях погоды, всегда оформляется на крупномасштабной топографической карте. На этой карте «поднимаются» (жирно надписываются) названия всех пунктов, из которых должна поступать на АМСГ штормовая информация. Около каждого пункта указывается расстояние от аэродрома до пункта и контрольные (предельные) сроки прохождения штормовой информации по каналам связи. Кроме того, приняв за центр круга точку, где расположен аэродром, на карте проводятся концентрические окружности через 50 км по масштабу карты, а на самом большом кругу дополнительно надписывается и направление (азимут) от аэродрома на эту станцию. Причем эти направления обычно подписываются через 10 или 30 угловых градусов. Раньше в центр круга вбивался гвоздь, на котором крепилась нитка с карандашом. Получив очередную телеграмму с информацией об опасном явлении погоды, которое наблюдали на такой-то станции, синоптик подходил к этому стенду, с помощью нитки и карандаша определял азимут опасного явления, а по концентрическим окружностям – расстояние до него. После того, как нитка была отпущена, она успокаивалась в вертикальном положении. Так вот, этот стенд с концентрическими окружностями, «поднятыми» названиями станций, угловой градусной сеткой и называется *штормовым кольцом*. Сейчас, как говорится, техника не та, но, отдавая должное истории нашей службы и ее традициям, схема штормового оповещения и предупреждения по-прежнему называется штормовым кольцом.

*Организация штормового оповещения и предупреждения на аэродроме.* Штормовое оповещение и предупреждение на аэродроме заключается в разработке сводок о фактической и ожидаемой погоде с опасными для авиации явлениями погоды, которые могут повлиять на безопасность полетов и сохранность техники на земле, и передаче этих сводок в установленные адреса.

К опасным явлениям погоды *при полетах по трассам* относятся:

- грозы (любые);
- тропические циклоны;
- сильные турбулентность и обледенение;
- сильные горные волны и песчаные бури;
- вулканический пепел.

При полетах со скоростью  $M = 0,8$  и более опасными для полетов дополнительно считаются умеренная турбулентность, кучево-дождевая облачность и град.

Если на аэродроме наблюдается или ожидается (прогноз) какое-либо из перечисленных выше явлений, то в этом случае выпускаются сводки в формате SIGMET, которые в дальнейшем и передаются по каналам связи. Формат сводок SIGMET в данном учебнике рассматривать подробно не будем. Отметим лишь, что эти сводки нумеруются, и с нуля часов ежедневно нумерация сводок начинается сначала. Сводки с информацией о наблюдающемся опасном явлении (штормовое оповещение) передаются с индексом OBS, а сводки с информацией об ожидаемом опасном явлении (штормовое предупреждение) передаются с индексом FCST.

К опасным явлениям погоды *при полетах на местных воздушных линиях и по району* (на высотах до 3000 м) дополнительно к указанному выше относятся:

- ветер у земли скоростью более 15 м/с;
- видимость у земли менее 5 км на большой территории;
- облачность с высотой нижней границы менее 300 м на большой территории;
- умеренная турбулентность и умеренное обледенение;
- умеренные горные волны.

При наличии или прогнозе перечисленных выше явлений на АМСГ выпускаются сводки AIRMET, формат которых точно соответствует формату сводок SIGMET. Эти сводки также имеют свою нумерацию, которая ежедневно начинается сначала.

Самое интересное, пожалуй, в этой информации то, что ни наставление (НМО ГА), ни какие другие руководящие документы не дают объяснение понятию «большая территория». В зоне ответственности каждого УГМС этот вопрос решают по-разному. Чаще всего считается, что если на аэродроме и ближайших к нему 10–15 станциях на кольцевой карте погоды наблюдается или ухудшенная видимость, или низкая облачность, то такую территорию можно считать «большой».

К опасным явлениям погоды, которые *наблюдаются на аэродроме*, относятся:

- тропические циклоны;
- гроза, град;
- сильный снег продолжительностью более 2 ч;
- гололед и гололедица;
- шквал и смерч;
- пыльная или скоростью более 15 м/с;
- температура воздуха у земли или ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  или выше  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- переход температуры воздуха у земли через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям.

Если что-то из перечисленных явлений ожидается на аэродроме, то синоптик составляет штормовое предупреждение. Составление штормовых предупреждений регламентировано НМО ГА. Назовем основные требования, предъявляемые к разработке штормовых предупреждений и их дальнейшему использованию.

Во-первых, *штормовое предупреждение разрабатывается с максимальной возможной заблаговременностью, но не более 6 ч.* Этот срок вполне достаточен для того, чтобы на аэродроме соответствующие службы приняли необходимые меры безопасности, с одной стороны, и прогноз оказался достаточно точным (срок прогноза небольшой) – с другой.

Во-вторых, *штормовое предупреждение передается всем наземным службам ГА, отвечающим за сохранность техники на земле.* Это положение НМО ГА также достаточно понятно. Ведь штормовые предупреждения для того и разрабатываются, чтобы службы гражданской авиации смогли подготовиться и максимально уменьшить последствия возникающего опасного явления погоды.

В-третьих, *если опасное явление на аэродроме возникло, а штормовое предупреждение составлено не было, то в этих случаях дается штормовое предупреждение на сохранение опасного явления.*

*Это интересно:*

Хочется уточнить это положение. Такая ситуация может возникнуть при не очень добросовестном дежурстве синоптика. Предположим, что ночью синоптик решил поспать. Уснул, спал крепко, а когда проснулся, то увидел, что на аэродроме туман. Что делать? Вот в этих случаях и нужно дать штормовое предупреждение на сохранение тумана.

В-четвертых, *если на аэродроме наблюдается одно опасное явление погоды и штормовое предупреждение своевременно составлено, но есть опасность возникновения другого опасного явления, то в этом случае дается второе штормовое предупреждение.*

И последнее. *Штормовые предупреждения оформляются на специальных бланках и вручаются под расписку работнику гражданской авиации, отвечающему в данный момент за безопасность полетов на аэродроме.* Обычно это бывает диспетчер АДП (аэродромного диспетчерского пункта). Диспетчер АДП немедленно извещает об этом руководство авиапредприятия, а при необходимости и другие службы. Порядок вручения штормовых предупреждений службам аэропорта устанавливается начальником аэропорта совместно с начальником АМСГ.

Таким образом, все штормовые сводки (SIGMET, AIRMET и штормовые предупреждения) установленным порядком сообщаются руководству авиапредприятия, службе УВД, летному составу и передаются по каналам связи. Этот порядок определен специальной инструкцией, в которой записано кому, в какой последовательности и что должен сообщать синоптик.

*Это интересно:*

Действительно, порядок передачи информации об опасных явлениях погоды должен быть установлен. Например, если на аэродроме неожиданно возник туман, то в первую очередь об этом нужно предупредить диспетчера, а уж потом руководителя авиа-

предприятия. Если вы ожидаете значительное усиление ветра, то тут, пожалуй, в первую очередь должен быть извещен командир, который должен организовать работу по сохранению техники на земле. Однако тот же командир вас не поймет, если вы часа в три ночи позвоните ему домой и скажете, что на аэродроме температура воздуха упала до одного градуса мороза (перешла через ноль) или до минус тридцати одного градуса, а вот руководителя автотракторной службы в этом случае нужно будить обязательно.

Все перечисленное в этом параграфе и составляет организацию штормового оповещения и предупреждения на аэродроме: организация штормового кольца, составление инструкции по штормовому оповещению и предупреждению на аэродроме и ее неукоснительное выполнение.

Кроме перечисленных штормовых оповещений и предупреждений на АМСГ составляются предупреждения о фактическом и ожидаемом сдвиге ветра в нижнем 500-метровом слое атмосферы. Информация о фактическом сдвиге ветра поступает на АМСГ от взлетающих воздушных судов или от воздушных судов, заходящих на посадку, а ожидаемый сдвиг ветра – это прогноз сдвига ветра дежурным синоптиком.

### **15.5. Авиационно-метеорологические коды, используемые для обмена метеорологической информацией**

Для обмена метеорологической информацией между различными авиационными метеорологическими органами используется большое количество традиционных (обычных) и специальных международных авиационных метеорологических кодов. К таким кодам относятся коды КН-01, КН-03 и КН-04 («обычные» международные коды). На описании этих кодов мы останавливаться не будем, так как с ними студентов знакомят при изучении других учебных дисциплин, причем раньше, чем курс «Авиационная метеорология».

К специальным авиационным метеорологическим кодам относятся коды METAR, SPECI, TAF, WINTEM, ARFOR, ROFOR, WAREP и RADOB.

Коды METAR и SPECI предназначены для передачи информации о фактической погоде на аэродроме. Разница состоит только в том, что с помощью кода METAR передаются регулярные сводки, а с помощью кода SPECI сообщения о существенных изменениях в погоде (нерегулярные сводки).

Код TAF служит для передачи прогнозов погоды по аэродрому, а код WINTEM – для передачи прогноза температуры и ветра на высотах. Авиационные коды ARFOR и ROFOR предназначены для передачи прогнозов по территории и по маршруту, соответственно. С помощью кода WAREP передается информация об опасных явлениях погоды, а кода RADOB – информация МРЛ.

Все перечисленные выше коды являются международными и используются для передачи информации во всех странах – членах ICAO. Структура кодов достаточно сложна, однако не все они одинаково часто используются на практике. Наиболее распространенными являются коды METAR, SPECI и TAF. Телеграммы, закодированные этими кодами, синоптик должен раскодировать без кода, т.е. знать структуру кода на память.

Основное отличие авиационных метеорологических кодов от кодов «обычных» заключается в том, что авиационные коды в каждой группе могут содержать различное количество знаков (в обычных кодах в каждой группе обязательно пять цифр), причем в группах помимо цифр могут встречаться буквенные

символы. В начале каждой телеграммы или сводки ставятся отличительные буквы, соответствующие названию кода. Срок наблюдения или срок прогноза во всех телеграммах указывается по среднему гринвичскому времени. В телеграммах, закодированных кодом METAR, после регулярной сводки (результатов наблюдений) в обязательном порядке сообщается прогноз на посадку (на срок два часа от момента наблюдения).

Приводить в учебнике схемы авиационных метеорологических кодов, и давать подробное объяснение каждой группе каждого кода, даже если это учебник по авиационной метеорологии – дело неблагодарное. Существуют специально изданные сборники международных авиационных метеорологических кодов, с которыми вы, уважаемый читатель, всегда можете познакомиться детально. Если вам придется работать на АМСГ, то в течение месяца вы освоите основные коды (METAR, TAF), а в схемы остальных кодов, как и все опытные синоптики, будете «заглядывать» еще долго.

*Это интересно:*

Коды METAR и TAF вам придется знать, хотите вы этого или не хотите. Дело в том, что по существующим правилам при консультации экипажей воздушных судов информация о фактической погоде и прогнозах погоды дается летчикам в закодированном виде, и летчики *без кода* понимают содержание представленных им телеграмм. Летчики только иногда обращаются к нам за помощью раскодировать какую-нибудь редко встречающуюся группу. Стыдно будет перед летным составом, если командир корабля или штурман будут знать коды лучше вас. А на острый язык летного состава лучше не попадаться – вас запомнят надолго.

## Глава 16

# АВИАЦИОННЫЕ ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ И ОЦЕНКА ИХ ОПРАВДЫВАЕМОСТИ

### 16.1. Требования, предъявляемые к авиационным прогнозам погоды

Прогностическая работа на АМСГ – один из основных видов работы оперативных органов Росгидромета. При производстве полетов необходимо иметь сведения о погоде и должным образом учитывать метеорологические условия как в данный момент, так и ко времени прибытия самолета на соответствующий участок маршрута полета, особенно на аэродром посадки.

*Прогноз погоды* – предполагаемое наиболее вероятное состояние погоды (метеорологических условий), ожидаемой в определенный период времени в конкретной зоне или части воздушного пространства.

В определении прогноза погоды есть термины и понятия, которые необходимо пояснить.

Во-первых, прогноз – предполагаемые наиболее вероятные метеорологические условия. Действительно, прогноз строится на основе научного предположения с учетом известных закономерностей изменения метеорологических условий во времени и пространстве.

Во-вторых, прогноз – это предположение о наиболее вероятных метеорологических условиях. Это принципиально важно учитывать, говоря о возможности прогнозирования. В основе прогнозирования лежит исходная информация о фактическом состоянии погоды. Фактическая погода – совокупность значений метеорологических величин и атмосферных явлений в момент наблюдений. Однако, строго говоря, идеальной исходной информации для разработки прогнозов погоды не существует, так как, с одной стороны, любая метеорологическая величина определяется с какой-то погрешностью, а с другой стороны, все метеорологические величины характеризуются изменчивостью как в пространстве, так и во времени. Внедрение новых технических средств, включая космические, повышает точность исходной информации, но проблема этой точности и в настоящее время остается достаточно актуальной.

Потребителю, особенно авиационному, необходим максимально точный прогноз погоды. Поэтому авиационные прогнозы погоды должны быть достаточно обоснованными и точными. Они должны характеризовать наиболее вероятные метеорологические условия в районе, для которого давался прогноз. Текст авиационного прогноза погоды должен быть кратким, ясным и не допускать двойственного толкования. Особенно это касается штормовых предупреждений.

В настоящее время метеорологические органы, обеспечивающие авиацию, составляют альтернативные прогнозы. С учетом всего изложенного выше, прогнозы погоды должны быть представлены в вероятностной форме, однако это не делается по целому ряду причин, которые мы уже обсуждали ранее.

Исходными материалами для разработки всех прогнозов погоды на АМСГ являются следующие:

- приземные синоптические и кольцевые карты погоды;
- карты барической топографии разных уровней;

- приземные и высотные прогностические карты;
- данные температурно-ветрового зондирования атмосферы различных пунктов;
- данные о фактической и ожидаемой погоде с аэродромов посадки и запасных аэродромов;
- штормовые оповещения от станций штормового кольца;
- информация о погоде по запросу;
- данные бортовой погоды;
- информация о погоде с аэродромов местных воздушных линий;
- информация о погоде с зарубежных аэродромов;
- данные искусственных спутников земли;
- данные МРЛ;
- данные шаропилотных наблюдений.

*Это интересно:*

Посмотрев на этот «длинный» список, можно подумать, что синоптику прогнозами даже некогда заниматься – только анализирую исходный материал. На самом деле это не так. Во-первых, не всегда весь исходный материал нужно анализировать для какого-нибудь конкретного прогноза, а, во-вторых, сделанный однажды анализ карты погоды или другой исходной информации пригодится вам для всех других прогнозов. Так что у синоптика на все прогнозы времени хватает.

## **16.2. Основные виды авиационных прогнозов погоды, разрабатываемых на АМСГ**

В соответствии с требованиями НМО ГА на АМСГ, имеющей синоптическую группу, разрабатываются следующие виды авиационных прогнозов погоды: суточный прогноз погоды по аэродрому; оперативный прогноз погоды по аэродрому; оперативные прогнозы погоды по аэродромам местных воздушных линий для АМСГ IV разряда, оперативных групп и метеорологических постов; прогнозы погоды на посадку; прогнозы погоды по воздушным трассам, местным воздушным линиям и маршрутам; прогнозы погоды по районам (площади) полетов, а также прогноз ветра и температуры на высотах. Кроме того, на АМСГ могут составляться специальные виды прогнозов для обеспечения различных испытаний авиационной техники.

*Суточный прогноз погоды по аэродрому* предназначен в основном для руководства авиапредприятия. На основании суточного прогноза планируется работа служб, обеспечивающих полеты, и летная работа. Этот прогноз разрабатывается с 18 ч 00 мин до 18 ч 00 мин следующих суток (по местному времени) и состоит из двух частей: прогноза погоды на ночь (с 18.00 до 06.00) и прогноза погоды на день (с 06.00 до 18.00). Время прогноза погоды на ночь и на день не меняется даже в тех случаях, когда ночь полярная.

В каждую часть суточного прогноза включаются данные о следующих метеорологических величинах и явлениях погоды в указанной ниже последовательности: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли, явления погоды, облачность (количество, форма, высота нижней границы), температура воздуха (в прогнозе на ночь указывается минимальная температура, а в прогнозе на день – максимальная).

*Оперативный прогноз погоды по аэродрому* разрабатывается для своего аэродрома (в радиусе 10 км) в зависимости от производственной необходимости на срок 6, 9 или 12 ч. В отдельных случаях оперативные прогнозы погоды по аэродрому составляются на 18 ч и даже на 24 ч (оперативный прогноз на 24 ч – это не суточный прогноз!). Оперативные прогнозы по аэродрому предназначены для обмена информацией по каналам связи об ожидаемой погоде с другими АМСГ, а также для консультации работников ГА своего аэродрома.

Оперативные прогнозы на 6 и 9 ч разрабатываются через каждые 3 ч, а на 12, 18 и 24 ч – через каждые 6 ч. Наибольшее распространение на АМСГ получили 9-часовые прогнозы. Стандартный срок для разработки «первого» оперативного прогноза – 00 ч по гринвичскому времени, а далее через 3 ч. В аэропортах с некруглосуточной летной работой время начала (но не окончания!) действия первого прогноза может отличаться от стандартного, т.е. может быть не равно 6 или 9 ч.

В оперативный прогноз по аэродрому включаются в указанной последовательности следующие метеорологические величины и явления погоды: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли, явления погоды, облачность (количество, форма, высота нижней границы облаков), температура воздуха у земли (если она ожидается ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выше  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  или переходит через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям), обледенение и турбулентность (интенсивность, толщина слоя), верхняя граница облачности (для облаков нижнего яруса и вертикального развития), закрытие гор, перевалов и искусственных препятствий облаками, ветер на высоте круга (направление и скорость).

*Это интересно:*

На самом деле, наибольшее распространение получили оперативные прогнозы погоды на 9 ч. Однако по правилам, существующим во всем мире, если от АМСГ получен очередной по сроку прогноз погоды, то предыдущий прогноз теряет силу. Девятичасовые прогнозы разрабатываются каждые три часа. Это значит, что синоптик в составленном прогнозе должен дать «железный» прогноз на ближайшие три часа, а на последующие 6 ч он может прогноз только уточнить. Более того, на последние три часа 9-часового прогноза этот прогноз может быть уточнен дважды. Все это позволяет синоптику оперативно уточнять прогноз погоды, если погода вдруг по каким-то причинам «пошла не по прогнозу».

*Оперативные прогнозы погоды по аэродромам МВЛ* разрабатываются на АМЦ (АМСГ I, II, III разрядов) для использования их на АМСГ IV разряда. Эти прогнозы являются для АМСГ IV разряда инструктивными и используются в дальнейшем для консультации летного состава и работников наземных служб ГА.

Оперативные прогнозы по аэродромам МВЛ составляются на срок 6 или 9 ч (обычно на 6 ч). Начало действия первого прогноза при некруглосуточной работе аэропорта должно быть на один час раньше начала работы авиапредприятия на аэродроме. В эти прогнозы включаются следующие метеорологические величины: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли, явления погоды, количество, форма и высота нижней границы облаков, температура воздуха у земли (если она ожидается ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выше  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  или переходит через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям), обледенение и (или) турбулентность (интенсивность и толщина слоя), а также закрытие гор и искусственных препятствий облаками.

*Прогнозы погоды на посадку* разрабатываются ежечасно сроком на 2 ч. Это так называемые прогнозы тенденции изменения погоды. Они передаются в телеграммах METAR и наряду с оперативными прогнозами используются при обеспечении полетов.

В эти прогнозы включается следующая метеорологическая информация: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли, явления погоды, количество, форма и высота нижней границы облаков, обледенение и (или) турбулентность (интенсивность и толщина слоя), а также закрытие гор, перевалов и искусственных препятствий облаками.

*Прогнозы погоды по воздушным трассам, местным воздушным линиям и маршрутам* разрабатываются для обеспечения каждого полета, по какому бы маршруту (трассе или МВЛ) полет не производился.

При полете по трассам по правилам полетов по приборам в прогнозах погоды указываются явления погоды (если ожидается гроза или град), количество и форма облаков (для мощных кучевых и кучево-дождевых облаков), температура воздуха на заданном эшелоне полета или ее отклонение от стандартного значения, зона турбулентности и (или) обледенения, высота верхней границы облаков (для мощных кучевых и кучево-дождевых облаков), ветер на высотах или на эшелоне полета (направление и скорость), а также струйное течение (высота оси, максимальная скорость ветра, толщина струйного течения).

При полетах по правилам визуальных полетов (ПВП) или особым ПВП в прогнозах погоды указываются: видимость у земли, явления погоды, количество, форма и высота нижней границы облаков, зоны обледенения и (или) турбулентности, высота нулевой изотермы (если она находится на уровне полета или ниже его), высота верхней границы облаков (для случаев, когда полет производится по особым ПВП), закрытие гор и искусственных препятствий облаками, а также ветер на высоте полета (направление и скорость).

*Прогнозы погоды по районам (площадки) полетов* составляются на АМСГ (АМЦ) тогда, когда авиапредприятие планирует в каком-либо районе (площадки) полеты в интересах различных отраслей народного хозяйства.

В этих прогнозах указываются: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли, явления погоды, количество, форма и высота нижней границы облаков, температура воздуха (при прогнозах для выполнения авиационных работ указывается как максимальная, так и минимальная температура за срок прогноза), зоны турбулентности и (или) обледенения, высота нулевой изотермы (если она находится на уровне полета или ниже его), закрытие гор и искусственных препятствий облаками, а также ветер на высотах (направление и скорость).

*Прогноз ветра и температуры на высотах* осуществляется с целью использования этих данных для выполнения штурманских расчетов на аэродроме. Прогноз ветра и температуры в этих прогнозах разрабатывается на 12 ч через 6 ч. В них указываются температура воздуха или ее отклонение от стандартной на уровнях 500, 400, 300 и 200 гПа (иногда дополнительно сообщаются данные на уровне 250 гПа), ветер (направление и скорость) на тех же уровнях, а также струйное течение (высота оси, максимальная скорость ветра на оси струи и толщина струйного течения).

Порядок указания различных метеорологических величин в авиационных прогнозах погоды рассматривается в следующем параграфе.

### 16.3. Терминология авиационных прогнозов погоды

При разработке всех видов авиационных прогнозов погоды метеорологические величины указываются в них *без градаций одним наиболее вероятным средним значением*. При этом имеется в виду, что отклонения от средних не будут превышать следующих величин:

- для направления ветра (у земли и на высотах)  $\pm 30^\circ\text{C}$ ;
- для скорости ветра у земли  $\pm 3$  м/с до скорости 15 м/с и  $\pm 20\%$  при скорости ветра более 15 м/с;
- для скорости ветра на высотах  $\pm 25$  км/ч до высоты 8 км и  $\pm 35$  км/ч на высотах более 8 км;
- для видимости  $\pm 200$  м до значения 700 м и  $\pm 30\%$  при видимости более 700 м;
- для количества облаков  $\pm 1$  октант (2 балла);
- для высоты нижней границы облаков  $\pm 30$  м до высоты 120 м и  $\pm 30\%$  при высоте облачности более 120 м;
- для температуры воздуха  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

*Это интересно:*

Текст, изложенный выше, поначалу вызывает удивление: как можно давать в прогнозах погоды метеорологические величины без градаций. Однако внимательно прочитав приведенное перечисление, начинаешь понимать, что синоптику «жить можно». И вот тому подтверждение. Предположим, что в прогнозе погоды указан ветер с направлением  $240^\circ$ . Как говорится, сделано серьезное предположение, что ветер будет юго-западный (в авиационных прогнозах направление ветра всегда указывается в градусах). Если же вспомнить о допустимом отклонении в  $\pm 30^\circ$ , то становится понятным, что прогноз оправдается при изменении направления ветра от  $210$  до  $270^\circ$ , т.е. у нас есть «скрытая градация» в  $60^\circ$ . Шестьдесят градусов – шестая часть круга, и при таком допуске синоптику, действительно, можно жить. Аналогичные примеры можно привести и по другим величинам прогноза погоды.

Для характеристики погоды в авиационных прогнозах используется следующая терминология.

*Направление ветра.* Указывается, откуда дует ветер с точностью до десятков градусов.

