

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНЦЕРН
«АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ»**

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ

Гусейнов Н.Ш., Кулиев Г.И.

**Краткий курс лекций
по дисциплине «Авиационная метеорология»**

БАКУ – 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Краткие сведения о строении атмосферы и влиянии его параметров на полёт ВС.....	3
1.1. Строение атмосферы.....	3
1.2. Влияние параметров атмосферы на полёт.....	8
Глава II. Метеорологические условия полётов. Осуществление полётов при различных метеорологических условиях.....	13
2.1. Условия полётов в облаках и осадках.....	13
2.2. Условия полётов в зоне грозовой деятельности.....	19
2.3. Условия полётов в зонах обледенения.....	22
2.4. Полёты в зонах атмосферной турбулентности.....	26
2.5. Электризация самолётов.....	31
2.6. Влияние сдвига ветра на взлёт и посадку.....	34
2.7. Условия полётов в устойчивой воздушной массе.....	41
2.8. Условия полётов в неустойчивой воздушной массе.....	44
2.9. Условия полётов в зоне тёплого фронта.....	48
2.10. Условия полётов в зоне холодных фронтов.....	51
2.11. Условия полётов в зоне фронтов окклюзии.....	54
Литература.....	58

Глава I. Краткие сведения о строении атмосферы и влиянии его параметров на полёт ВС

Строение атмосферы

Атмосфера представляет собой механическую смесь различных газов, водяного пара, жидких и твёрдых частиц.

По газовому составу атмосфера делится на **гомосферу** и **гетеросферу**.

Гомосфера – это нижний, до высоты 90-95 км, слой, в котором процентное содержание основных газов и удельная молярная масса воздуха с высотой практически остаётся неизменными.

По ГОСТ – 1401 – 81 принят следующий состав сухого воздуха для гомосферы (по объёму в процентах): азот – 78,054; кислород – 20,948; аргон – 0,934; углекислый газ – 0,031; другие газы (неон, гелий, криптон, ксенон, водород, окись азота, йод) – 0,003. Молярная масса на уровне моря равна 28,96442 кг/кмоль.

Реальный воздух в своём составе содержит группу переменных газов. В первую входят: азот, кислород, аргон, гелий, водород, неон, криптон, и ксенон. В пределах гомосферы процентное содержание этих газов в единице объёма не меняется, а концентрация их с высотой убывает вместе с уменьшением общей плотности атмосферы.

Газы второй группы содержатся в воздухе в небольшом количестве и называются атмосферными примесями. К ним относятся: водяной пар, озон, углекислый газ, окислы азота и др.

Водяной пар поступает в атмосферу вследствие испарения с поверхности воды, влажной почвы и растительности. Его количество переменное, уменьшается с высотой и при удалении в глубь континентов. Максимальное количество водяного пара при высоких температурах над морем может достигать 4% по объёму.

Углекислый газ образуется при горении и гниении. Среднее его количество равно 0,0314% по объёму. В промышленных районах его в 2 раза больше, чем в Арктике и Антарктике. В связи с быстрым развитием промышленности и сжиганием большого количества топлива за последние 100 лет содержание углекислого газа в воздухе увеличилось на 10%. Ожидается, что к 2015 году его концентрация увеличится 30-40%.

Водяной пар и углекислый газ «утепляют» атмосферу, поглощая инфракрасную радиацию, излучаемую земной поверхностью. Задержанное этими газами тепло идет на нагревание приземного воздуха и частично опять возвращается земной поверхности, предохраняя его от сильного выхолаживания в ночное время. Если бы отсутствовала атмосфера и не было бы в её составе водяного пара и углекислого газа, средняя температура воздуха у поверхности земли была бы не +15° С, а –23° С.

Озон содержится до высоты около 50 км. При этом в приземном слое его содержание незначительно (около миллионной доли процента по объёму). С высотой оно возрастает и максимальная концентрация наблюдается на уровне около 25 км. Этот газ поглощает около 4% солнечной энергии, поступающее на землю. Поглощённая энергия идёт на нагревание атмосферы.