*Скорость ветра.* У поверхности земли она дается в метрах в секунду, а на высотах – в километрах в час. Если ожидается, что максимальная скорость ветра будет превышать среднюю скорость на 5 м/с и более, то в прогнозах погоды указывается величина порывов. При слабом ветре у земли (до 3 м/с) или на высотах (до 20 км/ч) может применяться термин «неустойчивый» без указания направления.

В маршрутных прогнозах при визуальных полетах прогноз ветра разрабатывается для уровней 100, 200, 300, 400, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 м (в отдельных случаях дополнительно для 4000 и 5000 м) над поверхностью земли, а при полетах по приборам – над уровнем моря.

При прогнозировании струйных течений в прогнозах указывается высота оси струйного течения, максимальная скорость ветра на оси струи, а также высота нижней и верхней границы струйного течения в километрах над уровнем моря.

*Дальность видимости.* При видимости до 500 м значения видимости в прогнозах погоды округляются до 50 м, а при видимости до 5000 м – до сотен метров. Если ожидается видимость 5000–9000 м, то в прогнозах она дается с округлением до 1000 м. Видимость 10 км и более во всех видах прогнозов указывается в километрах.

*Явления погоды.* Явления погоды в прогнозах указываются в соответствии с кодом TAF по специальной таблице. При разработке прогнозов по площади в случаях указания в них грозы уточняется вид грозы: «гроза внутримассовая» или «гроза фронтальная».

При прогнозе шквала указывается направление ветра и его максимальная скорость.

Гололед прогнозируется только для района аэродрома. При прогнозе обязательно указывается температура воздуха.

Для прогноза атмосферной турбулентности используются термины: «сильная (умеренная) турбулентность в облаках (вне облаков)»; «сильная (умеренная) орографическая турбулентность». Если турбулентность прогнозируется в приземном слое, то она ожидается от поверхности земли до уровня, не превышающего 600 м.

При прогнозе обледенения ВС используются термины: «сильное (умеренное или слабое) обледенение в облаках и осадках»; «сильное (умеренное или слабое) обледенение в облаках (осадках)».

В авиационных прогнозах погоды указывается не только интенсивность турбулентности (обледенения), но и слой, в котором это явление ожидается. Высота нижней и верхней границ слоя указывается с округлением до сотен метров.

*Облачность.* Количество облаков указывается в октантах. В прогнозах можно указывать до четырех слоев облачности, всегда начиная с самого нижнего слоя. Форма облаков в прогнозах погоды при передаче сообщений открытым текстом сообщается сокращенными названиями по-русски, при передаче телеграмм форма облаков не сообщается. Исключение составляет только мощная кучевая и кучево-дождевая облачность, информация о которой передается принятыми латинскими сокращениями.

Высота нижней границы облаков указывается с округлением до десятков метров. В прогнозах по аэродрому эта высота дается над уровнем аэродрома. В маршрутных прогнозах и прогнозах по площади высота нижней границы облаков указывается в равнинной и холмистой местности над рельефом, в горных районах – над уровнем моря с детализацией по участкам маршрута, площади.

Высота верхней границы облаков указывается аналогично высоте нижней границы облаков с той только разницей, что округление высоты производится обычно до сотен метров.

*Температура воздуха.* Температура воздуха в прогнозах указывается в целых градусах Цельсия. Отклонение температуры воздуха от стандартного значения включается в прогнозы погоды в тех случаях, когда оно по абсолютной величине больше или равно 5 °С.

*Высота изотермы 0 °С.* Высота нулевой изотермы в прогнозах погоды указывается в метрах относительно уровня моря с округлением до сотен метров.

*Закрытие гор, сопок, перевалов и искусственных препятствий облаками.* Закрытие гор, сопок и других препятствий облаками в прогнозах по району (площади) указывается для всего района, при прогнозах по трассе (маршруту) – в пределах ширины трассы или местной воздушной линии, а при прогнозах по аэродрому – в границах данного аэродрома. В тексте прогноза следует использовать термины: «горы закрыты», «вершины гор закрыты», «частично закрыты», «искусственные препятствия закрыты» и т.д.

При разработке маршрутных прогнозов, прогнозов по районам полетов и прогнозов по аэродромам МВЛ в начале текста прогноза дается кратко в произвольной форме прогноз синоптического положения (характеристика синоптической обстановки) на тот же срок.

#### **16.4. Детализация и корректив авиационных прогнозов погоды**

Так как в течение срока, на который разрабатывается прогноз, далеко не всегда погода остается постоянной, то в терминологии прогнозов погоды предусматривается как их детализация, так и корректив. *Детализация* авиационных прогнозов погоды проводится по месту и по времени.

Употребляемые термины детализации по месту следующие:

- в начале, середине, конце маршрута (начало – первая четверть, середина – вторая и третья четверть, конец – четвертая четверть маршрута);
- в первой (второй) половине маршрута;
- в северной (южной и т.д.) части района или квадрата;
- на участке от... и до... (указываются названия конкретных пунктов);
- местами;
- в низинах;
- на склонах;
- над озерами.

Основные термины детализации по времени выглядят следующим образом:

- в начале, середине, конце срока;
- в первой (второй) половине срока;
- временами (в отправляемых сводках обозначается латинскими буквами ТЕМРО). Если в прогнозах погоды используется термин «временами», то за срок прогноза это явление должно наблюдаться не менее двух раз, продолжительность периода с явлением не должна превышать одного часа, а общая продолжительность явления не должна быть больше половины срока прогноза;
- постепенно (в отправляемых сводках обозначается латинскими буквами ВЕСМГ);
- в период от ... и до ... (указывается время начала и конца явления).

После терминов «временами» и «постепенно» в письменных сообщениях (сводках) передается группа времени, в которой в целых часах сообщается время начала и конца явления или изменения погоды. Для термина «постепенно» срок изменения погоды обычно указывается не более двух (реже четырех) часов.

Говоря о детализации прогнозов погоды нельзя не вспомнить о прогнозах погоды в вероятностной форме. В принципе вероятностный прогноз – тоже детализация. Однако этот вид детализации по причинам, о которых мы говорили раньше, используется крайне редко.

*Это интересно:*

Нет сомнений в том, что каждый синоптик, разрабатывая прогноз погоды, хочет сделать его более подробным и более полезным для потребителя. Однако если попытаться как можно детальнее охарактеризовать синоптическую ситуацию и включить в прогноз каждое возможное отклонение и изменение метеорологических условий, то прогноз может стать слишком подробным и длинным (вы еще не рассказали летчику этот прогноз до конца, а он уже забыл его начало). В этом случае уменьшается полезность прогнозов для авиационных пользователей. В целом прогнозы должны быть как можно короче, но при этом в них следует указывать на ожидаемые значительные изменения основных метеорологических величин, от которых в большей степени зависит безопасность полетов и возможность их проведения. Синоптику нельзя забывать, что для авиации он является «обслуживающим персоналом», и его основная задача помогать своему авиапредприятию успешно решать свои задачи. Вот поэтому «очень длинный» прогноз, про который иногда в шутку сами синоптики говорят: «временами и местами над отдельными кустами...» у руководящего, летного состава и службы движения особой популярностью не пользуются. Во всем должна быть разумная достаточность.

*Корректив* вносится в оперативные прогнозы погоды по аэродрому и в прогнозы по маршруту. Это делается в тех случаях, когда неточный прогноз синоптика (такое иногда бывает) может привести к снижению уровня безопасности полетов или непроизводительным материальным затратам авиапредприятия (например, отправка самолета для посадки на запасной аэродром).

В оперативные прогнозы погоды по аэродрому (код TAF) или в группы изменений погоды (код METAR) корректив включается в тех случаях, если:

- изменения приземного ветра превысят важные эксплуатационные значения, что потребует смены старта (ВПП) и (или) ограничения полетов на каких-либо типах воздушных судов;
- скорость ветра изменится с переменного на средний или наоборот;
- видимость достигнет или превысит значения 150, 350, 600, 800, 1500, 3000 м (при полетах по ПВП – и 5000 м);
- ожидается начало, прекращение или изменение интенсивности опасных для авиации явлений погоды (гололед, замерзающий туман, умеренные или сильные осадки, метель или поземок, пыльная буря, гроза, шквал, смерч и другие опасные явления, резко изменяющие видимость);
- высота нижней границы облаков при ее количестве 5 октантов и более достигнет или превысит 30, 60, 150, 300 м (при полетах по ПВП – и 450 м);
- количество облаков с высотой нижней границы менее 450 м изменится от 0–4 октантов до 5–8 или наоборот;
- прогнозируется развитие или рассеяние кучево-дождевой облачности;
- вертикальная видимость достигнет или превысит 30, 60, 150 и 300 м;
- любые другие критерии, согласованные с руководством авиапредприятия.

*Это интересно:*

Если внимательно вчитаться в перечень данных, при которых дается корректив к прогнозу погоды, то становится понятным, что погода, изменяясь, или приводит к запре-

ту полетов какой-нибудь группы самолетов, или наоборот, «разрешает» им работать. Иными словами, корректив, своевременно внесенный в прогноз погоды, стабилизирует работу авиапредприятия и повышает ее безопасность.

В авиационные прогнозы погоды по маршруту корректив вносится в тех случаях, если:

- ветер на эшелоне полета изменится по направлению более чем на 30°, в том случае, если скорость ветра была (стала) более 60 км/ч;
- скорость ветра на эшелоне изменилась (изменится) более чем на 40 км/ч;
- температура воздуха на эшелоне изменилась (изменится) на 5 °С и более;
- ожидается возникновение обледенения и (или) турбулентности, чего не было указано в прогнозе погоды, или ожидается изменение интенсивности этих явлений;
- ожидается возникновение (прекращение) других опасных для авиации явлений погоды;
- ожидается повышение (понижение) высоты нижней границы облаков и (или) видимости до различных значений минимумов погоды, установленных для полетов по ПВП.

Авиационные прогнозы погоды отображаются на картах особых явлений погоды, на картах АКП различных уровней, в таблицах прогноза ветра и температуры, на вертикальных разрезах и специальных бланках. Со всеми этими документами, где фиксируются прогнозы погоды, вы, уважаемый читатель, ознакомитесь на практических занятиях.

### **16.5. Оценка оправдываемости авиационных прогнозов погоды и штормовых предупреждений**

*Оправдываемость* авиационных прогнозов погоды – это установление степени соответствия условий погоды, которые прогнозировались, тем условиям, которые фактически наблюдались. Оценке подлежат все составляемые на АМСГ (АМЦ) оперативные прогнозы по аэродрому, прогнозы на посадку, штормовые предупреждения, а также прогнозы по маршрутам и районам полетов. Целью оценки является выявление качества прогностической работы отдельными инженерами-синоптиками и всего метеорологического органа в целом. По качеству прогнозов погоды можно судить и о качестве обеспечения безопасности, регулярности и экономичности воздушных перевозок в метеорологическом отношении.

Оценка оправдываемости прогнозов погоды производится ежедневно согласно специальной инструкции, содержащейся в НМО ГА. Обычно оценку прогнозов производит старший инженер-синоптик АМСГ или старший смены (оценивает работу предыдущей смены), а контролирует эту работу непосредственно начальник АМСГ (АМЦ).

Если нарушений в плане работы авиапредприятия не было и не возникало никаких так называемых «сбойных ситуаций», то оценка прогнозов погоды – внутреннее дело АМСГ. Если же наблюдалось нарушение плана полетов, то оценка прогнозов производится всегда начальником АМСГ совместно с руководителем полетов или старшим авиационным диспетчером не позднее, чем в трехдневный срок.

Авиационные прогнозы погоды могут оцениваться двояко: или в процентах оправдываемости, или альтернативно.

Оценка оправдываемости прогнозов в процентах используется на АМСГ «для себя». Здесь прогнозы погоды оцениваются по пяти критериям:

1. Опасные явления погоды (было – не было, давалось в прогнозе – не давалось в прогнозе).
2. Направление ветра у земли ( $\pm 30^\circ$ ).
3. Скорость ветра у земли ( $\pm 3$  м/с до скорости 15 м/с и  $\pm 20\%$  при скорости ветра более 15 м/с).
4. Видимость ( $\pm 200$  м до значения 700 м и  $\pm 30\%$  при видимости более 700 м).
5. Высота нижней границы облаков ( $\pm 30$  м до высоты 120 м и  $\pm 30\%$  при высоте облачности более 120 м).

Вес каждого из пяти перечисленных выше критериев считается одинаковым и приравнивается к 20%. Так, например, если в вашем прогнозе оправдилось все, но только фактическое направление ветра отличалось от прогностического на  $\pm 40^\circ$ , то ваш прогноз оправдался на 80%. Такая же оправдываемость будет и в том случае, если в вашем прогнозе «получилось все», но была еще и гроза, которой в вашем прогнозе нет. На наш взгляд, это не совсем справедливо, но, к сожалению, так полагается делать.

При совместной с работниками ГА оценки прогнозов погоды используется только альтернативная оценка: «прогноз оправдался» или «прогноз не оправдался». При такой оценке прогноз погоды считается не оправдавшимся в том случае, если значение любого из перечисленных выше критериев вышло за указанные пределы и/или опасные явления погоды, указанные в прогнозе, наблюдались, однако не соответствовали времени возникновения, данному в прогнозе.

И еще несколько правил, связанных с оценкой прогнозов погоды:

- при оценке грозы и града, указанных в прогнозе, учитываются данные МРЛ, штормового кольца и бортовой погоды;
- ориентировочные прогнозы погоды и прогнозы погоды в вероятностной форме не оцениваются;
- если фактически наблюдалась облачность до 2 октантов, высота нижней границы облаков и видимость были выше, чем наибольший минимум погоды, установленный на аэродроме, а скорость ветра не превышала 3 м/с, то такой прогноз всегда считается оправдавшимся.

*Это интересно:*

Хотелось бы, уважаемый читатель, пояснить два последних правила. По существующему положению мы можем в вероятностной форме в прогнозах погоды указывать только грозу, причем ее вероятность может быть указана только 30 или 40%. Так вот, оказывается, что этот прогноз оценен не будет (не полагается), а если гроза возникнет, то ваш прогноз будет считаться не оправдавшимся, даже если в нем вы указали грозу с вероятностью 40%. Выходит, что пока представление прогнозов пользователю в вероятностной форме синоптик делает только «для души», а никакой юридической силы такой прогноз не имеет.

А теперь, пожалуйста, внимательно вчитайтесь в последнее правило. Предположим, что на аэродроме установлен наибольший минимум погоды 100 × 1000. По прогнозу синоптика ожидалась облачность высотой 150 м, видимость 2000 м и ветер со скоростью 10 м/с. Фактически же наблюдалась облачность высотой 1000 м, видимость 10 км и

ветер со скоростью 2 м/с. Как говорится, невооруженным глазом видно, что синоптик «не попал в процесс», и его прогноз не оправдался. Однако не спешите с выводами. Наблюдавшаяся на аэродроме погода выше наибольшего из минимумов, и поэтому вот этот «безобразный» прогноз должен считаться оправдавшимся. Очень похоже на то, что в погоне за оправдываемостью прогнозов (не качеством!) метеослужба этим пунктом НМО ГА «сама себя высекла», а жаль!

Штормовые предупреждения, как вид прогнозов погоды, также подлежат оценке, и также оцениваются в альтернативной форме: «оправдалось» и «не оправдалось». Если опасное явление погоды, указанное в штормовом предупреждении, наблюдалось, а заблаговременность предупреждения диспетчера об этом явлении более 30 мин, то такое штормовое предупреждение считается оправдавшимся. Штормовое предупреждение будет считаться оправдавшимся и в том случае, если диспетчер предупрежден об этом явлении менее чем за 30 мин, однако это обстоятельство не привело к нарушению плана полетов и безопасности полетов. Если же план полетов или их безопасность были нарушены, то такое штормовое предупреждение будет считаться не оправдавшимся.

Прогнозы погоды по маршрутам и районам полетов оцениваются при нарушениях планов полетов или по заявлению командира экипажа воздушного судна. Оценку такого прогноза производит старший инженер-синоптик вместе с дежурным летным командиром или командиром авиаотряда.

Средняя оправдываемость прогнозов погоды и штормовых предупреждений выражается за месяц (полугодие или год) и оформляется специальным документом. Итоговые сведения по оценке прогнозов и количеству нарушений планов полетов по вине метеослужбы согласовываются с руководством авиапредприятия (обычно со службой движения). Начальник АМСГ (АМЦ) и заместитель начальника аэропорта по движению ежемесячно в установленные сроки сообщают эти сведения соответственно в региональное управление по гидрометеорологии и региональное управление гражданской авиации.

*Это интересно:*

Хотелось бы остановиться и обратить ваше внимание на некоторые моменты, связанные с оценкой прогнозов и штормовых предупреждений.

Во-первых, выписав и вручив диспетчеру штормовое предупреждение, синоптик от всех (почти всех) неприятностей «закрылся бумажкой». Диспетчеру такую бумажку вручать некому, он должен принимать решение. Что будет происходить с погодой в самое ближайшее время, мы, безусловно, знаем лучше диспетчера, поэтому наша (метеорологическая) задача заключается не только в том, чтобы вручить бланк штормового предупреждения, а потом «хоть трава не расти», но и помочь диспетчеру принять правильное и грамотное решение с учетом изменяющихся погодных условий.

Во-вторых, опять оправдываемость штормовых предупреждений поставлена в зависимость от нарушения режима полетов: режим полетов не нарушен – штормовое предупреждение оправдалось, нарушен – нет. Опять плохо, опять, если хотите, обидно за нашу службу.

В-третьих, вот пример маленькой и законной «хитрости» синоптика. Не секрет, что каждый по итогам месяца хочет иметь достаточно высокую оправдываемость своих прогнозов. С прогнозами погоды здесь понятно – столько дал, из них столько-то оправдалось, и все очень просто. Со штормовыми предупреждениями можно немножко «поиграть». Представьте себе, что вы работаете на крайнем севере и за месяц дали два штормовых предупреждения. Первое предупреждение давалось вами на возникновение низкой облачности, и это предупреждение не оправдалось, а второе – на снег и метель в течение всех суток (я поэтому и «загнал» вас на Крайний север, так как там может «за-

дуть» и на неделю) – с 00 ч до 24 ч, и это предупреждение оправдалось. Подводя итоги за месяц, начальник АМСГ вам запишет, что у вас оправдываемость штормовых предупреждений 50% (два дано, одно – оправдалось). Но вас никто, даже если вы в этом уверены, не заставляет выписывать штормовое предупреждение сразу на сутки. Вы вместо одного предупреждения можете выписать два (с 00 до 12 ч и с 13 до 24 ч). Эти предупреждения у вас оправдаются, а следовательно, за месяц оправдываемость ваших предупреждений вместо 50% стала равна 67%. Вы ничего не нарушили, вы все сделали честно, а свои рабочие показатели вы несколько улучшили. Но и это еще не все. Ведь вы можете выписывать предупреждения на срок 6 ч (тогда их за сутки будет четыре, а общая оправдываемость предупреждений у вас составит уже 80%).

И это опять-таки не предел. Если выписывать предупреждения на четыре часа (на меньший срок, пожалуй, неудобно), то таких предупреждений за сутки будет шесть, а за месяц семь, из которых только одно не оправдалось. Вот так, без всякой подтасовки данных, вы увеличили оправдываемость своих штормовых предупреждений с 50 до 86%. Такие вещи специалисту знать нужно, но особенно увлекаться не следует. Не забывайте, пожалуйста, что основная наша задача – помочь авиапредприятию решать свои проблемы с наименьшими затратами, а не погоня за процентами.

### 16.6. Разбор прогнозов погоды

Для совершенствования любой работы, особенно такой трудной, какой является метеорологическое обеспечение авиации, необходим анализ результатов деятельности метеорологических органов. Поскольку неоправдавшийся прогноз – это серьезный срыв в работе не только синоптика, у которого прогноз не оправдался, но и всего коллектива, такие прогнозы погоды должны подвергаться «разбору».

*Разбор неоправдавшихся прогнозов* – это коллективное выявление причин ошибок в прогнозах погоды и выработка предложений для последующей их реализации по недопущению таких ошибок впредь. Разбор прогнозов погоды – одна из форм совершенствования качества метеорологического обеспечения авиации и повышения профессионального уровня сотрудников метеорологического органа. Разбор прогнозов погоды организуется и проводится начальником АМСГ (АМЦ) или по его поручению старшим инженером-синоптиком.

Можно сформулировать ряд требований к разборам прогнозов погоды. Они должны быть направлены:

- на повышение качества обеспечения полетов в метеорологическом отношении;
- на выявление истинных причин, которые привели к ошибке в прогнозе погоды;
- на повышение профессионального мастерства как каждого синоптика в отдельности, так и всего метеорологического органа вместе;
- на выявление недостатков и на обобщение и распространение передового опыта работы;
- на обеспечение требований безопасности, регулярности и экономичности воздушных перевозок;
- на выработку мероприятий по предотвращению любых возможных нарушений режима полетов;
- на совершенствование организаторской, воспитательной и методической работы инженеров-синоптиков и руководителей АМСГ (АМЦ).

Для реализации этих требований необходимо тщательно готовиться к проведению разборов. Разбор прогнозов погоды должен проводиться квалифицированными специалистами профессионально, объективно и доброжелательно, особенно по отношению к молодым специалистам.

Иногда на АМСГ проводят разбор оправдавшегося прогноза погоды, который был дан при достаточно сложной синоптической ситуации. Такие прогнозы погоды разбирают «в назидание потомкам».

*Это интересно:*

На практике очень часто разбор прогнозов погоды проводится один раз в месяц на так называемой техучебе. Синоптик, придя на дежурство, должен посмотреть, как его прогнозы оправдались за прошлую смену. Если около каждого записанного прогноза начальником АМСГ поставлено «ОПР», то все в порядке – прогнозы оправдались. Если же у какого-нибудь прогноза начальник написал «Н», то с таким прогнозом нужно будет поработать. Сначала синоптик определяет по каким параметрам его прогноз не оправдался. Имея архивные данные, эта задача решается быстро. Затем в специальном журнале нужно записать, чем определялась погода на момент составления прогноза, что указывалось в прогнозе и что наблюдалось на самом деле, а также указать причину, почему прогноз не оправдался. Так делает каждый синоптик в течение всего месяца. Затем на техучебе те синоптики, у кого за текущий месяц есть неоправдавшиеся прогнозы, выступают перед всеми с анализом случившегося, а начальник АМСГ в заключение подводит итог разбора. Одному синоптику он рекомендует лучше изучить местные особенности возникновения опасных явлений погоды, другому – внимательней анализировать карты барической топографии, третьему – вспомнить методы прогноза перемещения барических образований. В следующем месяце картина повторяется. Теперь уже другой синоптик изучает местные особенности, другой занимается анализом карт БТ и т.д. Но самое интересное заключается в том, что даже такой, на первый взгляд примитивный подход к разбору прогнозов погоды, дает хорошие результаты. Даже перед своими коллегами часто выступать на техучебе не хочется, вот поэтому приходится к работе относиться внимательней и серьезней.

## Глава 17

# МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

### 17.1. Основные требования, предъявляемые к метеорологическому обеспечению полетов

Метеорологическое обеспечение полетов заключается в своевременном доведении до командного, летного состава и службы движения метеорологической информации, необходимой для выполнения ими своих должностных обязанностей. Эта немножко «тяжелая» фраза очень хорошо характеризует суть метеорологического обеспечения полетов. Проблему безопасности полета решают различные должностные лица ГА, и каждому из них необходимо передать достаточный объем метеорологической информации, необходимый для выполнения своей работы.

К метеорологическому обеспечению полетов предъявляются следующие основные требования:

- своевременность;
- полнота;
- качество.

*Это интересно:*

Пожалуй, нет особой необходимости подробно останавливаться на каждом из перечисленных требований. Совершенно очевидно, что вся требуемая для принятия решения информация должна поступить к определенному должностному лицу ГА (будь то или командир экипажа, или диспетчер, или руководитель авиапредприятия) до того момента, когда это лицо должно принять определенное решение с учетом нашей метеорологической информации. Информация эта должна быть полной и хорошего качества. В этом заинтересованы все работники гражданской авиации и все сотрудники АМСГ (АМЦ).

Метеорологическое обеспечение производится по плану и по дополнительным заявкам, которые должны быть переданы на АМСГ диспетчером. Эти заявки желательно передавать на АМСГ не позднее, чем за 3 ч до вылета. В заявке должно быть указано *время вылета и время посадки, маршрут полета, запасные аэродромы*, которые должны находиться на расстоянии, не превышающем 2 ч полета от основного аэродрома посадки, *эшелон полета и правила выполнения полета* (визуальный полет или полет по приборам). Три часа времени до вылета, за которое должна быть дана заявка на полет, практически всегда достаточно для того, чтобы на АМСГ успели запросить погоду и прогноз, получить ответ из пункта посадки и запасных аэродромов и сформулировать и разработать свой прогноз по маршруту полета.

Если вылет запланирован заранее, то в период *предварительной подготовки* (проводится накануне дня вылета и не всегда) дежурный синоптик отвечает на один вопрос командира экипажа, который можно сформулировать: «Ну, как?». Это означает, что экипаж завтра очень хочет улететь и интересуется у синоптика, смогут ли они вылететь по погоде. После такого вопроса дежурный синоптик должен дать экипажу предварительный прогноз погоды на завтра по своему аэродрому и оценить (предварительно) возможность экипажа выпол-

нить полет. Подробнее о «тяготах» экипажа на чужом аэродроме при задержке вылета на длительный срок мы рассказывали вам раньше.

В период *предполетной подготовки* (проводится всегда за 1 ч до вылета) экипажи воздушных судов обеспечиваются:

- данными о фактической погоде и оперативными прогнозами по аэродрому вылета, посадки и запасным;
- прогнозами погоды и штормовыми предупреждениями по маршрутам полетов;
- данными бортовой погоды (если они есть);
- приземными и высотными картами погоды, охватывающими весь маршрут полета;
- данными МРЛ и искусственных спутников земли;
- обязательной устной консультацией.

АМСГ аэродрома вылета обеспечивает экипажи информацией до первого пункта посадки и разрабатывает все прогнозы, кроме прогноза по аэродрому посадки.

Срок действия прогноза погоды по маршруту должен превышать расчетное время полета на 30 мин при любой продолжительности полета (обычно срок прогноза округляют до 30 мин всегда в большую сторону).

Вручение полетной метеорологической документации (той документации, которую экипаж берет на борт ВС) должно производиться не ранее чем за 45 мин до запланированного времени вылета, а если произошла задержка вылета на 20 мин и более, то экипаж обязан получить новую устную консультацию на АМСГ.

Если на аэродроме посадки нет метеорологической службы (так иногда бывает), то синоптик аэродрома вылета имеет право дать прогноз погоды по маршруту «туда и обратно», но только в том случае, если срок полета в оба конца и время стоянки в аэропорту назначения в сумме не превышают 9 ч.

#### *Это интересно:*

Хотелось бы, уважаемый читатель, пояснить только что прочитанные вами обязательные и очень важные правила.

Синоптик аэродрома вылета, естественно, разрабатывает свой прогноз (по своему аэродрому) и прогноз погоды по маршруту. Прогноз погоды по аэродрому посадки точнее получится у синоптика, который работает на АМСГ аэродрома посадки. Вот поэтому на аэродроме вылета ждут получения прогноза погоды с аэродрома посадки для того, чтобы грамотно и точно проконсультить вылетающий экипаж.

Ориентировочное время стоянки самолета в промежуточном аэропорту – примерно 1 ч. Это время нужно для дозаправки самолета топливом, погрузки и выгрузки багажа и выхода и посадки пассажиров. Представьте себе, что самолет прилетел на промежуточный аэродром, «отведенный» час пошел, а в системе что-то разладилось – произошла задержка вылета (может быть в этом виновата и погода). Зачем же синоптик на аэродроме вылета будет «мучиться» с прогнозом на второй и последующие участки маршрута, если у него нет уверенности в том, что дальше все пойдет гладко. Этот синоптик может (и должен) по запросу экипажа дать ориентировочный прогноз погоды до конца маршрута, но он несет ответственность только за прогноз до первой промежуточной посадки самолета.

В принципе должно быть понятно, почему время прогноза должно превышать время полета. Предположим, что самолет должен был сесть в 14.00, и до 14.00 был дан прогноз погоды. Самолет произвел посадку в 14.05 и из-за грозы, которая не была ука-

зана в прогнозе, при посадке получил повреждение. Кто виноват? Юридически вины синоптика нет, так как посадка самолета произошла после того, как закончился срок прогноза. Вот для того, чтобы таких ситуаций не было, и полагается срок прогноза увеличивать по сравнению с расчетным временем посадки. По этой же причине при задержке вылета на 20 мин и более нужна повторная метеорологическая консультация экипажа.

Вручение полетной метеорологической документации не ранее, чем за 45 мин до вылета, обусловлено желанием сообщить экипажу «последнюю, самую свежую» погоду.

В аэропорту посадки экипаж обязан сдать метеорологическую документацию на АМСГ, а если она не выдавалась – лично сообщить дежурному синоптику условия полета по только что выполненному маршруту.

И последнее общее правило и требование: при необходимости на аэродроме взлета (посадки, промежуточном или запасном) может быть проведена воздушная разведка погоды на воздушном судне без пассажиров. К участию в полетах на воздушную разведку может быть привлечен синоптик, который предварительно прошел специальную подготовку и имеет допуск на участие в таких полетах (как иногда в шутку говорят синоптики, что их берут на борт в качестве «заложников»: сам дал прогноз, сам проконсультировал экипаж, сам сел в самолет и полетел смотреть, что «напрогнозировал»).

## **17.2. Порядок метеорологического обеспечения органов УВД**

Метеорологическое обеспечение органов УВД заключается в своевременной передаче информации о фактической и ожидаемой погоде на аэродромах, трассах и в районах полетов. Метеорологическая информация, передаваемая органам УВД, состоит из двух частей: информации для диспетчерской службы, необходимой специалистам органов УВД для выполнения своих обязанностей, и информации для воздушных судов, находящихся в воздухе.

Синоптики консультируют (устно и лично) каждую заступающую смену диспетчерской службы на аэродроме. В этой консультации сообщаются общая характеристика погодных условий по району ответственности и на аэродроме, прогнозы погоды на период летной работы или дежурства по аэродромам вылета, посадки и запасным, прогнозы погоды по воздушным трассам, местным воздушным линиям и районам полетов. Кроме того, в устной консультации сообщается о предполагаемом направлении смещения радиозондов, которые могут быть выпущены за период смены и пересекать воздушное пространство аэродрома, а также дается информация о фактической погоде своего аэродрома, атмосферном давлении и тенденции его изменения.

В консультации особо отмечают возможность возникновения опасных явлений погоды и время прохождения атмосферных фронтов через район аэродрома.

Кроме того, во время консультации синоптик сообщает о техническом состоянии метеорологических приборов, установок и средств связи, а также о готовности дежурной смены АМСГ к обеспечению полетов.

*Это интересно:*

В принципе консультация заступающей смены диспетчеров – дело привычное и обыденное. Это происходит каждый день. Однако здесь есть свои тонкости, которые следует знать. Не секрет, что диспетчерская служба на аэродроме представлена сильной половиной человечества, а синоптики – в основном прекрасной его половиной. Представьте себе, что в какой-нибудь комнате или классе сидит десяток-полтора молодых и здоровых парней, диспетчеров, которые ждут вашей консультации (а раз ждут, то пока они сидят, им делать нечего). Вот они и смотрят на вас «на просвет», а вам еще нужно поднять обе руки вверх и как-то развесить карты, по которым вы будете проводить консультацию. Уверяю вас, что помощник из диспетчеров найдется не сразу. Ну а если вы кому-то нравитесь (что вполне естественно и не исключено), то даже от «вертолетчика» ждите вопроса о высоте тропопаузы. Это значит, что всегда нужно быть в порядке, нужно хорошо знать свое дело и уметь без грубости осадить и поставить на место любого из «кавалеров». Если вы с этим сразу не справитесь и попадетесь «на язык» диспетчерскому или летному составу, то это уже надолго. Все это, естественно, беззлобные шутки, но об этом лучше знать и лучше подтрунивать над кем-то, чем будут подтрунивать над тобой.

На аэродроме каждый диспетчер и каждый диспетчерский пункт получает «свою» информацию, необходимую для управления воздушными судами в своей зоне ответственности. Диспетчерским пунктам на аэродроме сообщается следующая информация.

Аэродромному диспетчерскому пункту передаются данные о фактической погоде на своем аэродроме, прогнозы погоды по своему аэродрому, маршрутам полетов, пунктам посадки и запасным аэродромам и коррективы к ним, штормовые оповещения и предупреждения по своему аэродрому, обслуживаемым трассам, аэродромам посадки и запасным.

Диспетчерский пункт руления обеспечивается только сведениями о фактической погоде своего аэродрома.

На стартовый диспетчерский пункт передаются данные о фактической погоде своего аэродрома и штормовые оповещения по своему аэродрому.

Диспетчерский пункт системы посадки и диспетчерский пункт круга обеспечиваются сведениями о фактической погоде и штормовыми оповещениями по своему аэродрому, прогнозами погоды на посадку, данными о ветре на высоте 100 м и на высоте круга, а также данными МРЛ при работе станции в режиме «шторм».

На диспетчерский пункт подхода передаются сведения о фактической погоде своего аэродрома, прогнозы погоды по своему аэродрому и коррективы к ним, штормовые оповещения и предупреждения по своему аэродрому, сведения о фактической и ожидаемой погоде на запасных аэродромах (по запросу диспетчера), а также данными при работе МРЛ в режиме «шторм».

Местный диспетчерский пункт и командно-диспетчерский пункт местных воздушных линий обеспечиваются сведениями о фактической погоде и штормовыми оповещениями по своему аэродрому, прогнозами по своему аэродрому и коррективами к ним, прогнозами, штормовыми оповещениями и предупреждениями по МВЛ и районам полетов, штормовыми оповещениями по аэродромам посадки и запасным, сведениями о фактической и ожидаемой погоде на аэродромах посадки и запасных (по запросу диспетчера), а также данными МРЛ при работе станции в режиме «шторм».

Дежурному штурману аэропорта сообщаются оперативные прогнозы по своему аэродрому и коррективы к ним, прогнозы температуры и ветра на различных высотах, прогнозы погоды и штормовые предупреждения по воздушным трассам, местным воздушным линиям и районам полетов. В этой же так называемой штурманской комнате, где сидит дежурный штурман, организуется прослушивание метеорологической информации по существующим в аэропорту радиоканалам связи.

Метеорологическое обеспечение гражданских секторов зональных и районных центров ЕС ОрВД осуществляется также синоптиками АМЦ (АМСГ).

Зональный центр ЕС ОрВД в своей зоне ответственности обеспечивается прогнозами погоды и штормовыми предупреждениями по воздушным трассам, а также прогнозами ветра и температуры по трассам. Эти прогнозы представляются в текстовом или табличном виде, в некоторых случаях – в виде карт АКП. Кроме того, по запросу руководителя (начальника) смены гражданского сектора ЕС ОрВД синоптик, обеспечивающий зональный центр, информирует о фактической и ожидаемой погоде на аэродромах посадки и запасных.

Дежурный синоптик зонального центра ЕС ОрВД обязан постоянно следить за всеми изменениями погодных условий в зоне ответственности зонального центра (ЗЦ) и своевременно информировать о них руководителя смены. По всем вопросам метеорологического обеспечения полетов дежурный синоптик ЗЦ ЕС ОрВД взаимодействует с дежурным синоптиком своей АМСГ (АМЦ), а также с дежурными синоптиками других АМСГ, которые обслуживают районные центры ЕС ОрВД в этой зоне, и дежурными синоптиками ведомственной метеослужбы (военными синоптиками).

Метеорологическое обеспечение дежурной смены ЗЦ осуществляется за счет и на основании той метеорологической информации, которая поступает в зональный центр от АМСГ (АМЦ) и ведомственной метеослужбы.

Районный центр (РЦ) ЕС ОрВД обеспечивается в метеорологическом отношении синоптиком АМСГ, для которого в помещении РЦ оборудуется рабочее место и выделяются необходимые линии связи.

Районный центр ЕС ОрВД обеспечивается для своей зоны ответственности устными консультациями о фактическом состоянии погоды и дальнейшем развитии синоптических процессов. Такие консультации проводятся инженером-синоптиком два раза в сутки при заступлении на дежурство очередной смены РЦ. Консультации сопровождаются показом необходимого синоптического материала. Такие же консультации могут проводиться и в любое другое время по запросу начальника смены гражданского сектора РЦ ЕС ОрВД.

Кроме того, РЦ получает прогнозы погоды (текстовые или графические) и штормовые предупреждения по воздушным трассам, прогнозы погоды по аэродромам, включая аэродромы МВЛ. По запросу дежурной смены на РЦ может сообщаться фактическая погода этих аэродромов.

На РЦ ЕС ОрВД также передаются коррективы к ранее составленным прогнозам погоды, штормовые оповещения по аэродромам посадки и запасным, схемы ожидаемого смещения радиозондов, данные наблюдений по МРЛ, установленному на аэродроме, где расположен РЦ, и другая информация.

Инженеры-синоптики РЦ для обеспечения безопасности полетов и работы дежурной смены РЦ ЕС ОрВД пользуются всеми необходимыми материалами, имеющимися на АМСГ.

Дежурный синоптик РЦ обязан постоянно следить за всеми изменениями метеорологических условий в зоне РЦ и своевременно информировать руководителя полетов района или старшего диспетчера о возникновении опасных для авиации явлений погоды, осуществлять сбор бортовой погоды через диспетчеров районного центра, осуществлять взаимодействие по вопросам метеорологического обеспечения полетов с дежурными синоптиками зонального центра и ведомственной метеослужбы.

Вспомогательные районные центры УВД (если они оборудуются) также обеспечиваются различной метеорологической информацией. Объем этой информации зависит от конкретных условий работы вспомогательного центра и согласуется руководством региональных управлений гидрометслужбы и гражданской авиации.

*Это интересно:*

С самого начала этого параграфа вам, уважаемый читатель, дается информация о том, *кому и что* должен сообщать дежурный синоптик в той или иной ситуации. На первый взгляд кажется, что это никогда не запомнишь, и всегда будешь ошибаться. На самом деле это не так. Все дело в том, что информация передается тому или иному диспетчеру или другому должностному лицу на аэродроме в количестве «разумной достаточности», т.е. не дается ничего лишнего. А если это так, то вам остается только хорошо узнать всю «кухню» работы авиапредприятия, зону ответственности каждого диспетчера, каждого диспетчерского центра. Если это вы будете хорошо знать, то проблемы «что и кому давать» у вас не будет – вы все будете делать автоматически и без ошибок.

Особое место в метеорологическом обеспечении органов УВД занимает обеспечение автоматизированных систем УВД. Автоматизированные системы, разработанные специалистами гражданской авиации для решения штурманских задач и задач управления воздушным движением, могут основываться на различной исходной метеорологической информации. Поэтому порядок метеорологического обеспечения автоматизированных систем УВД осуществляется в соответствии со специальной инструкцией, разрабатываемой начальником АМСГ (АМЦ) совместно с должностным лицом, осуществляющим руководство автоматизированной системой. Эта инструкция должна быть утверждена в местном управлении по гидрометеорологии (как иногда говорят «в управе») и в управлении гражданской авиации.

В инструкции о метеорологическом обеспечении органов УВД должны быть отражены все виды метеоинформации, предоставляемые на рабочие места диспетчеров УВД, сроки и способы ее передачи, способы ее отображения на рабочих местах, схемы связи для передачи информации, взаимные обязательства и т.д.

Существующая система метеорологического обеспечения органов УВД позволяет диспетчерам различных рангов решать свои задачи. Порядок метеорологического обеспечения полетов по различным трассам будет рассмотрен в следующем параграфе.

### 17.3. Порядок метеорологического обеспечения полетов по различным трассам

Как указывалось выше, метеорологическое обеспечение полетов заключается в обязательной устной консультации каждого экипажа и выдаче на борт ВС различной метеорологической документации, объем и содержание которой зависят от характера и продолжительности полета.

В содержание устной консультации входит следующая информация в указанной последовательности:

- синоптическое положение по всему маршруту или до пункта первой посадки ВС;
- прогноз температуры и ветра на высотах;
- высота и температура тропопаузы и высота уровня максимального ветра (при необходимости);
- фактические и ожидаемые опасные явления погоды по маршруту полета и информация о струйных течениях;
- фактическая погода и прогнозы погоды по аэродромам вылета, посадки и запасным;
- другая метеорологическая информация (по требованию экипажа);
- данные бортовой погоды (если они есть).

При выполнении визуальных полетов экипажам дополнительно сообщается *высота нижней границы облаков, видимость и опасные явления погоды у земли, закрытие гор облаками, тенденция изменения давления и сама величина атмосферного давления.*

Консультация сопровождается иллюстрацией и показом всего синоптического материала, который есть в распоряжении дежурного синоптика. Особое внимание уделяется на те условия и те участки маршрута, где полет наиболее сложен.

Текст консультации, а следовательно, весь диалог между синоптиком и летчиком обычно записывается на магнитофон.

При полетах на малых высотах и визуальных полетах используется информация до уровня 700 гПа, а при полетах по трассам – до уровня полета и выше до ближайшей (сверху) основной изобарической поверхности.

*Метеорологическое обеспечение полетов продолжительностью менее 2 ч.* При продолжительности беспосадочного полета менее 2 ч экипаж на АМСГ получает только устную консультацию. Никакая документация на борт метеослужбой не выдается. После устной консультации, о которой мы только что рассказали, дежурный синоптик ставит в задании экипажу на полет (в полетном листе) штамп: «Метеорологическую подготовку прошел», указывает название АМСГ, дату, время и свою фамилию. Тот член экипажа, который получил эту устную консультацию, расписывается на АМСГ в специальном журнале.

Перед началом консультации командир экипажа сообщает свою фамилию, номер рейса и маршрут полета. Это делается для того, чтобы на магнитной ленте остались «следы» устной консультации. По требованию командира экипажа ему может быть вручен бланк с прогнозами погоды по аэродрому вылета, посадки и запасным и любая другая документация.

*Это интересно:*

Отталкиваясь от последней фразы, хочется рассказать вам, уважаемый читатель, чуть подробнее по поводу написанного. Обычно летчики не очень любят разные «бумаги», поэтому сравнительно редко попадается экипаж, которому «все подавай» и что нужно, и что не нужно. Фамилии таких командиров воздушных судов знают на всей территории России. Ведь у авиационных синоптиков, как у цыган, существует своя «авиационно-метеорологическая почта», так как почти все синоптики – выпускники нашего Гидромета. Между собой бывшие однокашники обмениваются письмами, посылками и информацией. И если вдруг где-то заведется «командир экипажа – зануда», которому все нужно, то о нем будут знать на всех АМСГ раньше, чем он туда прилетит. Естественно, ему дадут все, что он просит (синоптик обязан это сделать), но ни от кого такой командир не дожидается ни улыбки, ни пожелания «мягкой посадки», а это тоже важные составляющие успешного полета.

*Метеорологическое обеспечение полетов продолжительностью от 2 до 5 ч.* При продолжительности полета от 2 до 5 ч экипаж помимо устной консультации получает бланк, в котором записаны прогнозы погоды в пункте вылета, посадки и на запасных аэродромах на срок, превышающий время полета не менее чем на 30 мин.

При обеспечении вылетов на аэродромы, где отсутствует АМСГ с синоптической частью, экипажам дается консультация или вручается бюллетень погоды с прогнозами на полет до аэродрома назначения и обратно.

При выполнении групповых полетов и перелетов по установленным маршрутам метеорологическую подготовку на АМСГ проходят все экипажи, а документация вручается только старшему перелетающей группы.

*Метеорологическое обеспечение полетов продолжительностью более 5 ч.* Экипажи ВС, выполняющие полеты по трассам продолжительностью более 5 ч, дополнительно к устной консультации получают:

- авиационную прогностическую карту особых явлений погоды;
- авиационную прогностическую карту барической топографии того уровня, который является ближайшим к заданному эшелону полета (карту АКП) или прогноз ветра и температуры на эшелоне полета, который выдается в виде таблицы;
- бланк с прогнозами погоды по аэродрому вылета, посадки и запасным с записью атмосферного давления на аэродроме вылета за последний срок;
- бланк «Бортовая погода», который экипаж заполняет в полете.

При выполнении полетов по местным воздушным линиям продолжительностью более 5 ч (полеты на патрулирование лесов при пожароопасной обстановке, полеты на ледовую разведку и т.д.) экипажи получают бюллетень погоды, в котором указывается краткая характеристика синоптической обстановки и прогноз по маршруту полета, прогноз ветра на высоте полета, прогнозы погоды по аэродромам посадки и запасным, данные о фактической погоде аэродрома вылета за последний срок, а также минимальное значение атмосферного давления у земли по маршруту или району полетов.

*Это интересно:*

Давайте немножко посчитаем. Средняя скорость полета наших магистральных самолетов примерно равна 850 км/ч. Это значит, что при полете на расстояние до 1500–1700 км экипажу нужна от синоптика только устная консультация. Если самолет летит на

расстояние до 4000–4200 км, то такому экипажу нужен только бюллетень с прогнозами погоды, а если дальше – весь комплект метеорологической документации. А теперь представьте себе карту России и посмотрите (прикиньте), как часто нужно готовить для консультации весь комплект документов. Получается, что примерно в половине внутренних рейсов можно ограничиться только устной консультацией, еще примерно для 40% рейсов достаточно только одного бюллетеня погоды, и только примерно в 10% нужен весь объем документов. Эти правила метеорологического обеспечения полетов в значительной мере облегчают «участь» синоптиков и освобождают их от большого объема рутинной работы.

*Метеорологическое обеспечение полетов на АМСГ IV разряда.* Как уже говорилось выше, АМСГ IV разряда отличается от других АМСГ более высоких разрядов тем, что эти станции не имеют синоптической группы. Дежурный техник-метеоролог такой АМСГ получает от закрепленного за ней АМЦ (АМСГ) прогнозы погоды по своему аэродрому и использует их для консультации летного и диспетчерского состава.

Прогнозы погоды для метеорологического обеспечения полетов с аэродромов, обслуживаемых АМСГ IV разряда, составляются в следующей последовательности: маршрут (район) полетов; время действия прогноза; характеристика синоптической обстановки; прогноз ветра (направление и скорость), видимости, явлений погоды, облачности (количество, форма, высота нижней границы), обледенения, турбулентности, верхней границы облаков, минимального давления по маршруту полета или высоты ближайшей изобарической поверхности в районе максимального превышения в горной местности.

Все прогнозы, составляемые для использования на АМСГ IV разряда, подписываются синоптиком, разработавшим прогноз, и техник АМСГ не имеет права вносить в него какие-либо изменения. Разработанный прогноз погоды должен быть по возможности кратким, четким и не допускать двойственного толкования.

*Метеорологическое обеспечение полетов сверхзвуковых транспортных самолетов (СТС).* Метеорологическое обеспечение СТС имеет некоторые особенности. Так, например, независимо от продолжительности полета для обеспечения СТС разрабатывается маршрутный прогноз погоды, в котором отдельно указываются ожидаемые условия погоды на этапах набора высоты, крейсерского полета и снижения. В этом прогнозе содержатся сведения о скорости и направлении ветра, температуре воздуха и ее отклонении от стандартных значений, а также сведения об опасных для авиации явлениях погоды и высоте вершин кучево-дождевой облачности.

Экипажу СТС перед вылетом выдается следующая метеорологическая документация:

- прогностическая карта АТ-100 или АТ-70 с указанием на ней зон умеренной или сильной турбулентности, обледенения, высот вершин кучево-дождевой облачности, температуры воздуха и ее отклонения от стандартного значения;
- прогностический вертикальный разрез атмосферы от поверхности земли до высоты 16 000–20 000 м для начального и конечного участков трассы протяженностью по 300–500 км каждый;

- таблица с указанием по участкам трассы прогностических значений скорости и направления ветра, температуры и ее отклонения от стандартного значения, интенсивности турбулентности и других опасных явлений погоды;
- бланк с прогнозами погоды по аэродрому вылета, посадки и запасным.