Кроме газов в атмосфере содержатся мельчайшие твёрдые и жидкие частицы как индустриального, так и естественного происхождения. Это частицы пыли, дыма, горных пород, морской соли и др. Воздушными потоками они переносятся на большие расстояния и служат ядрами конденсации. Твёрдые и жидкие примеси ослабляют солнечную радиацию, ухудшают видимость. Около 50% массы атмосферы сосредоточено в нижнем пятикилометровом слое, 75% – до высоты 10 км, 90% – до высоты 16 км, 95% – до 20 км, 99% – до высоты 30–35 км.

Выше гомосферы до высот 800–1000 км располагается гетеросфера. Газовый состав в этом слое характеризуется увеличением с высотой содержания более лёгких газов, а следовательно, уменьшением молярной массы. Под воздействием рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца здесь протекают фотохимические и ионизационные процессы, молекулы газов распадаются на атомы, возникают электрические частицы – ионы и электроны.

Как уже отмечалось, атмосфера играет огромную роль в существовании всего живого на Земле и в жизни самой планеты. Поэтому изучение атмосферы и происходящих в ней явлений ведётся постоянно. Существуют прямые и косвенные методы исследований. К первым относятся метеорологические наблюдения в приземном слое. До высот 30 – 40 км производится зондирование атмосферы с помощью геофизических и метеорологических ракет, а также метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ).

С помощью прямых методов удаётся получить сведения о составе, температуре, давлении, влажности, плотности воздуха, воздушных течениях и электромагнитных свойствах атмосферы, о магнитном поле Земли, солнечном и космическом излучении.

К косвенным методам относятся радиолокационные наблюдения, спектральные исследования полярных сияний, свечения сумеречного и ночного неба, распространения звуковых волн, наблюдения за метеорными следами. С помощью этих методов можно получить сведения об облачности, грозах, ливнях, температуре, плотности, газовом составе воздуха, о ветре, электромагнитных свойствах атмосферы.

Атмосфера неоднородна не только по своему газовому составу, но и по физическим свойствам. Существует несколько схем его строения. Наиболее распространена схема, в основу которой положено распределение температуры по высотам. Согласно этой схеме, атмосфера делится на пять

основных слоёв: **тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу.**

Тропосфера – нижний слой атмосферы. Его верхняя граница в полярных районах достигается 8 – 10 км, в умеренных широтах – 10 – 12 км, в тропиках – 16 – 18 км. В тропосфере сосредоточено около 80% всей массы атмосферы и 90% водяного пара.

Температура воздуха с высотой понижается в среднем на 6,5° на каждые 1000 м и достигает минимума на верхней границе. В пределах тропосферы очень быстро падает давление. На верхней границе оно в четыре раза меньше приземного.

В тропосфере формируются воздушные массы и атмосферные фронты, развиваются циклоны и антициклоны, образуется облачность, отмечается грозовая деятельность, ливни, болтанка, обледенение.

Особо выделяется так называемый пограничный слой (слой трения). Его вертикальная мощность – 1 – 1,5 км. Здесь наиболее резко сказывается тепловое и механическое влияние подстилающей поверхности земли. Именно в этом слое параметры атмосферы испытывают наиболее резкие колебания. Здесь образуются низкая облачность и туманы, наблюдаются шквалы, пыльные бури, резко ухудшающие видимость.

Ветер в тропосфере усиливается с высотой, его скорость достигает максимума (100 км/ч и более) под тропопаузой, образуя зону струйного течения, где отмечается интенсивная болтанка. Преобладающим направлением ветра в Северном полушарии во все сезоны года является западное.