*Это интересно:*

Метеорологические документы для обеспечения СТС приготовить не так просто, как написано. Дело в том, что в обычных телеграммах с данными температурно-ветрового зондирования (код КН-04) информация передается только до уровня 100 гПа, а это «всего» 16 км. Сверхзвуковые самолеты летают значительно выше. Следовательно, информацию о распределении температуры и ветра на высотах более 16 км синоптику нужно сначала «добыть», потом самому все нанести на бланк аэрологической карты, потом эту карту самому обработать, а уж потом проанализировать и разработать прогноз на этих уровнях. Все это требует и времени, и хорошей специальной подготовки.

#### **17.4. Особенности метеорологического обеспечения полетов на местных воздушных линиях и полетов по применению авиации в народном хозяйстве**

Особенности полетов на местных воздушных линиях (МВЛ) отражены в различных документах. Рассмотрим основные особенности метеорологического обеспечения полетов на МВЛ, которые заключаются в следующем.

1. Для полетов на МВЛ обычно используется нижнее воздушное пространство (высоты до 6100 м). Сами полеты во многих случаях выполняются по правилам визуальных полетов главным образом на малых и предельно малых высотах.

В нижнем воздушном пространстве чаще, чем в верхнем, возникают опасные для полетов метеорологические явления. Например, шквалы, смерчи, град, переохлажденный дождь, сильная пыльная буря, представляющие опасность для взлета и посадки воздушных судов, обычно бывают в нижних слоях тропосферы или непосредственно у земной поверхности.

Поэтому при метеорологическом обеспечении полетов на МВЛ необходим особенно тщательный анализ атмосферных процессов, развивающихся в нижней половине тропосферы, особенно в пограничном ее слое, и оценка их влияния на полеты по всей МВЛ.

2. Многие МВЛ проходят над малоориентирной местностью со сложным характером рельефа и подстилающей поверхности. При анализе синоптической обстановки и разработке авиационных прогнозов погоды нужно хорошо знать и всесторонне учитывать местные особенности.

3. Большая изменчивость атмосферных процессов в нижних слоях атмосферы нередко создает сложные условия для полетов на малых высотах. Здесь пилоты значительно чаще встречаются с явлениями погоды, которые не только затрудняют пилотирование и самолетовождение, но иногда совсем исключают возможность выполнения рейсов по правилам визуальных полетов.

4. При метеорологическом обеспечении полетов на МВЛ необходима большая консультативная помощь командирам воздушных судов. Надо учитывать, что при выполнении рейсов на малых высотах командиру воздушного судна труднее пилотировать самолет или вертолет, ориентироваться в пространстве, определять опасные для себя явления погоды и поддерживать связь

«с землей». Трудности пилотирования обусловлены тем, что воздушные потоки нижних слоев атмосферы обычно турбулизированы сильнее, чем другие слои. Это особенно заметно летом над пересеченной местностью. Вместе с тем при полете на малых высотах уменьшается и расстояние, с которого в полете можно определить опасное метеорологическое явление.

Широко применяемые на МВЛ винтомоторные и легкие транспортные самолеты более подвержены воздействию атмосферных явлений, чем реактивные самолеты. Эти же самолеты в меньшей степени защищены от обледенения, которое наиболее опасно для самого распространенного пока у нас самолета Ан-2. У таких самолетов также меньше технических возможностей для определения в полете гроз, зон града и интенсивных ливней.

Радиус действия средств связи при полете на малых высотах значительно сокращается. Командир воздушного судна, выполняющий полет по МВЛ, часто лишен возможности проконсультироваться с диспетчерской службой. В этих случаях он в большей мере должен полагаться на свои знания, умение и опыт.

По указанным причинам особое значение приобретает тщательная предполетная подготовка, в том числе и наша консультация о метеорологических условиях полета по заданному маршруту.

5. Многие аэропорты МВЛ недостаточно оборудованы системами посадки или не имеют их совсем. На трассах не везде ведется радиотехнический контроль полета, в связи с чем значительно возрастает роль визуальной ориентировки. Связь с аэропортами МВЛ менее развита, чем на общероссийских воздушных линиях. В ряде случаев местные воздушные линии заканчиваются в небольших населенных пунктах, связь с которыми бывает непостоянной. Нередко МВЛ заканчиваются в таких населенных пунктах, с которыми вообще нет связи. Это создает трудности в управлении воздушным движением и в получении метеорологической информации из пунктов посадки.

6. Метеорологическое обеспечение полетов на МВЛ часто приходится осуществлять в условиях редкой метеорологической сети при ограниченных возможностях сбора и распространения любой информации, в том числе и метеорологической, поэтому трудно организовать надежное штормовое оповещение и предупреждение об опасных явлениях погоды. В то же самое время при полетах на малых высотах повышаются требования к точности прогнозов опасных метеорологических явлений по всему маршруту (по всей МВЛ). В этих условиях существенно возрастает роль обмена метеоинформацией, поступающей с бортов рейсовых самолетов.

7. Метеорологические органы, обеспечивающие только полеты по МВЛ, малочисленны по штату и не могут вести синоптическую (прогностическую) работу. В некоторых аэропортах и на посадочных площадках вообще нет метеорологических органов. Метеорологическое обеспечение рейсовых полетов в такие пункты и обратно осуществляется на АМСГ аэропорта вылета.

8. Метеорологическое обеспечение полетов по МВЛ организуется согласно НМО ГА и регламентируется «Порядком метеорологического обеспечения в зоне местного диспетчерского пункта». Метеорологическое обеспечение полетов непосредственно в аэропортах МВЛ, имеющих на АМСГ синоптическую группу, осуществляется дежурным инженером-синоптиком этой АМСГ.

Для метеорологического обеспечения авиации, работающей на местных воздушных линиях, используются прогнозы погоды по аэродромам, воздушным трассам, МВЛ, маршрутам и районам полетов, штормовые предупреждения по воздушным трассам и аэродромам, информация о фактической погоде с аэродромов МВЛ и посадочных площадок, бортовая погода и данные наблюдений с помощью МРЛ (если они есть) базовых аэродромов.

Перед вылетом экипажи воздушных судов обеспечиваются в зависимости от продолжительности полета или специальными бланками, или картой АКП соответствующего уровня. Кроме того, экипажи получают обязательную устную консультацию.

При осуществлении метеорологического обеспечения полетов по МВЛ особое значение имеет своевременная информация диспетчерской службы об изменениях погодных условий в зоне ответственности. Должностные лица гражданской авиации (базовых аэродромов) по согласованию с начальником базовой АМСГ обязаны организовать своевременное получение информации о погоде с аэродромов по каналам связи ГА и передачи ее на АМСГ.

Все перечисленные выше особенности относятся к полетам для выполнения авиационно-химических работ (АХР), полетам по ПАНХ (применению авиации в народном хозяйстве) и полетов на аэродромы и посадочные площадки, на которых нет представителей метеослужбы. Таких полетов гражданская авиация России в год выполняет несколько миллионов. Метеорологическое обеспечение этих полетов осуществляется в соответствии с НМО ГА и специальной Инструкцией, разрабатываемой начальником базовой АМСГ и заместителем начальника аэропорта по движению, которая утверждается руководителем авиапредприятия. В Инструкции указывается район и характер возможных полетов, информация, используемая для обеспечения полетов, порядок ее передачи на аэродром (посадочную площадку), формы и средства доведения метеорологической информации до работников УВД, порядок метеорологических наблюдений и передачи этой информации на АМСГ базового аэродрома и т.д.

Для метеорологического обеспечения используются прогнозы по аэродрому, маршруту, району (площади) полетов и штормовые предупреждения. В случае если маршрут полета пролегает по газо- и нефтепроводам или линиям электропередачи, а также если выполняются полеты по транспортировке грузов на внешней подвеске, по оказанию медицинской помощи, то используются прогнозы погоды только по маршруту. Перечень и границы районов, для которых разрабатываются прогнозы погоды, определяются руководителем авиапредприятия и согласовываются начальником АМСГ.

Метеорологическая информация, необходимая для обеспечения полетов, вручается под расписку диспетчеру службы движения, отвечающему за организацию авиационных работ. Затем эта информация передается на приписные аэродромы и посадочные площадки, а также экипажам воздушных судов, находящимся в воздухе. При передаче синоптиком диспетчеру службы движения штормового предупреждения последний принимает меры по безопасности полетов и сохранности технике на земле.

Руководитель авиапредприятия и начальник АМСГ организуют занятия с синоптиками для ознакомления с особенностями авиационных работ и влияния

метеорологических условий на их выполнение. С летным и диспетчерским составом проводятся занятия по изучению метеорологических и климатических особенностей района намечаемых полетов.

На основании заявок авиапредприятий региональное управление по гидрометеорологии организует обеспечение их трехдневными и месячными прогнозами погоды и другой необходимой информацией (например, данными о снежном покрове, данными о характере предстоящего паводка на реках и т.д.). АМСГ аэропорта вылета обеспечивает экипажи воздушных судов прогнозами погоды на весь период полетов. Документация вручается экипажу при продолжительности полета более 2 ч. Для непосредственного метеорологического обеспечения полетов на базовой АМСГ разрабатываются 6-часовые прогнозы погоды через каждые 3 часа. Передача этих прогнозов на аэродромы МВЛ и посадочные площадки осуществляется всеми возможными способами (от обычного телефона до местной широкоэвещательной радиостанции).

Метеорологическое обеспечение полетов осуществляет, как правило, АМСГ, которая находится в зоне ответственности того органа УВД, куда входит район работ. В том случае, если полеты выполняются в зоне ответственности другого органа УВД, то АМСГ аэропорта вылета запрашивает у соответствующей АМСГ прогноз погоды по району (площади) на расчетное время полетов.

При видимости 3000 м и менее и/или высоте нижней границы облаков 150 м и ниже, а также при наличии опасных для полетов метеорологических явлений экипаж не реже одного раза в час передает данные бортовой погоды диспетчеру УВД для последующей их передачи на АМСГ. Копии всех метеорологических документов вручаются под роспись должностным лицам, осуществляющим руководство полетами.

*Это интересно:*

Представьте себе, уважаемый читатель, большую лесную поляну, на окраине которой стоит всего один дом с антенной на крыше, а рядом – один самолет Ан-2. Это тоже аэродром. На таком аэродроме часто нет не только представителей метеослужбы, но и представителей гражданской авиации. Здесь командир воздушного судна сам себе хозяин. Такой командир с утра пораньше подходит к своему самолету (а пока идет – визуально проводит метеорологические наблюдения), садится в кабину, запускает двигатель и по самолетной радиостанции связывается с диспетчером, докладывает ему погоду и запрашивает разрешение на начало работы. Получив от диспетчера «добро», самолет взлетает, и экипаж выполняет запланированный объем работ, периодически докладывая диспетчеру о своих действиях и о погоде в районе выполнения работ.

Особое место при выполнении полетов на МВЛ занимают учебные полеты. Эти полеты проводятся на полевых аэродромах летных училищ гражданской авиации. Метеорологическое обеспечение таких полетов осуществляется с базовой АМСГ при училище в строгом соответствии с НМО ГА. Командный состав училища обеспечивается суточными прогнозами погоды, оперативными (обычно шестичасовыми) прогнозами по аэродромам, прогнозами по районам полетов, штормовыми оповещениями и предупреждениями, а также информацией о фактической погоде, данными МРЛ и шаропилотными данными.

На полевых аэродромах метеорологические наблюдения организуются силами АМСГ, а связь – силами ГА (училища).

*Это интересно:*

Курсанты летных училищ, естественно, должны летать. Однако, с одной стороны, у них недостаточно опыта, и им можно летать только при простой погоде (на синоптике лежит большая ответственность за качество прогноза), а с другой стороны, на одном аэродроме все курсанты одного курса летать не смогут – будет «очень тесно» в воздухе. Поэтому при каждом летном училище есть несколько полевых аэродромов, на которые по группам (эскадрильям) и направляются курсанты для выполнения практических полетов. Вот такие полеты гидрометеослужбе и приходится обеспечивать. На синоптике большая ответственность лежит еще и потому, что курсанты до полевого аэродрома должны доехать (а это иногда 100 км и более), и если «летней погоды» не будет, то окажется сорванной и летная, и наземная подготовка курсантов. А через четыре года выпускники училища будут возить грузы, почту и нас с вами. Так что с прогнозами погоды для учебных полетов нужно быть очень аккуратным.

### **17.5. Особенности метеорологического обеспечения международных полетов**

*Международные полеты* – это полеты, связанные с пересечением воздушными судами государственной границы России или другого государства или полеты, выполняемые в воздушном пространстве другого государства (государств). Международные полеты подразделяются на регулярные, выполняемые по расписанию, дополнительные и эпизодические (разовые), к которым относятся чартерные и специальные полеты.

Международные полеты гражданская авиация России выполняет в соответствии с требованиями и условиями международных договоров, заключенных между правительством России и другими странами о воздушном сообщении.

Метеорологическое обеспечение международных полетов осуществляется АМСГ (АМЦ) согласно требованиям НМО ГА и Технического регламента Всемирной метеорологической организации (Приложение 3 к Конвекции о Международной организации гражданской авиации).

АМСГ (АМЦ), осуществляющие метеорологическое обеспечение международных полетов, обеспечивают командный, диспетчерский, летный состав и представителей зарубежных авиакомпаний метеорологической консультацией и данными о фактическом и ожидаемом состоянии погоды на воздушных трассах, аэродромах вылета, посадки и запасных.

С целью метеорологического обеспечения международных полетов ГАМЦ и зональные авиационные метеорологические центры (Новосибирск, Хабаровск) регулярно составляют по закрепленным зонам авиационную прогностическую документацию. Для территорий, в пределах которых указанные центры несут ответственность за составление прогнозов, все виды прогнозов погоды и уровни (высоты), для которых они разрабатываются, определяются Росгидрометом с учетом эксплуатационных требований и согласовываются с ГС ГА.

Независимо от продолжительности полета экипаж воздушного судна или представитель авиакомпании перед вылетом получает метеорологическую документацию. Она включает в себя авиационную прогностическую карту особых явлений погоды, карту барической топографии и прогноз ветра и температуры на эшелоне полета, бланк с прогнозами погоды по аэродрому вылета, посадки и запасным. Документация оформляется на русском (для российских экипажей) или на английском (для всех остальных) языке в соответствии с требованиями ИКАО.

В том случае, если имеющаяся карта освещает не весь маршрут полета, экипажу вручается прогноз по остальному участку маршрута, составленный по международному коду ROFOR или открытым текстом. Кроме того, экипажу может быть вручена карта особых явлений, полученная от другого прогностического центра.

Метеорологическая консультация экипажей воздушных судов и представителей авиакомпаний проводится на русском или английском языке.

*Это интересно:*

Как указывалось выше, все экипажи, совершающие международные рейсы, получают полный комплект метеорологических документов и устную консультацию независимо от продолжительности полета. Представьте себе, уважаемый читатель, что совершается полет по маршруту Петербург – Хельсинки. Время полета по этому маршруту примерно 20 мин и примерно столько же времени нужно потратить на консультацию экипажа и вручение ему документов. Однако это себя оправдывает, так как способствует повышению безопасности полетов.

И еще одно обстоятельство. Синоптики АМСГ (АМЦ), которые допущены к проведению консультаций экипажей на английском языке, ежегодно сдают экзамен по английскому языку, а, получив допуск, дополнительно получают надбавку к зарплате в 10% за знание английского языка. Редко, но иногда возникают трудности в общении синоптика и экипажа, особенно в тех случаях, когда для командира воздушного судна английский язык не является родным языком. Чаще всего такие ситуации возникают с пилотами авиакомпаний стран СНГ, которые не очень хорошо говорят по-английски, а сами знают, но не хотят говорить по-русски. В таких случаях, в конце концов, «побеждает» здравый смысл или на помощь приходит представитель авиакомпании.

Прогнозы погоды по аэродромам, прогнозы на посадку, коррективы к ним и сводки о фактической погоде составляются с использованием международных кодов. Штормовые сообщения SIGMET составляются на АМСГ по зоне ответственности районных центров ЕСОрВД, привлекаемых к обеспечению международных полетов. Эти сообщения составляются в тех случаях, когда наблюдаются или ожидаются зоны активной грозовой деятельности (фронтальные грозы), сильный фронтальный шквал, сильный град, сильное обледенение или турбулентность. Эта информация составляется открытым текстом с использованием принятых сокращений на английском языке и передается руководителю полетов района (старшему диспетчеру) для предупреждения экипажей воздушных судов.

Экипажи воздушных судов, находящиеся в полете, обеспечиваются сведениями о фактической погоде (код METAR), прогнозами погоды (код TAF), которые передаются по радиоканалам метеовещания VOLMET, данными о фактической погоде по запросу экипажа по диспетчерским каналам связи и штормовыми сообщениями SIGMET, передаваемыми на борт воздушных судов по диспетчерским каналам связи.

В зарубежных аэропортах метеорологическое обеспечение экипажей воздушных судов России производится по соответствующим соглашениям, заключенным ГС ГА России и компетентными органами других стран, ответственными за обеспечение полетов. Представители гражданской авиации России в зарубежных аэропортах обязаны знать порядок метеорологического обеспечения российских экипажей и принимать соответствующие меры (при необходимости) по его выполнению.

*Это интересно:*

В последнее время во многих странах мира, в том числе и на некоторых аэродромах в России, вместо обязательной устной консультации экипажей инженером-синоптиком проводится предварительная подготовка по типу «Briefing». Такой вид подготовки предполагает определенную «свободу выбора» технологии получения метеорологической консультации. Представитель экипажа (обычно это командир ВС, второй пилот или штурман) могут лично не общаться с синоптиком, а все необходимые данные получить из компьютера прямо в штурманской комнате, и на основании полученной информации самостоятельно принять решение на вылет. Такая система вроде бы более современна, требует меньше времени на консультацию экипажа, но отучает летный состав «напрямую» общаться с синоптиком. В результате получается, что синоптик не знает, для чего он разрабатывал все прогнозы и кому они нужны, а летчик, получив всю информацию от компьютера, не знает что с ней делать, для чего это ему нужно. Вот поэтому уже сейчас ICAO начинает «бить тревогу» и пытается снова ввести обязательную устную консультацию для экипажей, улучшить авиационную подготовку синоптиков и улучшить метеорологическую подготовку летного состава.

### **17.6. Особенности метеорологического обеспечения авиации, базирующейся на судах**

Особенности метеорологического обеспечения полетов авиации над морем определяются тактикой использования воздушных судов, спецификой сбора гидрометеорологической информации с акваторий морей и океанов, а также большой изменчивостью процессов в атмосфере над большими водными пространствами.

Полет над безориентирной морской (океанической) поверхностью всегда происходит в сложных условиях. Однако трансконтинентальные полеты самолетов над океаном проводятся, как правило, на больших высотах, и подстилающая поверхность фактически не оказывает влияния на их метеорологические условия.

Существенное значение метеорологическое обеспечение приобретает при полетах воздушных судов, выполняющих различные народно-хозяйственные задачи в прибрежной зоне, которые могут осуществляться в широком интервале высот, а также при полетах авиации с судов, кораблей и морских платформ.

В настоящее время базирующиеся на судах вертолеты используются для проведения ледовой разведки, обследования рыбопромысловых районов, научно-исследовательских, изыскательских, связных, спасательных и других работ. Полеты при этом могут производиться на малых и предельно малых высотах, в различных режимах пилотирования и с энергичным маневрированием. Трудности при организации метеорологического обеспечения полетов авиации над морем обусловлены отсутствием достаточной сети гидрометеорологических станций в море и отсутствием постоянной сети штормового оповещения.

Основными источниками гидрометеорологической информации в районе полетов судового (корабельного) вертолета являются наблюдения, проводимые на судне, воздушная разведка погоды и спутниковая информация. Сбор гидрометеорологической информации на судах, где базируются вертолеты, должен осуществляться с помощью стандартной аппаратуры, а собранная таким образом информация должна увязываться с результатами собственных наблюдений на судне или группе судов.

В большинстве случаев при обеспечении полетов над морем основной объем информации на судне получают от зарубежных метеорологических центров. Список зарубежных станций и расписание передач зарубежных РМЦ доводится ВМО до сведения всех национальных гидрометеорологических служб. Выбор и использование необходимой информации определяются условиями плавания и характером выполняемых летных задач.

В последнее время большую роль стала играть информация от океанских гидрометеорологических буев. Если раньше можно было использовать только информацию кораблей погоды, расположенных в фиксированных точках, то теперь в отдельных районах океана устанавливаются сети якорных буев. Для наблюдения за морскими течениями используются также дрейфующие буи. Информация с автоматических буев собирается и передается в центры приема и обработки данных по каналам спутниковой системы связи «Аргос». При метеорологическом обеспечении полетов над морем существенную помощь оказывает также спутниковая информация.

Непосредственное метеорологическое обеспечение вертолетов, базирующихся на судах, осуществляет судовая гидрометеорологическая группа. Обеспечение полетов в прибрежной зоне может производить по заявке командира экипажа ближайшая к району полетов АМСГ или береговая гидрометеорологическая обсерватория. Это особенно актуально в тех случаях, когда на судне гидрометеорологическая группа отсутствует или она слабо оснащена в специальном отношении. В таких случаях заявка должна поступить на АМСГ (в гидрометеобсерваторию) не позднее, чем за 4 ч до вылета вертолета (начала полетов). В заявке указывается время начала и окончания полетов, координаты района полетов, минимумы погоды и фактическая погода в районе расположения корабля (платформы) на момент отправления заявки. После подачи заявки ежечасно до окончания полетов на АМСГ передается информация о направлении и скорости ветра, видимости, явлениях погоды, облачности (количестве, форме и высоте нижней границы), температуре воздуха и атмосферном давлении. Метеорологические наблюдения проводят лица, прошедшие специальную подготовку. Штормовая информация передается «на берег» в тех случаях, когда скорость ветра увеличивается выше допустимых пределов, видимость и/или высота нижней границы облаков уменьшаются до значений ниже установленного минимума погоды или наблюдается обледенение в осадках и сильная турбулентность. Данные о погоде и штормовые оповещения ежечасно передаются на АМСГ и на летающий борт (борты).

После подачи заявки командиром воздушного судна наземные подразделения несут ответственность (при наличии договора о метеорологическом обеспечении таких полетов) за своевременное и качественное обеспечение вертолетов всей необходимой информацией. Порядок организации и проведения гидрометеорологического обеспечения вертолетов, базирующихся на судах или морских платформах, определяется соответствующей инструкцией по производству полетов с данного судна (платформы), которая разрабатывается на основании действующих руководящих документов.

Визуально на судне определяются явления погоды, дальность горизонтальной видимости, высота, форма и количество облаков. Наиболее важной

метеорологической величиной является облачность, так как с ней связаны такие опасные явления, как гроза, шквал, осадки, болтанка и обледенение. Высота нижней границы облаков в значительной степени определяет безопасность посадки вертолета на палубу судна.

Визуальные наблюдения за горизонтальной видимостью в море производить чрезвычайно сложно. Поэтому очень важно иметь хотя бы временные ориентиры, расстояние до которых известно или его можно определить с помощью технических средств. При консультации экипажа синоптик всегда должен обращать внимание на возможность ухудшения обзора (видимости) за счет отложения соли, испаряющейся с морской поверхности и откладывающейся на остеклении кабины воздушного судна, особенно в тех случаях, когда полет происходит на малых или предельно малых высотах.

Необходимо также помнить, что полеты над морем выполняются практически при отсутствии запасных аэродромов. Это накладывает большую ответственность на метеорологическую службу на качество разрабатываемых прогнозов погоды.

При обеспечении безопасности взлетно-посадочных операций на движущемся судне необходимо грамотно выбрать курс движения судна с учетом реального ветра. Если курс судна не совпадает с направлением ветра, то возникает кажущийся ветер, который приводит к появлению у вертолета разворачивающегося момента.

Волнение морской поверхности изменяет высоту судовой палубы над уровнем моря. Это может привести к «проваливанию» вертолета при посадке, соскальзыванию вертолета с палубы и т.п.

Взлетно-посадочные операции особенно сложны в ночное время. Ночные заходы на посадку требуют от летного состава высочайшего мастерства, поэтому недаром летчики, подготовленные к полетам на судах в ночное время, считаются настоящими мастерами своего дела.

### **17.7. Информация, передаваемая с земли на борт воздушного судна**

При выполнении полета в так называемом штатном режиме, когда нет никаких сбоев, информация о погоде передается на борт воздушного судна три раза: на взлете, в зоне подхода и в зоне круга.

*На взлете* экипажу воздушного судна сообщается курс взлета, состояние ВПП, направление и скорость ветра у земли, информация об опасных явлениях погоды по курсу взлета, а также высоту нижней границы облачности и видимость у земли, если они меньше, чем  $200 \times 2000$ .

*В зоне подхода* при заходе на посадку экипаж получает от диспетчера информацию о температуре воздуха у земли, направлении и скорости ветра, атмосферном давлении, высоте нижней границы облаков, а также о зонах обледенения, турбулентности и опасных явлениях погоды в районе аэродрома.

*В зоне круга* экипажу передают информацию о высоте нижней границы облаков, видимости на ВПП, направлении и скорости ветра у земли, а также состоянии ВПП и коэффициент сцепления.

*Это интересно:*

Если вы, уважаемый читатель, еще раз внимательно прочтете начало параграфа, то поймете, что экипажу передается на борт самая необходимая информация и ничего лишнего. Действительно, летчику при взлете, прежде всего, нужно знать курс взлета и состояние ВПП, хотя это, пожалуй, к метеорологической информации можно отнести с большой натяжкой. А вот сведения о направлении и скорости ветра, данные об опасных явлениях погоды экипажу знать необходимо. От этого зависит безопасность взлета. В зоне подхода, когда до посадки самолета еще примерно 10–15 мин, на борт воздушного судна передается общая и достаточно консервативная информация о погоде в районе аэродрома – температура воздуха, атмосферное давление, информация об опасных явлениях и т.д. Непосредственно перед посадкой ВС, когда самолет находится на кругу, на его борт передают самую нужную и самую «свежую» информацию о погоде, что, вне всякого сомнения, повышает безопасность посадки. Это данные о высоте нижней границы облаков, видимости на ВПП и направлений и скорости ветра. Состояние ВПП и коэффициент сцепления – не самые метеорологические характеристики, однако, нельзя сказать, что они совершенно не зависят от погодных условий.

### **17.8. Особенности метеорологического обеспечения полетов в разных географических районах**

Метеорологическое обеспечение полетов, выполняемых в разных географических районах, осуществляется всегда в соответствии с «Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации». Если исходить из этого правила, то все и везде должно быть совершенно одинаково. Однако это далеко не так. Порядок метеорологического обеспечения полетов зависит не только от географического положения аэродрома, но и от характера начальника АМСГ.

Если характер начальника отбросить в сторону, то в особые группы по географическому положению принято выделять следующие районы: горные, приморские, арктические (антарктические) и пустынные. Сложность метеорологического обеспечения полетов в этих районах обусловлена редкой сетью метеорологических станций, своеобразием и сложностью синоптических процессов, а также слабой изученностью районов.

Рассмотрим особенности метеорологического обеспечения полетов гражданской авиации отдельно в каждом из перечисленных районов.

*Горные районы.* В горных районах любой пункт (аэродром) имеет свои климатические особенности, которые зависят от высоты пункта над уровнем моря, местоположения пункта относительно горных вершин, направления хребта и направления господствующих ветров, а также от радиационных факторов и характера подстилающей поверхности.

Условия полетов в горных районах достаточно сложные. В нижних слоях атмосферы над горами часто возникает сильная термическая и динамическая турбулентность, развивается грозовая деятельность. Облачные системы атмосферных фронтов в горах трансформируются. На наветренной стороне гор за счет вынужденного подъема воздуха атмосферные фронты обостряются. Это приводит к увеличению по площади и интенсивности зон осадков, повышению верхней границы облаков, а также к закрытию вершин гор облаками.

На подветренных склонах за счет нисходящих движений воздуха облачность размывается, и осадки прекращаются (или уменьшается их интенсивность).

При подходе к следующей цепи горных вершин облачность и осадки могут снова достичь прежней силы. Сложность рельефа в горных районах обуславливает большое многообразие форм облачности.

Наиболее сложные погодные условия в горах наблюдаются в осенние месяцы.

Горные районы характеризуются и особым ветровым режимом. При обтекании хребта воздушным потоком возникают горные волны, в которых наблюдается достаточно сильная турбулентность. Эта турбулентность может усиливаться термической конвекцией, и тогда полеты в зоне интенсивной турбулентности значительно усложняются. Сильная турбулентность отмечается в вершинах горных волн, определить которые можно по так называемым «ро-торным» облакам.

В горах наблюдаются *горно-долинные ветры*. Эти ветры, как известно, представляют собой местную циркуляцию воздуха между горным хребтом и долиной, обусловленную различным нагреванием долины и склонов. Скорость горно-долинных ветров обычно не превышает 5–7 м/с. Горно-долинный ветер имеет хорошо выраженный суточный ход направления ветра: днем ветер направлен из долины на склоны гор, а ночью – со склонов гор в долину.

Из-за сравнительно небольшой скорости горно-долинные ветры не представляют большой опасности для деятельности авиации. Смена направления ветра от дня к ночи может вызвать лишь изменение на противоположный курс взлета на аэродроме.

*Фены* представляют бóльшую опасность для авиации, чем горно-долинные ветры. Фен – это сильный (до 20 м/с) и порывистый ветер, дующий с гор. При фенах значительно повышается температура воздуха и уменьшается его относительная влажность. Фены возникают в тех случаях, когда на пути воздушного течения находятся орографические препятствия. Следовательно, это не «чисто» местный ветер, а измененный под влиянием орографии воздушный поток.

В горных районах самым опасным для авиации является *стоковый ветер*. Стоковый ветер представляет собой поток воздуха под действием силы тяжести по достаточно пологому склону местности. Классическим примером стокового ветра является ветер в Антарктиде, когда он направлен из внутренних районов материка на побережье. Наиболее опасен стоковый ветер в тех случаях, когда его усиление дополнительно происходит и за счет циркуляционных процессов. При таких ситуациях скорость ветра может достигать 30 м/с и более. Аналогичные условия для возникновения и усиления стоковых ветров могут наблюдаться во многих регионах России.

*Это интересно:*

Хочется, уважаемый читатель, на бытовом и понятном примере пояснить вам, что такое стоковый ветер. Под Петербургом на Карельском перешейке есть курортное место с поэтическим названием Серенада. Местность здесь представляет собой невысокие пологие холмы, на склонах которых растут красивые старые сосны. Серенаду «облюбовали» лыжники. Приятно и, на первый взгляд, совсем не страшно на обычных беговых лыжах спуститься с пологой и не очень высокой горки, тем более, что спуск-то длинный. Спуск начинается красиво и не очень быстро. Однако на длинном спуске уже к его середине тебя так «разнесет», что впору только как-нибудь удержаться на ногах (вот он сток). Не самые умелые лыжники с середины спуска начинают «вопить» и специально

заваливаются на бок. Эта одна из причин, почему Серенаду назвали Серенадой. А зимой в тихую морозную погоду сосны на склоне, чуть раскачиваясь, поют или стонут (как вам больше нравится). Эта их песня слышна, и эта вторая причина того, что Серенаду зовут Серенадой. А на самом верху, там, где начинается спуск, вокруг самой большой сосны круглый год, как лепестки ромашки, лежат сломанные лыжи.

При оценке метеорологических условий полетов в горных районах особое внимание следует уделять облачности, степени закрытия гор облаками, явлениям погоды (особенно возможности возникновения гроз и интенсивной турбулентности), ухудшению видимости в явлениях погоды, а также ветровому режиму.

Особенности метеорологического обеспечения полетов в горных районах заключаются в следующем. Во-первых, в горах мала эффективность использования МРЛ. Дело в том, что с экономической точки зрения аэродром целесообразно располагать на высоте «поближе» к уровню моря, т.е. у подножия гор. При этом для взлета и посадки воздушных судов потребуется ВПП меньшей длины, чем на аэродроме, построенном на более высоком месте. В этом случае горные цепи, расположенные вокруг аэродрома, становятся экраном для МРЛ, и радиолокатор «видит» картину распространения облачности только над собой.

Во-вторых, при метеорологическом обеспечении полетов в горных районах большое внимание уделяется информации, получаемой на АМСГ от пролетающих воздушных судов.

В-третьих, для разработки прогнозов погоды и штормовых предупреждений обязателен учет местных признаков возникновения опасных явлений погоды.

*Приморские районы.* В этих районах часто наблюдаются сложные для полетов условия погоды. К опасным явлениям в приморских районах следует отнести адвективные туманы, низкие слоистые облака, а также вынос низкой облачности и туманов с моря. Большую опасность представляют также ночные грозы и турбулентность в нижнем слое атмосферы.

Ветровой режим в приморских районах имеет свои особенности. Здесь часто наблюдаются бризы и бора. Бриз – ветер, который в дневное время направлен с моря на сушу, а в ночное – с суши на море. Скорость ветра при бризе обычно не превышает 5–7 м/с. Для полетов особой опасности бриз не представляет.

Наиболее опасна для полетов бора. Бора – это сильный и порывистый ветер, который наблюдается в районах, где невысокий горный хребет резко опускается к морю. Скорость ветра при боре обычно превышает 20 м/с. Классическим примером боры является Новороссийская бора. Аналогичные условия наблюдаются и на Кольском полуострове, Новой Земле, на Байкале и в других районах.

При оценке условий полета в приморских районах наиболее строго учитывается режим низкой облачности, возможность возникновения туманов, гроз и интенсивной турбулентности в приземном слое.

*Это интересно:*

Об особенностях полетов над морем было рассказано чуть выше. Добавим еще два небольших штриха. Иногда на аэродромах, расположенных на самом берегу (а такие у нас есть), возникает интересная ситуация. Над морем в 2–3 км от берега отчетливо видна «стена» тумана, а на аэродроме видимость 10 км. Вот синоптик и начинает гадать: придет туман или нет. Приходится запрашивать каждый борт, вылетающий в сторону моря, о том, на каком расстоянии от береговой черты находится туман, и на основании

этого давать прогноз о его смещении. И, как говорят, «по закону бутерброда», если синоптик сказал, что туман придет на аэродром, то туман рассеется над морем, а если не дал тумана, то туман обязательно «накроет» аэродром.

И еще одно интересное наблюдение, которое, правда, касается летчиков, а не синоптиков. Летчики очень не любят летать ночью над морем в ясную и тихую погоду, когда на поверхности воды штиль. А все потому, что при штиле в воде, особенно в темные ночи, отражаются звезды и луна (если она есть). У летчика создается впечатление, что он летит между звезд, и справиться с этим ощущением очень трудно. Нужно внимательно следить за показаниями навигационных приборов, которые позволяют не потерять ориентировку в пространстве, а то «хоть кричи – как я отсюда слезу?».

При метеорологическом обеспечении полетов в приморских районах необходимо использовать информацию МРЛ и данные пролетающих воздушных судов, а также учитывать местные признаки возникновения опасных явлений погоды. Кроме того, при полете над морем на предельно малых высотах желательно знать и сообщать экипажам высоту волн, особенно при сильном волнении моря. Высота волны в том или ином районе акватории зависит от скорости и направления ветра. Установлено, что высота волн во внутренних морях может достигать 5–6 м, а в открытом океане – 10–20 м. При обеспечении полетов это обстоятельство необходимо обязательно учитывать.

*Арктические районы.* В арктических районах в течение всего года наблюдаются сложные для прогнозирования условия погоды. Это обусловлено наличием полярного дня и полярной ночи, низкой температурой воздуха в зимний период, сильными снегопадами (зарядами) в переходные сезоны, большой повторяемостью явлений погоды, ухудшающих или искажающих видимость (белая мгла и др.), плохим прохождением радиосвязи и крайне редкой сетью метеорологических станций и т.д.

В арктических районах полеты самолетов выполняются практически без запасных аэродромов, хотя они и указываются в полетном задании. Метеорологическая служба в этих районах несет особую ответственность за качество метеорологического обеспечения полетов. Здесь нельзя выделить какой-либо элемент погоды, здесь важно все.

В высоких широтах грозы почти не наблюдаются, но туманы и низкая облачность отмечаются часто. Высокая прозрачность атмосферы обуславливает хорошую видимость, однако приземные инверсии и скопление под ними мельчайших ледяных кристаллов создают условия для возникновения световых столбов и миражей.

Кроме того, при низкой температуре в условиях штилевой погоды после взлета самолета на ВПП образуется туман (иногда туман образуется за автомашиной, передвигающейся по аэродрому), эволюцию которого предсказать практически невозможно.

Большую опасность для полетов представляет и облачная пелена, характерная только для арктических районов. Она представляет собой облака толщиной от нескольких метров до нескольких десятков метров. Эти облака не видны для наблюдателя с земли и могут быть обнаружены с помощью ИВО (РВО-2). Эта облачная пелена расположена обычно на высоте 30–100 м. При полете в ней отмечаются значительное ухудшение видимости и умеренное или сильное обледенение.

*Это интересно:*

– В арктических районах зимой температура воздуха ниже 40° мороза не редкость. Однако при таких температурах в топливе при неправильном хранении могут образоваться ледяные кристаллы, которые делают это топливо непригодным для использования в авиационных двигателях. Тогда, на радость местным жителям, весь керосин, имеющийся на аэродроме, распродается населению, а для заправки самолетов приходится ждать качественного топлива.

– Если на аэродроме мороз за сорок градусов, а самолет несколько дней простоял на стоянке, то и в салоне самолета тоже минус сорок. Пассажирам не очень уютно, когда бортпроводница приглашает их пройти в салон и занять свои места. Чтобы при посадке пассажир не замерз и ничего не отморозил, сначала внутрь самолета через открытую дверь пропускают широкий брезентовый рукав, по которому в салон поступает теплый воздух от специальной машины. Только после того, как температура в салоне станет «терпимой», объявляется посадка на самолет. Окончательно пассажиры согреваются уже в полете, когда заработает система кондиционирования.

При метеорологическом обеспечении полетов в арктических районах необходимо тщательно анализировать данные экипажей, данные МРЛ и МСЗ. Кроме того, необходим детальный анализ штормовой информации, поступающей на АМСГ. Обязательным является изучение и учет местных особенностей возникновения опасных явлений погоды.

Значительную помощь в улучшении качества метеорологического обеспечения гражданской авиации может оказать хорошо организованное взаимодействие между различными метеорологическими подразделениями Росгидромета.

*Пустынные районы.* Сложные для полетов погодные условия наблюдаются и в пустынных районах. Правда, на первый взгляд, в отличие от арктических районов, где почти всегда «ясно, тихо, холодно», про пустынные районы хочется сказать, что там почти всегда «ясно, тихо, жарко». В пустынных районах из опасных явлений следует отметить сильный ветер и как следствие – песчаные бури, ухудшающие видимость иногда до нескольких десятков метров. Кроме того, высокая температура в приземном слое и большие вертикальные градиенты температуры обуславливают интенсивную турбулентность, вызывающую болтанку воздушных судов, и сильные сдвиги ветра. При высокой температуре значительно увеличивается длина разбега и пробега самолета, и в случае недостаточно длинной ВПП на аэродроме иногда невозможно осуществлять взлет и посадку.

Высокая температура воздуха снижает работоспособность, а наличие в пустынных районах большого количества ядовитых насекомых (скорпионов и т.д.) отрицательно действует на психику всего личного состава аэродрома и создает дополнительные трудности в его работе.

Солончаки, играя роль огромных экранов, ухудшают прохождение радиосвязи, и для устойчивого приема информации необходимо создавать специальные антенные поля.

*Это интересно:*

Хотелось бы привести пример особенностей пустынных районов. На восточном побережье Каспийского моря расположены (теперь уже за границей) два аэродрома: Шевченко и Красноводск. Между ними примерно 450 км, на запад от них простирается на 350 км море, а на восток – пустыня протяженностью 500 км. И все. Вот и общайся друг с другом и давай прогнозы погоды. Больше спросить не у кого. А ведь не Арктика, а юг.

При метеорологическом обеспечении полетов в пустынных районах особое внимание уделяется информации, передаваемой экипажами воздушных судов, данным МРЛ, а также местным признакам возникновения опасных явлений погоды.

В заключение следует отметить, что метеорологическое обеспечение гражданской авиации в горных, приморских, арктических и пустынных районах имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при обслуживании авиации.

### **17.9. Особенности метеорологического обеспечения полетов на разных высотах**

Как указывалось выше, в соответствии с НПП ГА полеты воздушных судов подразделяются на полеты на предельно малых и малых высотах, средних и больших высотах, а также на полеты в стратосфере.

Самолеты и вертолеты гражданской авиации выполняют полеты в любом из перечисленных диапазоне высот. Естественно, что при полетах на малых высотах и при полетах в стратосфере встречаются разные опасные явления погоды, да и при метеорологическом обеспечении экипажам ВС требуется различная информация.

Рассмотрим данный вопрос более подробно.

*Метеорологическое обеспечение полетов на предельно малых и малых высотах.* Метеорологические условия в нижнем километровом слое атмосферы часто затрудняют, а иногда и исключают возможность выполнения полетов. В холодный период года основные явления погоды, осложняющие действия авиации и влияющие на безопасность и регулярность полетов, – низкая облачность, ограниченная видимость, осадки и обледенение. В теплый период наибольшую опасность для авиации представляет грозовая деятельность и турбулентность в нижнем слое атмосферы.

Высота нижней границы облаков и видимость обуславливают минимумы погоды, поэтому при определенных условиях становятся невозможными посадка и взлет воздушных судов, а также визуальный полет самолета или вертолета.

При низких облаках и ограниченной видимости значительно усложняются условия пилотирования воздушного судна. Естественный горизонт при такой погоде обнаруживается с большим трудом или не виден совсем, и определение местоположения самолета связано для экипажа с серьезными трудностями. Это создает сильное эмоциональное напряжение для летного состава. Действительно, если предположить, что видимость ухудшена до 1000 м, а скорость полета воздушного судна составляет 360 км/ч (100 м/с), то экипажу после обнаружения какого-либо объекта на земле для принятия решения остается менее 10 с. Поэтому при полетах на малых и предельно малых высотах во время подготовки к полету штурманом рассчитывается безопасная высота полета. Она рассчитывается с учетом рельефа местности, высоты препятствий по маршруту полета, а также метеорологических величин: приземного давления и распределения его по маршруту и температуры воздуха. Эта информация и требуется летному составу от специалистов метеослужбы для определения безопасной высоты полета.

Дополнительно необходимо знать и доводить до летного состава информацию о распределении ветра в нижнем слое атмосферы, наличии турбулентности, сильных сдвигов ветра и других опасных явлениях погоды.

В качестве основных мероприятий, которые должны проводиться на АМСГ при обеспечении полетов на малых и предельно малых высотах, можно отметить следующие: изучение физико-географических особенностей района полетов; исследование влияния подстилающей поверхности и орографии района на погодообразующие факторы; изучение сети метеорологических станций, от которых поступает информация о погоде, и их репрезентативности; тщательный анализ приземных и высотных (АТ-925 и АТ-850) карт погоды и карт особых явлений погоды для нижнего слоя; своевременный сбор и анализ данных о фактической погоде от станций штормового оповещения, данных МРЛ, данных экипажей, находящихся в воздухе, и другой информации, имеющейся в районе полетов. Оценку этой информации следует проводить с учетом времени года и времени суток.

Выполнение этих мероприятий позволяет достаточно успешно решать задачи метеорологического обеспечения полетов на малых и предельно малых высотах.

*Метеорологическое обеспечение полетов на средних и больших высотах.* Слой атмосферы, относящийся к средним и большим высотам (1000–12 000 м), является достаточно активным в смысле наличия в нем опасных для авиации явлений погоды. Действительно, наличие облачности, особенно облачности вертикального развития, грозовой деятельности, интенсивной турбулентности и обледенения, а также наличие струйных течений и отклонений температуры от стандартных значений могут существенно изменить условия полета.

Нет смысла вторично излагать вопросы влияния перечисленных параметров атмосферы на параметры полета воздушных судов, так как этот материал был изложен в предыдущих главах учебника.

При обеспечении полетов на средних и больших высотах наиболее строгому учету подлежит анализ характера развития атмосферных процессов и эволюции опасных явлений погоды. Этот анализ следует проводить с учетом рельефа местности, времени года и времени суток.

Для анализа атмосферных процессов инженером-синоптиком должны использоваться приземные синоптические и кольцевые карты погоды, карты барической топографии различных уровней (от АТ-850 до АТ-200), карта ОТ 500/1000, карты тропопаузы и максимального ветра, а также прогностические приземные и высотные карты, прогностические авиационные карты погоды (АКП) уровней 400, 300 и 200 гПа и карты особых явлений погоды ниже и выше уровня 400 гПа. Кроме того, при проведении анализа синоптикам оказывают большую помощь радиолокационные и спутниковые данные, а также знание местных особенностей возникновения опасных явлений погоды.

Анализ перечисленной информации должен выполняться с учетом сообщений экипажей, находящихся в воздухе, и экипажей, выполнивших полет в каком-либо районе (по какому-либо маршруту) и пришедших на АМСГ для сдачи или оформления полетной метеорологической документации.

Практика обеспечения полетов показывает, что экипажи воздушных судов в значительной мере могут облегчить прогностическую работу дежурному синоптику. Действительно, если экипаж какого-либо самолета в течение суток выполняет два полета по маршруту Санкт-Петербург–Москва и обратно (примерно 1 ч полет по маршруту, 1 ч стоянки в аэропорту на заправку самолета и посадку пассажиров и еще 1 ч полет обратно), то такой экипаж может передать ценную информацию о распределении опасных явлений погоды по маршруту как синоптикам Петербурга, так и синоптикам Москвы. По этой информации можно уточнить и положение фронтальной облачности, и положение зон турбулентности и обледенения, и наличие грозовой деятельности, а также уточнить скорость и направление ветра на эшелоне полета, отклонение температуры воздуха от стандартных значений и другие характеристики.

Совершенно очевидно, что такая информация представляет для синоптиков большую ценность. Но у нее есть один недостаток – она часто бывает субъективной. Поэтому при проведении занятий с летным составом своего авиаотряда необходимо обращать внимание пилотов на важность качественного и грамотного измерения метеорологических величин в полете, на грамотную оценку метеорологических условий полета. Более того, синоптикам в какой-то мере нужно знать метеорологическую подготовку и, если хотите, характер «своих» летчиков для того, чтобы можно было достаточно корректно оценить информацию, полученную от летного состава.

Комплексный анализ всей полученной информации позволяет значительно уменьшить количество летных происшествий и предпосылок к ним, происходящих по вине метеорологической службы.

*Метеорологическое обеспечение полетов в стратосфере.* Стратосфера считается достаточно спокойным слоем атмосферы с точки зрения выполнения полетов, так как обычно все опасные для авиации явления погоды наблюдаются под тропопаузой. Однако и при полетах в стратосфере экипажу необходимо достаточно хорошо знать метеорологические условия полета.

Из опасных явлений погоды, оказывающих влияние на полет воздушного судна, в стратосфере экипаж может встретиться со струйными течениями, турбулентностью ясного неба, вершинами кучево-дождевых облаков и большими отклонениями температуры воздуха от стандартных значений.

Стратосферные струйные течения могут наблюдаться по двум причинам. С одной стороны, это верхняя периферия тропосферных струйных течений. В тех случаях, когда на оси струйного течения под тропопаузой наблюдаются достаточно сильные ветры (50 м/с и более) в нижней стратосфере скорость ветра может превышать 30 м/с, что является критерием наличия струйного течения.

С другой стороны, в средней стратосфере на высотах 16–25 км могут наблюдаться обычные стратосферные струйные течения, природа возникновения и характеристики которых излагаются в курсах общей и синоптической метеорологии.