Между тропосферой и стратосферой располагается переходный слой – **тропопауза**. Её вертикальная мощность 1 – 2 км. Здесь температура с высотой меняется незначительно. Таким образом, тропопауза является задерживающим слоем. Её высота увеличивается от полюсов к экватору, причём наиболее резко она меняется на широте 30 – 40°, где иногда претерпевает разрыв.

Стратосфера располагается над тропопаузой и простирается до высоты 50 – 55 км. На нее приходится около 20% всей массы атмосферы. По характеру изменения температуры с высотой стратосферу можно разделить на две части – нижнюю и верхнюю. В нижней стратосфере (до высоты около 20 км) обычно наблюдается изотермия или слабая инверсия. Выше температура растёт примерно на 3° на каждые 1000 м. Повышение температуры в верхней стратосфере обусловлено поглощением ультрафиолетовой солнечной радиации озоном и инфракрасной радиации – водяным паром. При этом вклад озона в 4 раза превышает вклад водяного пара. Измерения показывают, что воздух в стратосфере очень сухой. Поэтому облачность здесь – явление редкое. Исключение составляют перламутровые облака, названные так из-за их яркой радужной окраски. Обычно они наблюдаются на высотах 21 – 30 км над Скандинавией, Финляндией, северным Уралом и северными окраинами Сибири.

Ветер в стратосфере также имеет свои особенности. Скорость западного ветра убывает с высотой, достигая минимальных значений в слое 18 – 21 км. Выше скорость ветра начинает опять расти, а летом западное направление сменяется восточным.

В стратосфере возможны резкие внезапные потепления. Наиболее часто они наблюдаются в январе и феврале, реже в ноябре, в декабре и марте. Продолжительность потеплений на высотах 20 – 25 км составляет 7 – 12 суток, среднее повышение температуры – около 26° С.

Между стратосферой и следующим слоем – мезосферой располагается **стратопауза** – уровень, где повышение температуры воздуха с высотой сменяется с его падением.

Мезосфера расположена на высотах от 55 до 85 км. Её масса не превышает 0,3% всей массы атмосферы. Температура в мезосфере с высотой понижается в среднем на 3,5° С на каждые 1000 м. Атмосферное давление и плотность воздуха падают. У верхней границы мезосферы нередко образуются серебристые облака. Их наибольшая повторяемость приходится на июнь – август. Горизонтальная протяжённость серебристых облаков чаще всего составляет 100 – 300 км, редко 500 – 800 км, вертикальная протяжённость обычно 1 – 3 км. Перемещаются с востока на запад со средней скоростью 40 – 65 км/ч.

В пределах мезосферы наиболее часто отмечается полное сгорание метеоритов.

Мезопауза – уровень минимальной температуры воздуха в пределах атмосферы, разделяет мезосферу и термосферу.

Термосфера – так называется область атмосферы, расположенная на высотах от 80 – 85 до 800 км. На неё приходится менее 0,05% всей массы атмосферы. Кинетическая температура (температура, определяемая тепловым движением молекул воздуха) возрастает от минимума на высоте 80 км до максимума на высоте 250 – 300 км, а выше остаётся почти неизменной. В годы максимума солнечной активности она колеблется в пределах 2000 – 2500 К в течении дня, 1200 – 1600° К ночью, в годы минимальной активности – в интервалах 900 – 1100 и 500 – 700° К соответственно.

В тропосфере активно протекают ионизационные процессы. Ионизирующими факторами являются солнечные, рентгеновские и ультрафиолетовые лучи, корпускулярные солнечные потоки, космические лучи и метеорные частицы. Существуют четыре области с максимумами электронной концентрации:

- слой Д – образуется днём на высотах 50 – 90 км. Ночью этот слой исчезает (ионная концентрация от нескольких десятков до нескольких тысяч в 1 м³);
- слой Е – расположен на высотах 105 – 170 км и имеет толщину 30 – 40 км (ионная концентрация $2 \cdot 10^5$ в 1 м³);
- слой F₁ – находится на высотах 150 – 170 км (ионная концентрация до 10⁶ в 1 м³);

- слой F_2 – расположен на высотах 250 – 270 (ионная концентрация до 10^6 в 1 м^3).