Не учитывать ветер скоростью более 100 км/ч нельзя как при полетах в тропосфере, так и при полетах в стратосфере.

Турбулентность ясного неба в стратосфере достаточно опасна. Дело в том, что при полетах на высотах, близких к потолку воздушного судна, у самолета ухудшается устойчивость и управляемость. Стратосферная часть полета само-

лета по маршруту, как показывает практика, обычно выполняется в режиме автоматического пилотирования (на автопилоте). При встрече с зоной ТЯН командир экипажа нужно перевести самолет на ручное управление и в соответствии с существующими рекомендациями «Руководства по летной эксплуатации» продолжать полет в турбулентной зоне. Даже если самолет дозвуковой, и полет выполняется со скоростью 900 км/ч (250 м/с), а на перевод самолета на режим ручного управления экипаж затратит 10 с, то и за это время воздушное судно пролетит 2,5 км. Для авиации это очень много.

Вершины кучево-дождевых облаков могут проникать в стратосферу при сильно развитой грозовой деятельности в тропосфере. Не ожидая «подвоха» экипаж попадает в перистую облачность и оказывается в кучево-дождевом облаке, полет в котором в соответствии с НПП ГА категорически запрещен.

Отклонения температуры воздуха от стандартных значений в стратосфере могут быть достаточно большими и достигать 20° и более в одну или другую сторону. Известно, что наибольшую опасность для авиации представляют положительные отклонения температуры, так как они увеличивают расход топлива и уменьшают потолок самолета. Так, положительные отклонения температуры воздуха в 20° увеличивают расход топлива на 4% (для самолета Ту-154 это на 250 кг/ч) и уменьшают потолок самолета примерно на 1000 м. Таким образом, может оказаться, что выбранный (заданный) эшелон полета будет выше потолка самолета, что не только не позволит выполнить полет на заданной высоте, но и может привести к неприятным последствиям.

При метеорологическом обеспечении стратосферных полетов обязательно необходим учет всех перечисленных выше факторов. Это требует от синоптика анализа дополнительного материала о распределении температуры и ветра с высотой. В отдельных случаях дежурной смене АМСГ приходится не только анализировать, но и сначала составить (нанести), а потом и обработать карты барической топографии уровней 150, 100, 70 или 50 гПа (в зависимости от заданных высот полета самолета), которые обычно не анализируются и не передаются гидрометеорологическими центрами.

Кроме того, получение данных температурно-ветрового зондирования выше уровня 100 гПа также сопряжено с большими трудностями, так как эта информация обычно не включается в сводки передач метеорологических центров.

Все вместе взятое обуславливает достаточную сложность метеорологического обеспечения полетов в стратосфере при сравнительно простой погоде на данных уровнях.

#### **17.10. Комплексный анализ атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов**

Перед тем, как начать разработку прогноза погоды в интересах потребителя, кем бы он ни был, синоптик всегда просматривает весь или почти весь синоптический материал, который есть в его распоряжении. При этом синоптик старается определить, расположение барических центров, их свойства, эволюцию, направление и скорость смещения, а также характеристики воздушных масс, атмосферных фронтов и условия погоды, которые будут наблюдаться в заданном районе за период прогноза. В этом и состоит комплексный анализ атмосферных процессов.

Иными словами, сущность комплексного анализа заключается в изучении состояния атмосферы в заданном районе с помощью карт погоды и других материалов. При анализе устанавливаются закономерности, которые были и существуют в развитии синоптических процессов и делаются выводы о предполагаемом их развитии в дальнейшем. Поэтому *целью* комплексного анализа является, исходя из прошлого и настоящего в развитии синоптических процессов, предсказать будущее, т.е. дать прогноз.

Следовательно, *комплексный анализ предшествует прогнозу и является его основой.*

Основные принципы комплексного анализа следующие.

1. Сопоставление (сравнение). При сопоставлении или сравнении синоптик сравнивает метеорологические величины на одной или разных метеостанциях или в один момент времени, или в разное время. Например, проведение изобар на приземной карте погоды есть не что иное, как сравнение атмосферного давления в один момент времени на разных станциях, а анализ записи барографа это анализ изменения во времени атмосферного давления на одной станции.

Различных примеров сопоставления или сравнения, выполняемых синоптиком, можно привести множество. Так, при последовательном сопоставлении карт погоды можно оценить эволюцию, а также направление и скорость смещения барических образований или атмосферных фронтов, а отыскание атмосферных фронтов на карте это сравнение погодных условий на различных станциях на одной или даже нескольких картах и т.д.

2. Показательность (репрезентативность). Принцип показательности заключается в том, что результаты наблюдений на станции должны быть характерны для наблюдающегося атмосферного процесса. Если же метеостанция подвержена влиянию каких-либо местных условий, то результатами наблюдений на этой станции лучше не пользоваться или пользоваться с осторожностью. Например, на станциях, расположенных на берегу больших водоемов, направление ветра не может быть показательным из-за существования местных бризовых циркуляций. Также на этих станциях температура воздуха не является показательной из-за разного термического режима воды и суши.

Можно говорить и о неважной показательности отдельных сроков наблюдений. Ведь не секрет, что ночью все хотят спать, а поэтому качество наблюдений в ночные сроки иногда оставляет желать лучшего.

*Это интересно:*

На одной приполярной метеостанции наблюдатель, заядлый рыбак, очень не хотел пропустить первую рыбалку на Енисее после ледохода. И вот этот горе-наблюдатель составил телеграммы с фактической погодой на пять часов вперед, все сразу передал на телеграф и попросил телеграфистку ежечасно передавать по одной телеграмме. За это он обещал поделиться с ней свежей рыбкой. Телеграфистка согласилась, но чего-то не поняв, все пять телеграмм передала сразу же в первый час. Увы, для наблюдателя это был последний рабочий день на метеостанции.

3. Физическая логика. Принципы физической логики чаще всего нарушают молодые специалисты. Это обусловлено отсутствием практического опыта и не очень хорошими знаниями предмета. Например, в прогнозе погоды или консультации указывается туман при видимости 2000 м. Забыл молодой специалист, что при тумане видимость должна быть менее 1000 м. Или при слоисто-

дождевой облачности указывается гроза, или высоко-кучевая облачность имеет нижнюю границу высотой всего 600 м и т.д.

*Это интересно:*

Мало ли чего может придумать молодой специалист в своих первых прогнозах и консультациях! Но что интересно. Вот вы кому-то докладываете прогноз погоды или кого-то консультируете, а в прогнозе есть какие-то нарушения физической логики или просто нарушена последовательность изложения прогноза. Не удивляйтесь, что именно в том месте, где у вас «сбой», даже если вам казалось, что вас плохо слушают, потребитель вашего прогноза обратит на это внимание. И опять же сделает он это не «из вредности», а по привычке, так как его слух давно приучен к «правильному» изложению прогноза или консультации.

4. Историческая последовательность. Этот принцип комплексного анализа также всегда должен соблюдать синоптик. Перед составлением прогноза погоды необходимо просмотреть карты за предыдущие сроки, уяснить предшествующее развитие процессов и критически оценить деятельность синоптика, который дежурил перед вами. Несоблюдение исторической последовательности как раз чаще всего бывает при «передаче власти».

*Это интересно:*

У дежурящего синоптика с анализом синоптических карт, как правило, все в порядке. Предположим, что на карте в «зоне ответственности» дежурного расположен атмосферный фронт, который синоптик добросовестно перемещал со скоростью, предположим, 30 км/ч. Так было до сдачи дежурства следующему синоптику. А новому дежурному фронтальный анализ своего предшественника не понравился, и он провел атмосферный фронт совсем в другом районе. В результате при смене дежурства атмосферный фронт пошел назад со ... сверхзвуковой скоростью.

Так, естественно, не бывает, но это не означает, что фронтальную систему, проведенную единожды, нельзя изменять. Ее изменять не только можно, но и нужно, если вы не согласны с тем, как она проведена. Однако в этом случае вы должны на полях карты написать, что фронтальная система изменена на основании дополнительного анализа такого-то и такого-то материала. С одной стороны, такая запись говорит о том, что вы сознательно изменили фронтальную систему, т.е. видели, что «наделал» ваш предшественник, а с другой – вы даете всем понять, на каком основании вы это сделали.

И еще одно замечание по этому же поводу. Нельзя забывать о том, что атмосферный фронт это раздел между двумя воздушными массами, поэтому на картах полушария линия фронта должна замыкаться вокруг полюса, имея в одних районах гребни тепла, а в других – «мешки» холода. Если на карте у центра циклона проведено линий фронта как лап у паука, а дальше ничего нет, то в этом случае можно говорить о плохом анализе (комплексном анализе) атмосферных процессов.

5. Трехмерность. Это пятый, последний основной принцип комплексного анализа. Он основан на том, что в атмосфере все процессы происходят не на плоскости, а в объеме, и поэтому синоптик должен хорошо представлять, как поведут себя (как изменятся) те или иные метеорологические величины при изменении высоты, на которой производится комплексный анализ. Например, атмосферный фронт часто бывает проще отыскать на карте АТ-850, чем по приземной карте. Поэтому синоптик, обнаружив и определив местоположение фронта на карте АТ-850, должен четко представлять, что у земной поверхности теплая ветвь фронтальной зоны будет находиться примерно на 150 км сзади

положения фронта на карте АТ-850, а холодная ветвь – примерно на 100 км впереди. И таких примеров можно привести множество.

Последовательность комплексного анализа зависит от характера синоптической обстановки, особенностей развития атмосферных процессов и даже от характера и привычек синоптика. Не следует менять свои привычки и как-то перестраиваться на чужой лад. Делайте все так, как вам удобно (тем более что никакие документы не регламентируют последовательность этой работы). Главное – ничего не забыть при проведении комплексного анализа и провести его таким образом, чтобы были выполнены все пять основных принципов.

*Это интересно:*

Автор этих строк в течение длительного времени (больше десяти лет) работал на АМСГ в Западной Сибири. Однажды, будучи уже достаточно опытным синоптиком, я ошибся в прогнозе температуры воздуха на сутки «всего» на ...40 (сорок!) градусов. Это было зимой в Новосибирске. Район находился в теплом воздухе, и по моему прогнозу в течение ближайших суток мы должны были остаться в этом же воздухе. Поэтому в прогнозе на ночь и была указана температура около нуля. Не успел отправить прогноз, как воздушные потоки сменились на северные, облачность «разорвало», и температура воздуха к утру понизилась до 41 градуса мороза. А всего-то я ошибся в прогнозе синоптического положения. Такой курьезный случай на самом деле имел место. Вроде бы не очень удобно писать про себя такие вещи, но, во-первых, этот пример достаточно поучительный, а у автора не всегда были неудачные прогнозы, во-вторых, попробуйте-ка ошибиться в прогнозе температуры воздуха на сутки на 40 градусов – не уверен, что это у вас легко получится.

Следовательно, основными задачами комплексного анализа атмосферных процессов, как видно из изложенного выше, являются выяснение пространственной структуры барических систем, обуславливающих погоду в заданном районе, установление закономерностей их перемещения и их эволюции, определение типа воздушной массы в районе и определение возможности и времени прохождения атмосферного фронта через заданный район.

Обсуждая проблемы комплексного анализа атмосферных процессов, можно еще много, очень много, говорить о различных воздушных массах (холодных и теплых, устойчивых и неустойчивых, континентальных и морских и т.д.), но это выходит за пределы нашего учебника. Здесь мы только кратко остановимся на тех опасных для авиации явлениях погоды, которые могут встретиться в той или иной воздушной массе.

*Континентальный арктический воздух.* В зимнее время это устойчивая и сухая воздушная масса видимостью 30–50 км. Дымки и туманы в этом воздухе наблюдаются крайне редко. Весной и осенью, перемещаясь над сушей, этот воздух прогревается и становится неустойчивым, но кроме кучевых и высококучевых облаков в эти периоды года никакой другой облачности не возникает. Летом континентальный арктический воздух является неустойчивым, однако летом в нем возникает, как правило, только кучевая облачность, и очень редко доходит до выпадения слабых ливневых осадков.

*Морской арктический воздух.* В районе образования (Гренландия, Шпицберген) морской арктический воздух является сухой, холодной и устойчивой воздушной массой. При своем движении над Норвежским морем воздух прогревается и увлажняется и над Европейским континентом становится неустойчивым. В этом воздухе в течение всего года могут наблюдаться облака вертикального развития (от кучевых до кучево-дождевых), ливневые осадки и грозы.

*Континентальный умеренный воздух.* В зимний период это устойчивая воздушная масса, приход которой не вызывает сколько-нибудь серьезных осложнений в деятельности авиации. Летом континентальный воздух умеренных широт является неустойчивым. В нем возможно образование кучево-дождевой облачности, ливней и гроз.

*Морской умеренный воздух.* Это достаточно влажная и неустойчивая воздушная масса. В зимний период морской умеренный воздух неустойчив только у побережья материков. При его дальнейшем продвижении в глубь материка воздух приобретает устойчивость. Его приход сопровождается заметным потеплением и как следствие – возникновением низких слоистых облаков, густых дымок и туманов.

Летом в морском умеренном воздухе развиваются достаточно мощные кучево-дождевые облака, ливневые осадки и грозы.

*Континентальный тропический воздух.* Эта воздушная масса является сухой и теплой. В летний период воздух неустойчив, а в остальное время – устойчив. Из-за малого влагосодержания приход этого воздуха сопровождается жаркой безоблачной погодой. Очень редко в нем возникают кучево-дождевые облака, ливневые осадки, грозы, а также пыльные бури.

*Морской тропический воздух.* Этот воздух является теплым, влажным и неустойчивым. При перемещении над сушей приобретает устойчивость. Наиболее часто становится устойчивым в зимнее время. Приход морского тропического воздуха летом сопровождается повышением температуры до 20–25 °С и более и возникновением гроз, а зимой – заметным повышением температуры, возникновением туманов, низких слоистых облаков и выпадением мороси.

*Экваториальный воздух.* Этот воздух наблюдается в основном в экваториальных широтах. Он сильно увлажнен, неустойчив и на территории России практически не бывает.

Метеорологические условия, которые экипаж может встретить в полете, зависят от многих факторов. Это прежде всего форма барического образования, стадия его развития, время года и суток, взаимное положение оси маршрута и оси барической системы и других факторов. Поэтому при разработке прогнозов погоды в первую очередь необходимо разработать прогноз синоптического положения, т.е. определить, чем будет обусловлена погода за интересующий нас срок в заданном районе.

Несмотря на все многообразие синоптических процессов, можно выделить основные барические системы и условия полета в них. Рассмотрим этот вопрос несколько подробнее.

*Циклон.* В циклонах обычно хорошо выражены фронтальные разделы. Нижняя граница облачности может опускаться до высоты 100–200 м и ниже, а верхняя граница облаков достигает 5–8 км и даже больше. В центральной части циклона наблюдаются обложные или ливневые осадки, грозы. Видимость в явлениях погоды может уменьшаться до значений 2000–500 м и менее. Ветер у земли в зоне атмосферных фронтов достаточно сильный (до 15–20 м/с).

В теплом секторе циклона воздух устойчивый. Зимой в нем наблюдается сплошная слоистая, слоисто-дождевая или слоисто-кучевая облачность с высотой нижней границы 50–300 м (иногда облачность опускается до земли) и верхней границей 2–3 км. Часто выпадают обложные осадки, морось. Види-

мость у земли за счет осадков и туманов, которые также нередки в теплом секторе циклона, может ухудшаться до 1000 м и менее.

В летний период здесь обычно развивается кучевая или мощно-кучевая облачность. Ливневые осадки выпадают сравнительно редко. При небольшом влагосодержании воздуха наблюдается ясная погода с хорошей видимостью. В зоне атмосферных фронтов ветер у земли может усиливаться до 20–25 м/с.

В заполняющихся циклонах все процессы выражены значительно слабее, особенно летом.

*Ложбина.* Погодные условия в ложбине по характеру близки к погодным условиям в циклоне. Здесь имеется возможность для турбулентного подъема воздуха и образования облаков различных форм.

*Антициклон.* В зонах повышенного давления летом, как правило, наблюдаются простые метеорологические условия, которые в авиационных метеорологических кодах METAR и TAF обозначаются как CAVOK. Только в утренние часы в антициклонах сравнительно велика возможность возникновения радиационных туманов.

В зимний период в антициклонах наблюдается хорошая погода с радиационными туманами в ночные и утренние часы. Однако при наличии ярко выраженной инверсии в приземном слое может быть сплошная слоистая или слоисто-кучевая облачность с высотой нижней границы 100–200 м и верхней границы 2–3 км. Иногда при такой синоптической ситуации выпадают слабые внутримассовые осадки. На западной периферии антициклонов могут возникать адвективные туманы.

Погода в *ребне* аналогична погоде в области антициклона.

*Седловина.* Погода в седловине может быть достаточно разнообразной. Основные характерные черты ее для летнего периода – наличие кучево-дождевой облачности, ливней и гроз, а для зимнего периода – радиационных туманов.

Как видно из приведенного выше краткого описания погодных условий в различных барических системах, наиболее сложная погода наблюдается в области циклонов, ложбин и в зоне атмосферных фронтов. Хорошая погода наблюдается в зонах повышенного давления.

Комплексный анализ атмосферных процессов – основной метод разработки прогнозов погоды на АМСГ. Только в совокупности анализируя все данные о погоде, имеющиеся в распоряжении синоптика, можно успешно решать задачи по метеорологическому обеспечению гражданской авиации.

## Глава 18

### АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

Автоматизация метеорологического обеспечения полетов – сложная и многоплановая задача. Основные направления ее решения были сформулированы С.В. Солониным более тридцати лет назад. Однако многочисленные трудности, связанные с ее реализацией, огромный объем самых разнообразных проблем и постоянное повышение требований к качеству метеорологического обеспечения авиации со стороны ИКАО и руководства гражданской авиации России не позволили до настоящего времени с этой задачей справиться.

Основными направлениями автоматизации метеорологического обеспечения авиации можно считать следующие:

- автоматизация производства наблюдений на АМСГ;
- автоматизация сбора и распространения метеорологической информации;
- автоматизация выполнения расчетов для прогноза метеорологических величин и явлений погоды;
- автоматизация выполнения штурманских расчетов в аэропортах;
- создание автоматизированной системы метеорологического обеспечения полетов.

Из перечисленных направлений нельзя выделить какое-нибудь одно, которое можно было бы назвать самым важным. Все они настолько взаимосвязаны и подчинены решению одной общей задачи, что отставание (научное, техническое и т.д.) любого направления не позволит на достаточно высоком уровне решить всю задачу в целом.

Рассмотрим более подробно каждое из этих направлений.

#### 18.1. Автоматизация производства наблюдений на АМСГ

Проблема автоматизации наблюдений на аэродроме возникла давно. Это обусловлено двумя причинами. С одной стороны, согласно требованиям ИКАО, на аэродроме смена информации о погоде своего аэродрома должна происходить с дискретностью не более двух минут. С другой стороны, при метеорологических условиях 200×2000 и хуже в соответствии с НМО ГА метеонаблюдатель должен проводить наблюдения на дополнительном пункте наблюдений, расположенном в районе ближнего приводного радиомаркера. Наблюдателю приходится туда специально выезжать, а это требует дополнительного увеличения дежурной смены АМСГ или временного (на 15–30 мин) прекращения наблюдений на аэродроме на период переезда наблюдателя с основного на дополнительный пункт наблюдений. Несмотря на наличие на многих АМСГ дистанционных приборов, из-за различных нерешенных «местных проблем» наблюдатели пока еще часто «сидят на ближнем приводе».

В наибольшей степени проблему автоматизации метеорологических наблюдений на аэродроме решает комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция КРАМС-М. Она предназначена для автоматического измерения и регистрации по заданной программе основных метеорологиче-

ских величин в районе аэродрома, обработки результатов измерений и выдачи метеорологической информации.

КРАМС-М обеспечивает передачу метеорологической информации непосредственно в оперативные подразделения и службы аэропорта через малогабаритные индикаторные устройства, а также в линии связи (через ЭВМ или телеграфный канал) в виде кодированных метеорологических телеграмм и через речевой ответчик на АТС в телефонную сеть.

В режиме автоматической работы КРАМС-М ведет счет времени и календарь, производит в заданные сроки измерение метеорологических величин, обработку полученной информации, формирование телеграмм и передачу их в каналы связи.

На станции измерение метеорологических величин может производиться через 30 с, что соответствует международным требованиям. Очень важная задача, решаемая с помощью КРАМС-М, это составление телеграмм. Автоматическое составление телеграмм позволяет избежать многих ошибок при кодировании, которые допускает наблюдатель. Кроме того, КРАМС-М может производить наблюдения и выдачу информации во внеочередные сроки по запросам, поступающим по каналам связи, выдавать необходимую метеорологическую информацию, связанную с возникновением или прекращением штормовой погоды. Эта станция даст возможность ручного ввода той информации, для которой КРАМС-М не обеспечена автоматическими датчиками (метель, туман и т.д.).

Конструктивно КРАМС-М оформлена в виде отдельных блоков. Она состоит из центрального устройства, комплекта датчиков и средств отображения, регистрации и передачи метеорологической информации. В качестве датчиков используются стандартные метеорологические приборы и системы.

В настоящее время сотрудниками ГГО им. А.И. Воейкова разработана автоматизированная метеорологическая информационно-измерительная система (АМИИС-2000). Это «совсем новый» КРАМС-М, который полностью соответствует современным требованиям ИКАО по производству метеорологических наблюдений, обработке их результатов, составлению телеграмм и их передаче по каналам связи. За этой системой будущее, однако на сегодняшний день (март 2003 г.) эта система в опытном режиме функционирует только в Пулково (Санкт-Петербург).

Значительно сложнее обстоит дело с автоматизацией других видов наблюдений на аэродроме.

В соответствии с НМО ГА на АМСГ через каждые три часа должны проводиться шаропилотные наблюдения (о причинах нерегулярного выпуска шаров-пилотов мы рассказывали раньше). И проведение, и обработка результатов этих наблюдений проводится пока вручную. Это относится в первую очередь к производству шаропилотных наблюдений. Для обработки данных этих наблюдений разработаны алгоритмы и программы, но отсутствие необходимой вычислительной техники на АМСГ не позволяет реализовать их в настоящее время.

При осуществлении автоматизации температурно-ветрового зондирования атмосферы также возникают определенные технические трудности. Здесь необходимо отметить следующее. С одной стороны, на сети аэрологических станций устаревшая аппаратура, которая в принципе не позволяет автоматизи-

ровать на современном уровне данный вид наблюдений. С другой стороны, достаточно редкая сеть станций температурно-ветрового зондирования ставит на первый план не задачу автоматизации наблюдений, а задачу передачи их на АМСГ. Попутно возникает еще одна проблема: насколько репрезентативны данные зондирования, если от ближайшей аэрологической станции до аэродрома 300 км и более.

Действительно, можно ли для решения различных прогностических задач, работая в Ярославле, пользоваться данными зондирования в Москве (для Ярославля это ближайшая аэрологическая станция). Даже в Петербурге существуют такие проблемы. На высоту 12–14 км радиозонд поднимается примерно за один час. Если предположить, что средний ветер за период подъема составляет 100 км/ч, а расстояние между аэродромом Пулково и пунктом зондирования (Воейково) равно 30 км, то данные наблюдений на эшелонах полета (9000–11 000 м) мы будем иметь не в районе аэродрома, а на удалении от него примерно на 100–150 км. Поэтому если данные зондирования, полученные для свободной атмосферы, можно считать как достаточно достоверные, то к результатам измерений в приземном слое следует относиться с осторожностью.

Не все благополучно с автоматизацией наблюдений и анализом радиолокационных и спутниковых данных. Здесь также разработаны алгоритмы и программы интерпретации полученных результатов, однако отсутствие необходимой техники не позволяет полностью использовать имеющуюся на АМСГ информацию. Это станет возможным только тогда, когда на АМСГ появится необходимое количество персональных ЭВМ, будет организовано типовое автоматизированное рабочее место синоптика АМСГ, а сам синоптик АМСГ будет грамотным пользователем современного компьютера.