Ионизированную область в пределах атмосферы называют ионосферой. Она является весьма сложной, неоднородной и непостоянной во времени средой. Особенно значительные изменения в ней происходят при магнитных бурях.

Ионосфера существенно влияет на распространение радиоволн. Благодаря ей возможна радиосвязь на коротких волнах на больших расстояниях при малых мощностях передатчиков.

В нижней части термосферы наблюдаются полярные сияния.

На высоте около 800 км располагается **термопауза**, разделяющая термосферу и экзосферу. Температура воздуха здесь достигает максимального значения.

Экзосфера – внешний, сильно разряжённый слой атмосферы. Здесь частицы газов за счёт высокой температуры могут приобретать скорости больше второй космической (11,2 км/с) и улетать в космическое пространство. Из космоса в земную атмосферу возвращаются частицы скорость которых из-за столкновения стала меньше второй космической. Процесс этот в целом равновесный: сколько частиц уходит из атмосферы, столько же и поступает на неё.

Часть атмосферы с высоты примерно 1000 км до 22000 – 24000 км называется **гекороной**. В её области уже проявляется торможение искусственных спутников. Верхняя граница гекороны условно принимаются за верхнюю границу атмосферы.

По условиям полёта летательных аппаратов выделяются:

- воздушное пространство – от поверхности земли до высоты 65 км;
- приземное космическое пространство – от 65 до 150 км;
- ближний космос – от 150 до 1000 км;
- дальний космос – от 1000 до 930000 км.

Приземное космическое пространство, ближний и дальний космос объединяются в одно понятие – околоземное космическое пространство. Выше 930000 км располагается межпланетное космическое пространство.

В воздушном пространстве плотность воздуха такова, что здесь возможны полёты летательных аппаратов. До высоты 30 – 35 км летают обычные аэродинамические самолёты. На высотах от 30 до 65 км могут летать гиперзвуковые аэродинамические самолёты.

Приземное космическое пространство – это слой атмосферы, где аэродинамическая подъёмная сила настолько мала, что её можно использовать только для маневрирования космических аппаратов и полётов орбитальных самолётов-ракетапланов.

Ближний космос – область, где плотность воздуха незначительна, сопротивление внешней среды почти отсутствует. Здесь возможны длительные орбитальные полёты. Ввиду малой радиационной опасности,

особенно в нижней половине области, условия полётов наиболее благоприятны.

Дальний космос характеризуется более сложными условиями полётов главным образом из-за радиационной и метеорной опасности.

Влияние параметров атмосферы на полёт

Параметры атмосферы – температура, давление, плотность воздуха – оказывают существенное влияние на аэродинамические и лётно-технические данные летательных аппаратов, работу авиационных силовых установок и разных агрегатов. В то же время они обладают большой изменчивостью в пространстве и во времени.

Поэтому для получения сравнимых между собой показаний приборов, данных лётных испытаний, результатов аэродинамических расчётов, геофизических и метеорологических измерений исходят из заранее заданного постоянного (стандартного) распределения физических характеристик состояния атмосферы по высоте – стандартной атмосферы (СА).

На практике вследствие того, что физические характеристики атмосферы в абсолютном большинстве случаев отличаются от стандартных значений, возникает необходимость учёта этих отклонений. Одной из таких задач является введение поправок в показания барометрического высотомера для определения геометрической высоты полёта.

При полёте на эшелоне используются показания барометрического высотомера. Из принципа работы барометрического высотомера следует, что, если в полёте лётчик выдерживает постоянную высоту по прибору, самолёт перемещается вдоль изобарической поверхности. Так как изобарические поверхности имеют очень небольшой наклон, такой полёт практически происходит горизонтально. Принцип полёта на высотах с одинаковым давлением, т.е. вдоль изобарических поверхностей, положен в основу эшелонирования, позволившего обеспечить безопасность полётов самолётов на встречных и пересекающихся курсах независимо от условий погоды. Нулевым уровнем для эшелонирования принят условный уровень с давлением 760 мм рт.ст.

Высота изобарических поверхностей непостоянна и зависит от величины приземного давления и средней температуры слоя воздуха от земли до высоты полёта.

Геометрическая высота полёта с учётом отклонения распределения температуры воздуха от стандартного находится по формуле

$$Z = Z_0 T_m / T_{\text{ст}}, \quad (1)$$

Где Z_6 – барометрическая высота; T_m – средняя барометрическая температура слоя; $T_{мет}$ – средняя температура слоя по СА в градусах абсолютной шкалы.

Из формулы следует, что показания прибора окажутся заниженными, если средняя температура слоя ниже средней температуры в СА, и завышенными, если она выше средней температуры в СА. Так по многолетним данным, зимой при полётах на малых высотах показания прибора завышены в средней полосе на 8 - 10 %, а в высоких широтах на 10 - 13%, на средних и больших высотах на 3 – 5 и 5 – 9% соответственно. В теплое полугодие барометрический высотомер даёт заниженные значения высоты на всех эшелонах полёта; завышенными они бывают лишь при полётах на малых высотах в Арктике.

Физическое состояние атмосферы оказывает влияние на силу тяги турбореактивного двигателя. Зависимость силы тяги от изменения параметров атмосферы с высотой при неизменном числе оборотов выражается такой приближённой формулой:

$$P_z = P_0(\rho/\rho_0) \cdot (T_0/T_z), \quad (2)$$

где P_z – тяга на высоте полёта; P_0 – тяга у поверхности земли; ρ и ρ_0 – плотность воздуха на высоте полёта и у поверхности земли; T_0 и T_z – абсолютная температура воздуха на высоте полёта и у поверхности земли.

Из формулы следует, что сила тяги двигателя прямо пропорционально плотности воздуха и обратно пропорционально температуре. С высотой, в связи с тем что отношение ρ/ρ_0 уменьшается быстрее, чем увеличивается отношение T_0/T_z , тяга двигателя уменьшается.

При полёте на эшелоне, где давление постоянно, плотность воздуха зависит от температуры. Поэтому сила тяги двигателя при постоянных оборотах будет изменяться только в зависимости от изменения температуры. Согласно расчётам повышение температуры от $-56,5^\circ$ (температура на высоте 10 – 11 км по СА) до $-31,5^\circ$ даёт уменьшение тяги на 15%.

Компенсировать потерю силы тяги можно увеличением числа оборотов двигателя по такой примерной формуле:

$$\Delta n = (\Delta T/2T) \cdot n, \quad (3)$$

где Δn – число оборотов двигателя.

Результаты расчётов показывают, что на каждые 4 – 5 $^\circ$ C отклонения температуры воздуха от стандартного значения оборотов должно быть изменено на 1%.

Зависимость силы тяги от метеорологических условий оказывает влияние и на другие важные лётно-технические характеристики самолёта: максимальную скорость полёта, скороподъёмность, расход топлива и т.д.

Максимальную скорость установившегося полёта можно рассчитать по формуле

$$V_{max} = V_{max}^{(0)} \cdot \sqrt{\frac{288}{T}} \quad (4)$$

где $(V_{max})^{(0)}$ – максимальная скорость установившегося горизонтального полёта на нулевом уровне в стандартных условиях.

При понижении температуры на 5°C максимальная скорость возрастает примерно на 1%. С учётом понижения температуры с высотой в СА максимальная скорость на высоте 11 км увеличится по сравнению с нулевым уровнем на 15%. При повышении температуры максимальная скорость уменьшается.