*Это не столько интересно, сколько грустно:*

Если вы, уважаемый читатель, загляните в учебник *Авиационная метеорология*, выпущенный в 1992 г, то обнаружите, что проблемы автоматизации практически так и не решены. Увы, такова действительность. Сеть станций как метеорологических, так и аэрологических за последние десять лет стала еще реже, водорода и шаропилотных оболочек на АМСГ не прибавилось, а из примерно двухсот МРЛ, которые нужны для создания сплошного радиолокационного поля по всей территории России, в стране действует только 42 локатора. Значительно «реже» стало и штормовое кольцо практически всех аэродромов. Жаль, очень жаль, что все это происходит. Остается только удивляться, как в таких, мягко говоря, неприглядных условиях наши синоптики умудряются обеспечивать современную авиацию и не делать при этом грубых промахов. Честь им и хвала за это.

## **18.2. Автоматизация сбора и распространения метеорологической информации**

Вопросы сбора и распространения метеорологической информации были рассмотрены в предыдущих главах. Сейчас система (сеть) прямых авиационных связей (СПАС), по которой передается информация о погоде примерно 100 наиболее крупных аэродромов России, постепенно «передает свои полномочия» системе АСПД (автоматизированной системе передачи данных). Если система СПАС функционирует на каналах связи, позволяющих вести телеграфирование на скорости 50–100 бод, то среднескоростные каналы системы АСПД ведут обмен информацией уже на скорости 1200–2400 бод.

В настоящее время в Росгидромете разработана программа автоматизации обмена авиационной метеорологической информацией. В соответствии с этой программой предусмотрено создание и развитие центров коммутации сообщений (ЦКС). Создание ЦКС позволит автоматизировать сбор и распространение авиационной метеорологической информации по сети АСПД, ускорить обмен этой информацией за счет перехода на использование среднескоростных каналов передачи данных, значительно увеличить количество аэропортов, включенных в систему для обмена информацией. Так, в отличие от системы СПАС, по которой обмен информацией проводился примерно между 100 аэродромами, система АСПД позволит производить обмен информацией о погоде и прогнозах погоды, как минимум, между 300 аэродромами.

Эта же программа предусматривает создание в Москве и в некоторых других региональных центрах банков авиационных метеорологических данных (БАМД), что позволит синоптикам АМСГ (АМЦ), используя АСПД, получать информацию по запросу, т.е. прекратить передачу ненужной метеорологической информации в так называемом пакетном режиме.

Справедливости ради, следует сказать, что в этом направлении метеорологическая служба, выполняя требования ИКАО, добилась, пожалуй, наиболее заметных успехов.

### **18.3. Автоматизация расчетов для прогноза метеорологических величин и явлений погоды**

Автоматизация предвычисления необходимых для обеспечения полетов полей ветра и температуры и прогноза опасных для авиации явлений погоды относится к числу наиболее актуальных проблем. В настоящее время прогноз температуры и ветра дается путем комбинирования результатов численного гидродинамического прогноза с синоптическими и синоптико-статистическими методами, требующими сравнительно простого математического аппарата для выбора информативных предикторов и построения уравнений регрессии при прогнозе отдельных метеорологических величин или дискриминантного анализа для опасных для авиации метеорологических явлений. Такой комбинированный подход включает получение опорных прогностических полей на основе гидродинамического прогноза и последующее использование статистических зависимостей для прогнозирования таких явлений, которые пока не описываются гидродинамическими моделями. Это обусловлено необходимостью введения в численные модели различных упрощений и гипотез, неодинаковых в разных моделях.

Упрощенные квазигеострофические модели используются не только для прогноза геопотенциала. На их основе производится также расчет крупномасштабного поля вертикальных движений. На основе полученного поля давления (геопотенциала) можно в принципе рассчитать поля геострофического ветра и статической температуры, однако на практике для решения этой задачи оказывается более целесообразным применение синоптического метода. В то же время процесс расчета адвективных изменений температуры (и влажности) и изменений температуры за счет вертикальных движений можно автоматизировать. В некоторых прогностических схемах рассчитанные методом траекторий поля температуры и влажности

используются для прогноза конвективной деятельности и осадков, однако это требует от используемых ЭВМ большой памяти и большого быстродействия.

В настоящее время существуют десятки, если не сотни, различных моделей, которые с переменным успехом решают задачи численного прогноза опасных и важных для авиации явлений погоды. Нет смысла останавливаться подробно на какой-нибудь одной, пусть даже самой современной модели.

*Это интересно:*

Несколько раньше мы уже останавливались на вопросе нашего отношения к различным численным моделям (предположениям). Повторяться нет смысла. Однако хочется обратить ваше внимание вот на какое обстоятельство. Давайте предположим (смоделируем), что у вас есть самая современная ЭВМ и самая современная модель прогноза какого-либо явления. Если это так, то ваша работа по прогнозу этого явления будет заключаться только в вводе в ЭВМ исходных данных, т.е. к нажатию определенных клавиш на клавиатуре. И все. А что делать, если ЭВМ вышла из строя или вдруг отключили электроэнергию? Помимо работы с клавиатурой синоптик должен хорошо знать физику процесса возникновения этого явления и уметь его прогнозировать без помощи ЭВМ. Прогресс – прогрессом, но синоптику еще кроме современной ЭВМ неплохо бы иметь умную голову.

Дальнейшие усилия в области автоматизации расчетов метеорологических величин и опасных для авиации явлений погоды направлены на усовершенствование численных моделей прогноза и расширение перечня прогнозируемых метеорологических величин, а также на разработку алгоритмов и программ для сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погоды.

#### **18.4. Автоматизация выполнения штурманских расчетов в аэропортах**

В авиации существует закон, по которому любой полет воздушного судна должен готовиться на земле. Очень ответственным этапом подготовки к полету является проведение предварительного штурманского расчета.

Получив от руководства авиапредприятия задание на выполнение полета и уточнив в диспетчерской службе время вылета, эшелон и маршрут полета, экипаж приступает к подготовке к полету. Остановимся только на одном моменте этой подготовки – на выполнении предварительного штурманского расчета штурманом экипажа.

Штурман экипажа заходит на АМСГ (АМЦ), уточняет у дежурного синоптика ветер по маршруту полета, температуру воздуха в штурманской комнате, которая обычно расположена в одном здании с АМСГ (как правило, это соседняя комната), выполняет предварительный штурманский расчет полета.

Во время этого расчета штурман определяет курс полета по отдельным участкам маршрута (учет ветра), время пролета этих участков (учет ветра и температуры на эшелоне полета) при заданной скорости полета. Кроме того, штурман должен определить расход топлива за время полета ВС, навигационный запас топлива и требуемую заправку топлива в самолет.

На предварительный штурманский расчет, производимый вручную, штурман затрачивал обычно 40–50 мин. До введения автоматизированной системы все расчеты производились вручную, а на ряде небольших аэродромов эти расчеты и сейчас делают точно таким же образом.

Для ликвидации ручного труда, повышения интенсивности и качества работы штурманского состава, а следовательно, и повышения безопасности полетов, была создана автоматизированная система штурманских расчетов (АСШР). Принципы создания АСШР были разработаны в РГГМУ С.В. Солоныным.

Суть их заключалась в следующем. В Гидрометцентре России (тогда еще СССР) на основе имеющихся моделей рассчитывалось для северного полушария прогностическое поле геопотенциала на различных уровнях. Информация о геопотенциале на высотах 400, 300 и 200 гПа являлась исходной для выполнения предварительных штурманских расчетов. Все метеорологи хорошо знают, что поле геопотенциала на одном уровне дает полную характеристику поля ветра на этом же уровне, а относительный геопотенциал слоев 400–300 и 300–200 гПа характеризует температуру воздуха в этих слоях. Полученные по модельным расчетам в узлах сетки данные о ветре и температуре с помощью АСШР пересчитывались на конкретную воздушную трассу, т.е. для каждого участка определялся необходимый курс полета, время пролета участка и расход топлива на участке трассы.

Результаты расчета выдавались на печать в виде специального бланка предварительного штурманского расчета, где дополнительно определялись общее время полета по трассе и необходимый запас топлива для выполнения полета по маршруту. Время расчета сократилось с 40–50 до 2–3 мин с учетом времени на выдачу информации на печать.

Помимо перечисленных временных преимуществ, АСШР дает еще и заметный экономический эффект. Дело в том, что штурман экипажа выполняет расчеты для одной трассы и одного эшелона, а АСШР «обсчитывает» полет по четырем вариантам (две различных трассы и два эшелона на каждой из них). В результате руководство полетами имеет возможность из четырех вариантов выбрать оптимальный. Это позволяет экономить топливо, ресурс самолета и двигателей.

Дальнейшее совершенствование численных моделей и улучшение качества прогноза ветра и температуры на высотах позволит улучшить и качество предварительных штурманских расчетов.

*Это интересно:*

Система АСШР на самом деле предлагает четыре варианта полета из пункта А в пункт В. Однако при выборе оптимального маршрута и эшелона полета диспетчерская служба исходит не из минимального расхода топлива при полете по маршруту, не из минимального времени полета, а совсем из других соображений. Например, диспетчер может выбрать наиболее свободную трассу или ту трассу, которая ему более привычна, совершенно не считаясь с проблемами экономики. Жаль, что так иногда происходит.

В процессе эксплуатации АСШР трансформировалась в автоматизированную систему штурманского обеспечения полетов (АСШОП). Эта система помимо предварительного штурманского расчета позволяет решать целый ряд других задач штурманского обеспечения полетов. Совершенно очевидно, что практически ни одна задача, решаемая в системе АСШОП, не может быть реализована без информации о погоде.

Дальнейшее совершенствование АСШОП предусматривает совершенствование вычислительной техники, используемой в системе, совершенствование алгоритмов решаемых задач, совершенствование системы обмена информации.

ей (не только метеорологической). Более далекой перспективой АСШОП является использование спутниковой информации, данных метеорологических радиолокаторов и бортовых вычислительных комплексов для решения штурманских задач как на земле до вылета воздушного судна, так и для уточнения их во время полета.

### **18.5. Принципы создания автоматизированной системы метеорологического обеспечения полетов**

Гражданская авиация России, несмотря на все трудности, продолжает развиваться. На смену первым воздушным лайнерам Ту-104 и Ил-18 пришли самолеты Ту-134, Ту-154, Ил-62, Ил-86 и другие. Будущее нашей гражданской авиации – ввод в строй еще более совершенной авиационной техники.

Вместе с развитием авиации развивается и авиационная метеорология, которая помогает решать триединую задачу гражданской авиации: безопасность, регулярность и экономичность воздушных перевозок.

Дальнейшее развитие авиационной метеорологии и метеорологического обеспечения полетов, по-видимому, пойдет по пути создания и использования более совершенных приборов для измерения метеорологических величин на аэродроме с необходимой точностью и дискретностью, по пути совершенствования методики прогноза опасных явлений погоды, совершенствования средств передачи информации, более полного использования спутниковых данных, более широкого внедрения вычислительной техники для решения задач метеорологического обеспечения гражданской авиации и, наконец, по пути создания автоматизированной системы метеорологического обеспечения полетов (АСМОП).

Современное аэродромное и самолетное оборудование, а также новая метеорологическая техника помогли повысить безопасность полетов, однако это не позволило решить все метеорологические проблемы обеспечения гражданской авиации. Кроме того, расширение сферы деятельности при решении различных народнохозяйственных задач обуславливает все новые требования к метеорологической службе.

Объем метеорологической информации, поступающей на АМСГ (АМЦ), настолько велик, что у синоптика оказывается слишком мало времени для ее анализа. Поэтому вопросы автоматизации метеорологического обеспечения полетов являются вопросами первостепенной важности. Впервые в нашей стране эту проблему сформулировал и приступил к ее реализации С.В. Солонин.

АСМОП представляется как трехуровневая система, состоящая из большого числа ЭВМ различных классов и каналов межмашинного обмена.

На первом (верхнем) уровне Гидрометцентр России должен разрабатывать фоновые прогнозы метеорологических величин и опасных для авиации явлений погоды для всей территории страны и тех районов зарубежных стран, куда выполняют полеты самолеты российских авиакомпаний. Гидрометцентр уже выполняет такую работу и постоянно увеличивает объем и качество решаемых задач.

На втором (среднем) уровне на базе региональных управлений по гидрометеорологии прогнозы погоды для авиации должны уточняться с учетом местных особенностей района.

Третий (нижний) уровень системы АСМОП должен обслуживать АМСГ (АМЦ) аэропорта и приписных аэродромов с учетом местных особенностей развития синоптических процессов.

Так как работа авиации немыслима без учета метеорологической информации, то представляется целесообразным создание единой автоматизированной системы обеспечения полетов (АСОП), для которой вопросы метеорологического, штурманского и технического обеспечения будут отдельными частными задачами.

Если помечтать, то хотелось бы, чтобы синоптик АМСГ, используя персональную ЭВМ и базу оперативной информации, разрабатывал все виды краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов с учетом местных особенностей аэродрома, а командир экипажа на предполетной консультации получал бы не только устную информацию о погоде в интересующем районе, но и видел бы на экране монитора, установленного у синоптика АМСГ, фактическую погоду и прогнозы погоды по аэродромам вылета, посадки и запасным, распределение опасных явлений по маршруту полета и получал бы полетную метеорологическую документацию и предварительный штурманский расчет полета прямо, «не отходя от кассы».

Это не «маниловщина», а реальность, которая может осуществиться при разумном подходе ко всем проблемам, связанным с обеспечением авиации.

Более высокий уровень оснащенности АМСГ предъявляет повышенные требования к специальной подготовке инженеров-синоптиков, а также требует от них психологической перестройки и высокой профессиональной культуры. Ведь далеко не каждый из шести тысяч синоптиков АМСГ будет обрадован, если сегодня на его рабочем месте будет установлена персональная ЭВМ.

Несмотря на автоматизацию метеорологического обеспечения полетов, синоптик по-прежнему остается центральной фигурой в системе, ее основным звеном. Только он разрабатывает авиационные прогнозы, а система выполняет вспомогательные функции сбора информации и ее обработки.

Создание АСМОП (АСОП) повысит качество метеорологического обеспечения полетов и внесет большой вклад в повышение безопасности, регулярности и экономичности воздушных перевозок.

## ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В каждом учебнике в заключении обычно излагаются перспективы развития той или иной науки. В таком классическом плане заключением можно считать последнюю главу (главу 18). Здесь же хочется остановиться еще на одном важном аспекте развития авиационной метеорологии – переходе на хозяйственный расчет и самофинансирование метеорологических органов, обеспечивающих работу гражданской авиации.

Хозяйственный расчет и самофинансирование, хотим мы этого или нет, в ближайшие годы коснется (уже коснулся) как всей гидрометеорологической службы, так и тех метеорологических органов, которые обеспечивают авиацию.

Есть различные подходы к оценке экономической полезности прогнозов (Л.А. Хандожко, Э.И. Монокрович), однако они не полностью отражают специфику работы АМСГ (АМЦ), занимающихся только метеорологическим обеспечением гражданской авиации. Тем более что стоимость нашей метеорологической продукции мы как следует определять пока не научились.

К сожалению, ни Росгидромет, ни созданное при Росгидромете Метеоагентство не предложили единого подхода к решению данной проблемы. В каждом регионе «судьба» сотрудников АМСГ решается по-своему, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Вот три наиболее распространенных варианта существования и финансирования работы АМСГ.

*Первый вариант.* Сотрудники АМСГ (АМЦ) остаются в штатах региональных УГМС, т.е. остаются государственной службой. В этом случае АМСГ финансируется из бюджетных средств, которые выделяются региональному УГМС. Это приводит к очень низкой зарплате у работающих и, как следствие, к большой текучести кадров, что отрицательно сказывается на квалификации сотрудников метеорологических органов.

*Второй вариант.* Сотрудники АМСГ (АМЦ) выводятся из штата работников УГМС и переводятся на работу в коммерческую метеослужбу, которая организуется на базе региональных УГМС. Эта коммерческая служба заключает два договора: один с авиапредприятием на обслуживание авиации (получает финансирование), а другой – со своим региональным УГМС на получение метеорологической информации, необходимой для обслуживания авиапредприятия, т.е. оплачивает получение исходной информации. На разнице сумм этих договоров АМСГ и «живет». Это позволяет несколько повысить оклады работникам АМСГ.

*Третий вариант.* Перевод сотрудников АМСГ в штат авиапредприятия. Это и хорошо и плохо одновременно. Хорошо – потому что зарплаты работников АМСГ значительно увеличиваются и становятся такими же, как и у работников других служб авиапредприятия. Ну а плохо – потому что АМСГ оказывается в полной зависимости от руководства авиапредприятия, и поэтому, хоть и редко, синоптикам приходится прогнозировать не погоду, а настроение начальников и их желание выполнить план полетов. На крупных аэродромах такие вещи, естественно, практически невозможны, а на средних и малых иногда случается.

Нам кажется логичным и такое предположение. Если АМСГ (АМЦ) организована и оснащена только для обеспечения авиации, то все расходы по ее содержанию должно нести авиапредприятие. Следовательно, нужно грамотно сосчитать, «сколько стоит АМСГ» и сколько вылетов делает авиапредприятие. Таким образом, становится понятным, стоимость метеорологического обеспечения каждого вылета. При таком подходе на каждом аэродроме цена метеорологического обеспечения вылета будет разной. Это вполне естественно, но такой порядок нужно официально оформить договором между авиапредприятием и АМСГ (АМЦ) или региональным УГМС.

В некоторых странах проблема оплаты метеорологических услуг решается иначе. Так, например, на Кубе определена и установлена стоимость метеорологического обеспечения прилетающего на Кубу воздушного судна и пролетающего ВС, для которого аэродромы Кубы являются запасными (эта стоимость, естественно, разная). Диспетчерская служба ежедневно передает в метеорологическую службу план полетов, и синоптики для каждого борта готовят метеорологическую документацию, независимо от того, прилетит этот борт или нет. Ежемесячно авиапредприятие перечисляет метеослужбе средства в соответствии с запланированным количеством вылетов и пролетающих бортов.

Во многих странах Европы существует другой порядок. Там установлена стоимость аэродромного обслуживания воздушного судна. Она составляет 13 \$ для каждой тонны максимальной взлетной массы ВС (без стоимости топлива). Примерно 8–10% от этой стоимости (около 1 \$) приходится на метеорологическое обеспечение. Так, например, сел самолет Ту-154 (максимальная взлетная масса 75 т) – отдай метеослужбе 75 \$. В нашей стране пытаются сделать что-то похожее, однако для метеослужбы «отвалили» всего 0,39 \$.

Представляет интерес и вопрос, связанный с порядком расчета между авиапредприятием и АМСГ (АМЦ). С одной стороны, авиапредприятие должно достаточно большую сумму перечислять на АМСГ, а с другой – что делать, если по вине метеослужбы наблюдался возврат (задержка) воздушного судна или его поломка? При наличии возврата по вине метеослужбы АМСГ должна возвращать авиапредприятию средства за непроизводительный налет и так называемую упущенную выгоду (стоимость одного возврата сейчас оценивается в среднем в 4000 \$). Это было бы справедливо при условии, что существующие методы прогноза опасных явлений погоды имели стопроцентную оправдываемость. К сожалению, этого нет, и поэтому не за все неоправдавшиеся прогнозы АМСГ должна нести ответственность.

Такой прецедент однажды уже имел место. Одно из авиапредприятий предъявило иск АМСГ за поломку самолета на земле из-за сильного ветра, который не был предсказан метеослужбой. В дело вмешался Госарбитраж, который в иске авиапредприятию отказал. При этом исходили из того, что прогноз – это научное предвидение погоды, т.е. *предсказание*, а по существующему законодательству нельзя предъявлять имущественные претензии к предсказанию.

С этим нельзя не согласиться. На наш взгляд, если синоптик использовал все рекомендованные для прогноза опасного явления погоды методы и получил отрицательный результат, то в этом случае АМСГ не должна нести материального ущерба за случившийся возврат или поломку самолета. Если же синоптик

не прогнозировал наблюдавшееся опасное явление погоды или, спрогнозировав его, не сообщил об этом диспетчеру, то тогда все материальные потери, которые понесло авиапредприятие, должна компенсировать метеослужба. В этом плане необходима материальная заинтересованность синоптиков в улучшении качества работы.

Анализ возвратов самолетов, которые произошли по вине метеослужбы, позволит выявить «слабые места» в методике прогноза опасных для авиации явлений погоды. Это, в свою очередь, дает основание поставить перед Гидрометцентром или региональными прогностическими организациями конкретные задачи по совершенствованию методики прогнозирования того или иного явления погоды.

Экономические проблемы метеорологического обеспечения гражданской авиации изложены здесь в порядке постановки. До конца этот вопрос пока не решен, законодательная база пока слабая, и обмен мнениями по финансовым вопросам в настоящее время ведется достаточно интенсивно.

В заключение хочется сказать, что, несмотря на низкие зарплаты и другие трудности, авиационные метеорологи в абсолютном своем большинстве любят свое дело, преданы ему, в какой-то мере являются, если хотите, фанатиками своей работы и успешно справляются с поставленными перед ними задачами.

### *Контрольные вопросы к разделу 3*

1. Перечислите основные задачи авиационных метеорологических органов и их структуру.
2. Как размещается АМСГ на аэродроме?
3. Перечислите основные виды работ на АМСГ.
4. За какими метеорологическими величинами производятся наблюдения на АМСГ?
5. Как проводятся аэрологические и радиолокационные наблюдения на аэродроме?
6. Как на АМСГ производится сбор и распространение метеорологической информации?
7. Какие виды авиационных прогнозов погоды разрабатываются на АМСГ?
8. Как на АМСГ организовано штормовое оповещение и предупреждение?
9. Как указываются метеорологические величины в авиационных прогнозах погоды?
10. Как производится детализация и корректив авиационных прогнозов погоды?
11. Как производится оценка оправдываемости авиационных прогнозов погоды?
12. Перечислите основные требования, предъявляемые к метеорологическому обеспечению полетов.
13. Расскажите о порядке метеорологического обеспечения органов УВД.
14. Расскажите о порядке метеорологического обеспечения полетов по различным трассам.
15. Какая информация входит в устную консультацию синоптиком командира экипажа воздушного судна?
16. Какие особенности имеет метеорологическое обеспечение международных полетов?
17. Какие особенности имеет метеорологическое обеспечение полетов в разных географических районах и на разных высотах?
18. Перечислите основные принципы комплексного анализа атмосферных процессов.
19. Какие основные задачи по автоматизации метеорологического обеспечения полетов стоят перед авиационной метеорологической службой?

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Астапенко П.Д., Баранов А.М., Шварев И.М.* Авиационная метеорология. – М.: Транспорт, 1985. – 262 с.
2. *Баранов А.М.* Облака и безопасность полетов. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 232 с.
3. *Богаткин О.Г., Еникеева В.Д.* Анализ и прогноз погоды для авиации. – Л.: изд. 2-е, Гидрометеоздат, 1992. – 272 с.
4. *Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф., Еникеева В.Д.* Практикум по авиационной метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 184 с.
5. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА - 95). – М.: изд. Росгидромет, 1995. – 160 с.
6. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 702 с.
7. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 304 с.

### К разделу 1

8. *Аронин Г.С.* Практическая аэродинамика. – М.: Воениздат, 1962. – 384 с.
9. *Базов Д.И.* Аэродинамика вертолетов. – М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
10. *Никитин Г.А., Баканов Е.А.* Основы авиации. – М.: Транспорт, 1984. – 264 с.
11. *Блохин В.И., Баканов Е.А. и др.* Основы авиационной техники и оборудование аэропортов. – М.: Транспорт, 1985. – 256 с.
12. *Володко А.М.* Основы летной эксплуатации вертолетов (динамика полета). – М.: Транспорт, 1986. – 262 с.
13. *Воробьев Л.М.* Воздушная навигация. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
14. Наставление по производству полетов гражданской авиации России (НПП ГА)
15. Наставление по службе движения гражданской авиации России (НСД ГА)
16. Управление воздушным движением /Т.Г. Анодина, С.В. Володин и др./ – М.: Транспорт, 1988. – 229 с.
17. *Федчин С.С.* Самолетовождение. – М.: Транспорт, 1966. – 528 с.