Продолжительность полёта зависит от часового расхода топлива. Из уравнения аэродинамики следует:

$$C_{\text{ч}} = C_{\text{ч.ст.}} \cdot \frac{P}{P_{\text{ст.}}} \sqrt{\frac{T}{T_{\text{ст.}}}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{ч}}$ и $C_{\text{ч.ст}}$ – часовой расход топлива в реальных условиях и в СА соответственно.

Таким образом, при понижении давления и температуры воздуха часовой расход топлива уменьшается. Расчёты показывают, что при изменении температуры воздуха на 30°C (например, при переходе от зимы к лету и наоборот) часовой расход топлива изменяется на 5 – 6 %. Из этого же соотношения следует, что современные самолёты выгодно эксплуатировать на высотах, близких к практическому потолку самолёта. Однако вблизи практического потолка заметно ухудшаются аэродинамические качества самолёта и наличие даже не очень большой болтанки может привести к выходу на критические углы атаки, потере устойчивости и управляемости. Поэтому правильное определение потолка важно для лучшего использования лётно-технических данных самолётов, повышения экономичности, а также для обеспечения безопасности полётов.

Практический потолок зависит от аэродинамических качеств, максимальной скорости самолёта и плотности воздуха. При полёте на эшелоне, близком к практическому потолку самолёта, нарушение режима полёта может быть связано в основном с изменением температуры. Чтобы избежать превышения практического потолка в случае положительного отклонения фактической температуры воздуха от стандартной ($T_{\text{ст.}}$), следует уменьшить высоту полёта. Необходимые изменения высоты полёта (ΔH) рассчитываются по формуле

$$\Delta H = k (T_{\text{ф}} - T_{\text{ст.}}), \quad (6)$$

где k – коэффициент, зависящий от типа самолёта.

Согласно формуле (6) потолок самолёта при положительном отклонении температуры воздуха от стандартной на 10° понижается у дозвуковых самолётов на 300 – 500 м, а у сверхзвуковых – на 1000 – 1500 м.

Скороподъёмность самолёта зависит от располагаемой тяги двигателя, которая в свою очередь зависит от температуры воздуха. Из расчётов известно, что при повышении температуры на 10° от стандартного значения скороподъёмность самолёта уменьшится на 10 – 20%, а время набора высоты увеличится на 6 – 10%.

Распределение температуры влияет также и на разгон самолёта, особенно до сверхзвуковых скоростей. Наиболее благоприятные условия для разгона следует ожидать в области низких температур, которые чаще всего наблюдаются над тропопаузой и в нижней стратосфере.

От физических характеристик состояния атмосферы зависит скорость отрыва и длина разбега воздушного судна при взлёте. При положительных отклонениях температуры воздуха, как и пониженном давлении, уменьшается плотность воздуха, что приводит к падению тяги двигателей, возрастанию скорости отрыва и соответственно увеличению длины разбега. Так, например, повышение температуры на 10° приводит к увеличению длины разбега на 7 – 13%. В летний период на Кавказе, где суточный ход температуры составляет 20° и более, разница в длине разбега самолётов в течении одной лётной смены может составлять 20 – 25%.

При полётах с аэродромов, расположенных в горной местности, основное влияние на изменение длины разбега оказывает отклонение давления на уровне ВПП от стандартного. Так, на аэродроме, расположенном на высоте 1000 м над уровнем моря, длина разбега реактивного самолёта увеличивается на 33%.

На посадочные характеристики самолёта изменения температуры и давления влияют в меньшей степени. Отклонение фактической температуры воздуха от стандартной на 10°C приводит к изменению длины пробега примерно на 3,5%.

Из всего комплекса метеорологических величин наиболее существенное влияние на взлётно-посадочные данные самолётов оказывают скорость и направление ветра.

Встречный ветер при взлёте создаёт дополнительный обдув самолёта, увеличивая подъёмную силу, путевую устойчивость и управляемость в начале движения. Поэтому взлёт и посадку самолётов стремятся производить против ветра, уменьшая тем самым путевую скорость отрыва и путевую посадочную скорость, а следовательно, длину разбега и пробега самолёта. При попутном ветре, наоборот, увеличивается длина разбега и пробега, ухудшается устойчивость и управляемость самолёта, усложняется управление взлёта и посадки.

Оценку влияния встречного ветра на длину разбега при взлётах можно произвести по формуле

$$L/L_0 = (1 - U/V)^2, \quad (7)$$

где L – длина разбега при встречном ветре; L_0 – при штиле; V – скорость отрыва; U – скорость ветра.

При взлёте с боковым ветром возникают кренящий и разворачивающий моменты, затрудняющие управление самолётом. Кренящий момент образуется вследствие неравномерного обдува плоскостей. У плоскости, расположенной с наветренной стороны, подъёмная сила увеличивается, в то же время у другой плоскости, находящейся в динамической тени, она уменьшается.

Разворачивающий момент стремится развернуть самолёт против ветра. Он возникает в результате большой парусности хвостового стабилизатора и несовпадения центра тяжести и центра бокового давления ветра.

В начале разбега разворачивающий момент гасится управлением носового колеса, а затем по мере увеличения скорости и разбега – отклонением руля поворота. Поэтому при взлёте с боковым ветром, особенно при больших скоростях последнего, значительно усложняется техника пилотирования.

Посадка самолёта при боковом ветре связана с ещё большими трудностями, чем взлёт. Лётчику приходится бороться со сносом самолёта. Неточный учёт ветра создаёт опасность приземления вне полосы. В момент касания ВПП самолёт имеет поперечную составляющую скорости, создающую боковую нагрузку на шасси. При определённых значениях этой нагрузки может произойти срыв покрышек или поломка шасси. По этой причине для каждого типа самолёта установлена предельно допустимая скорость бокового ветра, при котором возможны взлёт и посадка.

Воздействие ветра при полёте по маршруту проявляется в изменении путевой скорости воздушного судна (ВС) и появлении бокового сноса. Скорость полного движения ВС является геометрической суммой двух векторов: воздушной скорости V и ветра U . Построенный на этих векторах треугольник носит название навигационного треугольника скоростей.

Из навигационного треугольника скоростей следует, что

$$\sin \varphi = U/V \sin \varepsilon \quad (8)$$

$$\omega = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon} + U \cos \varepsilon. \quad (9)$$

здесь φ – угол сноса; V – воздушная скорость; ε – угол ветра, равный $\delta - \alpha \pm 180^\circ$, где α – путевой угол; δ – направление ветра. Таким образом, угол сноса равен нулю при встречном или попутном ветре и максимален при боковом ветре.

Наибольшее влияние на величину путевой скорости при прочих равных условиях оказывает попутный и встречный ветер. При ветре, направленном под углом к линии пути, кроме поправки на изменение скорости полёта требуется решить сложную навигационную задачу учёта сноса воздушного судна.

Полёты современных самолётов совершаются на больших высотах, в том числе и в зоне струйных течений, характеризующихся значительными скоростями ветра. Отношение скорости ветра к воздушной скорости самолёта может достигать 0,2 – 0,4, что свидетельствует о значительном изменении путевой скорости и большом сносе самолёта.

Глава II. Метеорологические условия полётов. Осуществление полётов при различных метеорологических условиях

Условия полётов в облаках и осадках

Условия полётов в облаках определяются такими их характеристиками, как высота нижней и верхней границ, горизонтальная протяжённость, расслоённость, микрофизическая структура, температурный режим, интенсивность турбулентности, электрическое поле облаков, степень обледенения.

Ближе всего к земной поверхности располагаются слоистые (St), разорванно-слоистые (FrSt) и разорванно-дождевые (Frnb) облака. Высота их нижней границы составляет обычно 100 – 300 м, но может опускаться до земли. Видимость под слоистыми облаками бывает ухудшенной из-за дымки и осадков.