### К разделу 2

18. *Матвеев Л.Т.* Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 752 с.
19. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 774 с.
20. *Воробьев В.И.* Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 616 с.
21. *Логвинов К.Т.* Динамическая метеорология. – Л.: Гидрометеоздат, 1952. – 148 с.
22. *Герман М.А.* Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 348 с.
23. *Котик М.Г., Филиппов В.В.* Полет на предельных режимах. – М.: Воениздат, 1980. – 384 с.
24. *Скрипниченко С.Ю.* Оптимизация режимов полета по экономическим критериям. – М.: Машиностроение, 1988. – 154 с.
25. *Воробьев В.И.* Струйные течения в высоких и умеренных широтах. – Л.: Гидрометеоздат, 1960. – 234 с.
26. *Глазунов В.Г.* Оповещение о сильных сдвигах ветра в районе аэродрома. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 30 с.
27. *Винниченко Н.К., Пинус Н.З., Шметер С.М., Шур Г.К.* Турбулентность в свободной атмосфере. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 288 с.
28. *Переведенцев Ю.П., Богаткин О.Г.* Атмосферная турбулентность и ее прогноз. – Казань: изд. Казанского гос. университета, 1978. – 160 с.
29. *Гагрилов В.А.* Видимость в атмосфере. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 324 с.
30. *Жулев В.И., Иванов В.С.* Безопасность полетов летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.
31. *Пономаренко С.И., Лебедева Н.В., Чистяков А.Д.* Оценка способов прогноза гроз и рекомендации по их использованию. Метод. Указания. – М.: Гидрометеоздат, 1981. – 54 с.
32. *Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я.* Климатическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 296 с.

33. *Маховер З.М., Пеньков А.П.* Методические рекомендации для АМСГ (АМЦ) по выявлению местных климатических особенностей аэродромов. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 28 с
34. *Воробьев Е.И.* Радиационная безопасность экипажей летательных аппаратов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 152 с.
35. *Александров Э.Л., Седунов Е.С.* Человек и стратосферный озон. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 104 с.
36. *Иоффе М.М., Приходько М.Г.* Справочник авиационного метеоролога (под ред. А.В. Костюченко). – М.: Воениздат, 1977. – 304 с.
37. *Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф.* Особенности метеорологического обеспечения полетов на международных трассах. – Л.: изд. ЛГМИ, 1989. – 71 с.
38. *Ермакова А.И.* Метеорологическое обеспечение международных полетов. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 152 с.
39. Метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов гражданской авиации. – Л.: изд. ОЛАГА, 1980. – 80 с.
40. *Хандожко Л.А.* Оценка экономического эффекта прогнозов погоды. – Л.: изд. ЛПИ, 1987. – 50 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авиационная метеорология
  - Автожир
  - Автоматизация метеорологического обеспечения полетов
  - Атмосфера стандартная
  - Аэрологическая диаграмма
  - Аэродром
  - Аэропорт
- Безопасность полетов
- Болтанка
  - синоптические условия
  - методы прогноза
  - на атмосферных фронтах
  - орографическая
- Вертикальный разрез атмосферы
- Ветер
  - влияние на полеты
  - сдвиг ветра
  - эквивалентный
- Взлетно-посадочная полоса
- Видимость
  - вертикальная
  - горизонтальная
  - наклонная
  - посадочная
  - оценка видимости на ВПП
  - полетная
  - прогноз
- Высота
  - абсолютная
  - барометрическая
  - верхней границы облаков
  - нижней границы облаков
  - нулевой изотермы
- Гололед
- Град
- Градиент
  - вертикальный
  - горизонтальный
- Гроза
- Дальность видимости
  - горизонтальная метеорологическая
  - дневная
  - огней
- Дефицит температуры точки росы
- Дождь
- Дымка
- Измерение
  - высоты облаков
  - дальности видимости
  - направления и скорости ветра
- Источники метеорологической информации
- Карты
  - АКП
  - нефанализа
  - особых явлений погоды
  - прогностические
- Конвекция
- Конденсация
- Метель
- Метеорологическая информация
  - источники
  - точность
- Метеорологические условия полетов
  - в облаках
  - в стратосфере
  - на атмосферных фронтах
  - на больших высотах
  - на малых высотах
- Метеорологическое обеспечение гражданской авиации
- Минимумы погоды
- Молния
- Морось
- Нагрев кинетический
- Облака
- Обледенение воздушных судов
- Озон
- Опасные явления погоды
- Оптимизация режима полета
- Осадки
  - ливневые
  - морозящие
  - обложные
- Оценка прогнозов
- Перегрузка
- Погрешность наблюдения
- Потолок самолета
- Предполетное планирование
- Прогноз ветра и температуры на высотах
- Прогноз погоды авиационный
  - на посадку
  - по воздушным трассам, МВЛ и маршрутам
  - по районам (площади) полетов
  - оперативный по аэродрому
  - суточный по аэродрому
  - альтернативный
- Прозрачность атмосферы
- Пыльная буря
- Радиолокатор метеорологический
- Расход топлива
- Разряд электростатический
- Регистратор высоты облаков

Сдвиг ветра  
Сила  
    аэродинамическая полная  
    подъемная  
    тяги потребная  
    располагаемая  
Скорость  
    ветра  
    воздушная полета  
    индикаторная  
    истинная  
    критическая  
    отрыва при взлете  
    посадочная  
    потребная  
    путевая  
Смерч  
Снег  
Стратосфера  
Струйное течение  
Температура  
    максимальная  
    минимальная  
    отклонение от стандартной  
    туманообразования

Тропопауза  
Туман  
Турбулентность атмосферы  
Управление воздушным движением  
Уровень  
    конвекции  
    кристаллизации  
Фронт  
    окклюзии  
    теплый  
    холодный  
Шквал  
Штормовое  
    оповещение  
    предупреждение  
Электростатический разряд  
Электризация самолетов  
Энергия неустойчивости  
Эшелонирование полетов

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	4
<b>Раздел 1. Основы авиации .....</b>	<b>9</b>
Глава 1. Основы аэродинамики воздушных судов .....	9
1.1. Основные понятия и законы аэродинамики .....	9
1.2. Причины возникновения подъемной силы .....	11
1.3. Понятие о сжимаемости воздуха .....	16
1.4. Обтекание тел при различных скоростях полета .....	18
Глава 2. Основы конструкции воздушных судов .....	23
2.1. Основные элементы конструкции самолетов и вертолетов .....	23
2.2. Основные схемы самолетов .....	25
2.3. Основные схемы вертолетов .....	27
2.4. Прочность и надежность самолетов и вертолетов .....	29
Глава 3. Основы динамики полета самолетов и вертолетов .....	31
3.1. Горизонтальный полет самолета .....	31
3.2. Набор высоты самолетом. Понятие о потолках .....	32
3.3. Планирование самолета .....	34
3.4. Этапы взлета и посадки самолетов .....	35
3.5. Режимы полета вертолетов .....	40
Глава 4. Классификация воздушных судов и аэродромов гражданской авиации .....	42
4.1. Классификация самолетов и вертолетов .....	42
4.2. Классификация аэродромов .....	44
4.3. Составные части аэродрома .....	46
4.4. Оборудование воздушных судов и аэродромов навигационными приборами и системами .....	48
Глава 5. Классификация и организация полетов .....	52
5.1. Классификация полетов гражданской авиации .....	52
5.2. Организация полетов гражданской авиации .....	53
5.3. Структура Единой системы организации воздушного движения .....	58
5.4. Эшелонирование полетов .....	60
5.5. Основы самолетовождения .....	61
5.6. Основы инженерно-штурманских расчетов полета .....	63
<b>Раздел 2. Влияние параметров атмосферы на параметры полета воздушных судов .....</b>	<b>66</b>
Глава 6. Влияние температуры и давления на полеты воздушных судов .....	66
6.1. Стандартная атмосфера и ее назначение .....	66
6.2. Влияние температуры и давления на показания барометрического высотомера .....	67
6.3. Влияние температуры и давления на показания указателя воздушной скорости .....	70
6.4. Влияние температуры и давления на аэродинамические характеристики воздушных судов .....	72
6.5. Влияние температуры и давления на тягу двигателя и расход топлива .....	72
6.6. Влияние температуры и давления на взлет и посадку воздушных судов .....	75
6.7. Влияние температуры и давления на скороподъемность и потолок .....	76
6.8. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз температуры воздуха у земли и на высотах .....	79
Глава 7. Влияние ветра на полеты воздушных судов .....	86
7.1. Влияние ветра на путевую скорость и дальность полета .....	86
7.2. Влияние ветра на взлет и посадку .....	91
7.3. Струйные течения и их аэронавигационное значение .....	94
7.4. Понятие об эквивалентном ветре .....	95
7.5. Особенности влияния ветра на полет вертолета .....	96
7.6. Сдвиги ветра и их влияние на взлет и посадку .....	97
7.7. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз ветра и сдвигов ветра .....	100
Глава 8. Влияние атмосферной турбулентности на полеты воздушных судов .....	112
8.1. Причины турбуликации атмосферы .....	112

8.2. Влияние турбулентных пульсаций на воздушное судно. Болтанка самолетов . . . . .	114
8.3. Структура турбулентности при ясном небе . . . . .	119
8.4. Турбулентность в облаках . . . . .	120
8.5. Турбулентность в струйных течениях . . . . .	121
8.6. Орографическая турбулентность . . . . .	122
8.7. Синоптические условия интенсивной турбулентности . . . . .	125
8.8. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз атмосферной турбулентности . . . . .	128
Глава 9. Влияние облачности и ограниченной видимости на полеты . . . . .	134
9.1. Облачность и видимость как основные факторы, определяющие сложность метеорологических условий полетов . . . . .	134
9.2. Минимумы погоды . . . . .	136
9.3. Дальность видимости и ее зависимость от различных факторов . . . . .	139
9.4. Метеорологическая и полетная видимость . . . . .	142
9.5. Метеорологические условия полетов в облаках различных форм . . . . .	145
9.6. Условия полета в различных метеорологических явлениях, ухудшающих видимость . . . . .	150
9.7. Условия полетов в зоне атмосферных фронтов . . . . .	153
9.8. Конденсационные следы за самолетом . . . . .	157
9.9. Авиационный прогноз низкой облачности и ограниченной видимости . . . . .	159
Глава 10. Обледенение воздушных судов и его влияние на полеты . . . . .	185
10.1. Обледенение как опасное для авиации явление погоды . . . . .	185
10.2. Классификация ледяных отложений, наблюдаемых в полете . . . . .	186
10.3. Интенсивность обледенения и ее зависимость от микрофизической структуры облаков и режима полета . . . . .	188
10.4. Метеорологические и синоптические условия обледенения . . . . .	191
10.5. Особенности обледенения скоростных самолетов и вертолетов . . . . .	192
10.6. Способы борьбы с обледенением . . . . .	194
10.7. Опасность гололеда и гололедицы для авиации и борьба с ними . . . . .	196
10.8. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз обледенения и гололеда . . . . .	197
Глава 11. Влияние гроз и шквалов на деятельность авиации . . . . .	202
11.1. Грозы, смерчи и шквалы как опасные для авиации явления погоды . . . . .	202
11.2. Виды гроз и степень их опасности для авиации . . . . .	204
11.3. Особенности выполнения полетов в зоне грозовой деятельности . . . . .	207
11.4. Использование данных МРЛ для диагноза и прогноза грозových очагов . . . . .	209
11.5. Электризация самолетов . . . . .	209
11.6. Краткосрочный и сверхкраткосрочный прогноз гроз и града . . . . .	211
Глава 12. Влияние гидрометеорологических условий на состояние и эксплуатацию аэродромов . . . . .	219
12.1. Учет климатических данных при изыскании, строительстве и оборудовании аэродромов . . . . .	219
12.2. Влияние гидрометеорологических факторов на состояние и эксплуатацию аэродромов с естественным и искусственным покрытием . . . . .	220
12.3. Влияние метеорологических условий на воздушные суда, расположенные на земле . . . . .	222
12.4. Авиационно-климатические описания и справки и их использование для метеорологического обеспечения авиации . . . . .	223
Глава 13. Влияние озона и космической радиации на деятельность авиации . . . . .	226
13.1. Содержание озона в атмосфере и его влияние на деятельность авиации . . . . .	226
13.2. Космическая радиация и ее влияние на деятельность авиации . . . . .	227
<b>Раздел 3. Метеорологическое обеспечение полетов . . . . .</b>	<b>231</b>
Глава 14. Организация работы авиационных метеорологических органов . . . . .	231
14.1. Назначение, задачи и организация авиационных метеорологических органов . . . . .	231
14.2. Размещение и оборудование АМСГ . . . . .	234
14.3. Виды и объем работы на АМСГ . . . . .	236
14.4. Организация наблюдений на АМСГ . . . . .	239
Глава 15. Сбор и распространение метеорологической информации на АМСГ . . . . .	247
15.1. Основные источники метеорологической информации . . . . .	247
15.2. Сбор и распространение метеорологической информации по радиоканалам связи . . . . .	248

15.3. Сбор и распространение метеорологической информации по проводным каналам связи .....	251
15.4. Организация штормового оповещения и предупреждения на АМСГ .....	255
15.5. Авиационно-метеорологические коды, используемые для обмена метеорологической информацией .....	260
Глава 16. Авиационные прогнозы погоды и оценка их оправдываемости .....	262
16.1. Требования, предъявляемые к авиационным прогнозам погоды .....	262
16.2. Основные виды авиационных прогнозов погоды, разрабатываемых на АМСГ .....	263
16.3. Терминология авиационных прогнозов погоды .....	266
16.4. Детализация и корректив авиационных прогнозов погоды .....	268
16.5. Оценка оправдываемости авиационных прогнозов погоды и штормовых предупреждений .....	270
16.6. Разбор прогнозов погоды .....	273
Глава 17. Метеорологическое обеспечение гражданской авиации .....	275
17.1. Основные требования, предъявляемые к метеорологическому обеспечению полетов ..	275
17.2. Порядок метеорологического обеспечения органов УВД .....	277
17.3. Порядок метеорологического обеспечения полетов по различным трассам .....	281
17.4. Особенности метеорологического обеспечения полетов на местных воздушных линиях и полетов по применению авиации в народном хозяйстве. ....	284
17.5. Особенности метеорологического обеспечения международных полетов. ....	288
17.6. Особенности метеорологического обеспечения авиации, базирующейся на судах ..	290
17.7. Информация, передаваемая с земли на борт воздушного судна .....	292
17.8. Особенности метеорологического обеспечения полетов в разных географических районах .....	293
17.9. Особенности метеорологического обеспечения полетов на разных высотах. ....	298
17.10. Комплексный анализ атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов .....	301
Глава 18. Автоматизация метеорологического обеспечения полетов .....	307
18.1. Автоматизация производства наблюдений на АМСГ .....	307
18.2. Автоматизация сбора и распространения метеорологической информации .....	309
18.3. Автоматизация расчетов для прогноза метеорологических величин и опасных для авиации явлений погоды .....	310
18.4. Автоматизация выполнения штурманских расчетов в аэропортах .....	311
18.5. Принципы создания автоматизированной системы метеорологического обеспечения полетов .....	313
Вместо заключения .....	315
Литература .....	318
Предметный указатель .....	320

## CONTENTS

Foreword .....	3
Introduction .....	4
<b>Section 1. Fundamentals of aviation</b> .....	<b>9</b>
Chapter 1. Fundamentals of aerodynamics of aircraft .....	9
1.1. The basic concepts and laws of aerodynamics .....	9
1.2. Causes of formation of a lifting force .....	11
1.3. The concept of air compressibility .....	16
1.4. Flow along objects at various flying speeds .....	18
Chapter 2. Fundamentals of the aircraft design .....	23
2.1. Major structural elements of airplanes and helicopters .....	23
2.2. Basic configurations of airplanes .....	25
2.3. Basic configurations of helicopters .....	27
2.4. Structural integrity and reliability of airplanes and helicopters .....	29
Chapter 3. Fundamentals of flight dynamics of airplanes and helicopters .....	31
3.1. Level flight of an airplane .....	31
3.2. The climb of an airplane. The concept of ceiling .....	32
3.3. Gliding flight of an airplane .....	34
3.4. The take-off and landing stages of airplanes .....	35
3.5. Regimes of helicopter flights .....	40
Chapter 4. Classification of aircraft and aerodromes of civil aviation .....	42
4.1. Classification of airplanes and helicopters .....	42
4.2. Classification of aerodromes .....	44
4.3. Constituents of an aerodrome .....	46
4.4. Navigational instruments and systems of aircraft and aerodromes .....	48
Chapter 5. Classification and organization of flights .....	52
5.1. Classification of civil aviation flights .....	52
5.2. Organization of civil aviation flights .....	53
5.3. The structure of the Unified System of Air Traffic Control .....	58
5.4. Flight separation .....	60
5.5. Fundamentals of air navigation .....	61
5.6. Principles of navigation engineer calculation .....	63
<b>Section 2. Influence of atmospheric parameters on aircraft flight parameters</b> .....	<b>66</b>
Chapter 6. The effect of temperature and pressure on aircraft flights .....	66
6.1. Standard atmosphere and its purpose .....	66
6.2. The effect of temperature and pressure on barometric altimeter readings .....	67
6.3. The effect of temperature and pressure on flight speed readings .....	70
6.4. The effect of temperature and pressure on aerodynamic performances of aircraft .....	72
6.5. The effect of temperature and pressure on engine thrust and fuel consumption .....	72
6.6. The effect of temperature and pressure on take-off and landing of aircraft .....	75
6.7. The effect of temperature and pressure on the climb rate and ceiling .....	76
6.8. Short-range and very-short-range forecast of the surface air and upper temperature .....	79
Chapter 7. Wind influence on aircraft flights .....	86
7.1. Wind influence on cruise speed and range .....	86
7.2. Wind influence on take-off and landing .....	91
7.3. Jet currents and their significance for air navigation .....	94
7.4. The concept of equivalent wind .....	95
7.5. Features of wind influence on the helicopter flight .....	96
7.6. Wind shears and their influence on take-off and landing .....	97
7.7. Short-range and very-short-range forecast of wind and wind shears .....	100
Chapter 8. Effects of atmospheric turbulence on aircraft flights .....	112
8.1. Causes of formation of atmospheric turbulence .....	112
8.2. Impact of turbulent fluctuations on the aircraft. Turbulent weather of airplanes .....	114
8.3. The CAT structure .....	119

8.4. Turbulence in clouds .....	120
8.5. Turbulence in jet currents .....	121
8.6. Orographic turbulence .....	122
8.7. Synoptic conditions of intensive turbulence .....	125
8.8. Short-range and very-short-range forecast of atmospheric turbulence .....	128
Chapter 9. Effects of cloudiness and restricted visibility on flights .....	134
9.1. Cloudiness and visibility as major factors causing complicated meteorological conditions of flights .....	134
9.2. Weather minima .....	136
9.3. Visibility range and its dependence on various factors .....	139
9.4. Meteorological and flight visibility .....	142
9.5. Meteorological flight conditions in clouds of various forms .....	145
9.6. Flight conditions with various meteorological phenomena hindering visibility .....	150
9.7. Flight conditions in zones of atmospheric fronts .....	153
9.8. Contrails behind an airplane .....	157
9.9. Short-range and very-short-range forecast of low clouds and restricted visibility .....	159
Chapter 10. Icing of aircraft and its impact on flights .....	185
10.1. Icing as a weather phenomenon dangerous for aircraft .....	185
10.2. Classification of ice deposits observed in flight .....	186
10.3. Icing intensity and its dependence on microphysical cloud structure and flight regime .....	188
10.4. Meteorological and synoptic conditions of icing .....	191
10.5. Features of icing of high-speed airplanes and helicopters .....	192
10.6. Methods of icing control .....	194
10.7. Danger of ice glaze and flare ice for aircraft and fighting them .....	196
10.8. Short-range and very-short-range forecast of ice glaze and glare ice .....	197
Chapter 11. Effects of thunderstorms and squalls on aviation operation .....	202
11.1. Thunderstorm and squalls as weather phenomena dangerous for aircraft .....	202
11.2. Types of thunderstorms and extent of their danger for aircraft .....	204
11.3. Features of flights in zones of thunderstorm activity .....	207
11.4. Application of meteorological radar data for diagnosis and prediction of thunderstorm sources .....	209
11.5. Electrization of airplanes .....	209
11.6. Short-range and very-short-range forecast of thunderstorms and hail .....	211
Chapter 12. Impact of meteorological conditions on the state and exploitation of aerodromes .....	219
12.1. Accounting for climatic data in surveying, building and equipping aerodromes .....	219
12.2. Effects of hydrometeorological factors on the state and exploitation of aerodromes with natural and man-made cover .....	220
12.3. Effects of hydrometeorological factors on aircraft situated on the ground .....	222
12.4. The aviation and climatic descriptions and reports and their application in meteorological support of aviation .....	223
Chapter 13. Influence of ozone and space radiation on aviation activities .....	226
13.1. Ozone content in the atmosphere and its effect on aviation activities .....	226
13.2. Space radiation and its effect on aviation activities .....	227
<b>Section 3. Meteorological support of flights .....</b>	<b>231</b>
Chapter 14. Organization of work of air meteorological offices .....	231
14.1. Purpose, problems and organization of air meteorological offices .....	231
14.2. Location and equipment of civil automatic meteorological stations (CAMS) .....	234
14.3. Types and scope of work at CAMS .....	236
14.4. Organization of observations at CAMS .....	239
Chapter 15. The collecting and diffusion of meteorological data at CAMS .....	247
15.1. Basic sources of meteorological data .....	247
15.2. Collection and dissemination of meteorological data via radio communication channels .....	248
15.3. Collection and dissemination of meteorological data through wire communication channels .....	251
15.4. Organization of storm alert and warnings at CAMS .....	255

15.5. Aviation meteorological codes used for meteorological data exchange . . . . .	260
Chapter 16. Aviation weather forecasts and their validity assessment . . . . .	262
16.1. The requirements to be met by aviation weather forecasts . . . . .	262
16.2. Basic types of aviation weather forecasts developed at CAMS . . . . .	263
16.3. Terminology of aviation weather forecasts . . . . .	266
16.4. Detailed elaboration and corrective amendments of aviation weather forecasts . . . . .	268
16.5. Validity assessment of aviation weather forecasts and storm warnings . . . . .	270
16.6. Analysis of weather forecasts . . . . .	273
Chapter 17. Tjyvleteorological support of civil aviation . . . . .	275
17.1. Basic requirements to be met by meteorological support of flights . . . . .	275
17.2. Organization of meteorological support of ATC bodies . . . . .	277
17.3. Organization of meteorological support of flights along various routes . . . . .	281
17.4. Features of meteorological support of flights on domestic air lines and flights aimed at application of aircraft in national economy . . . . .	284
17.5. Features of meteorological support of international flights . . . . .	288
17.6. Features of meteorological support of ship-borne aircraft . . . . .	290
17.7. Information transmitted from ground to aircraft board . . . . .	292
17.8. Features of meteorological support of flights in miscellaneous geographic regions . . . . .	293
17.9. Features of meteorological support of flights at miscellancous altitudes . . . . .	298
17.10. Comprehensive analysis of ^-"atmospheric processes with meteorological support of flights . . . . .	301
Chapter 18. Automation of meteorological support of flights . . . . .	307
18.1. Automation of making observations at CAMS . . . . .	307
18.2. Automation of collection and dissemination of meteorological data . . . . .	309
18.3. Automation of calculations for the prediction of meteorological parameters and weather phenomena dangerous for aircraft . . . . .	310
18.4. Automation of making air navigation calculations in airports . . . . .	311
18.5. Principles of creation of an automatic system of meteorological support of flights Instead of the conclusions . . . . .	313
References . . . . .	320

Учебное издание

О.Г. Богаткин

**АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ**

Учебник

*Редакторы:* И.Г. Максимова  
Л.В. Ковель

ЛР № 020309 от 30.12.96.

---

Подписано в печать 01.11.05. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 30,5. Уч.-изд. л. 31,0. Тираж 500 экз. Заказ № 21  
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.  
ЗАО «НПП «Система», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 80/2.

---