Горизонтальная протяжённость зон слоистых облаков составляет, как правило, несколько сотен и даже тысячи километров.

Обледенение (в случае отрицательных температур) наиболее интенсивно в средней и верхней частях облака.

Видимость в слоистых облаках изменяется в широком диапазоне её значений. В высоких широтах повторяемость дальности видимости до 100 м равна 11%, от 101 до 300 м – 71%, от 301 до 500 м – 17%, более 500 м – 1%. В средних широтах облачность бывает плотнее и видимость хуже. Турбулентность в St слабая, полёт, как правило, бывает спокойным.

Вертикальная протяжённость слоистых облаков обычно составляет 200 – 800 м; в холодное полугодие при вторжении масс очень тёплого воздуха она увеличивается до 3 км.

Полёт в слоистых облаках в холодное полугодие сопровождается электризацией воздушного судна, вызывающей коронирующее свечение, ухудшение связи, а в отдельных случаях, при большой мощности облаков, электрические разряды в самолёт.

Слоисто-кучевые облака (Sc) – самые распространённые облака нижнего яруса. Их повторяемость (в том числе в сочетании с другими формами облаков) составляет в среднем за год 42%.

Внутримассовые Sc образуются под задерживающими слоями, испытывающими волновые движения. Образование слоисто-кучевых облаков во фронтальных зонах чаще всего связано с разрушением облачных систем фронтов.

Нижняя граница Sc обычно располагается на высотах от 600 до 1000 м, а толщина их составляет 100 – 300 м. В плотных слоисто-кучевых облаках высота нижней границы в среднем составляет 300 – 600 м, вертикальная протяжённость 600 – 1000 м. Облака нередко бывают расслоёнными,

особенно в зонах атмосферных фронтов. Безоблачные прослойки неустойчивы и имеют протяжённость от 100 до 1000 м.

Слоисто-кучевые облака могут состоять из капель воды (73% случаев), кристаллов льда (3%) или быть смешанными (24%). Летом в 99% случаев Sc водные, в 1% - смешанные. В холодное время года облака состоят в основном из переохлаждённых капель и в них может наблюдаться обледенение от слабого до умеренного.

Дальность видимости в Sc равняется в среднем 70 – 80 м, в плотных слоисто-кучевых облаках 35 – 45 м. В северных широтах плотность их меньше и дальность видимости чаще всего (72% случаев) составляет 100 – 300 м.

Турбулентность в Sc развита сильнее, чем в St, и полёт зачастую сопровождается слабой или умеренной болтанкой.

Высококучевые облака (Ac) наблюдаются довольно часто. Зимой их повторяемость составляет 31%, летом – 68%. Образуются Ac обычно под инверсиями или над ними. Кроме того, они возникают в результате разрушения облачных систем атмосферных фронтов и растекания облачности вертикального развития.

Ac располагаются на высотах около 4000 м. Сезонные изменения высоты наибольшие. Средняя толщина облаков мало изменяется в течение года и составляет 250 – 280 м, но при различных синоптических ситуациях может существенно отличаться от средних значений. Дальность видимости в облаках обычно составляет 80 – 100 м.

По фазовому состоянию Ac в 44% случаев состоят из капель воды, в 12% - из кристаллов льда, в 44% - случаях они бывают смешанными. Температура в облаках отрицательная в течение всего года. Зимой в среднем она составляет минус 20°, летом около минус 8°. Водяные капли в Ac в течение всего года находятся в переохлаждённом состоянии, но обледенение обычно бывает слабым в связи с малой водностью облаков.

В высококучевых облаках отмечается слабая или умеренная болтанка. В Ac, формирующихся в зонах струйных течений, болтанка может быть как умеренной, так и сильной.

Образование перистых облаков (Ci) связано с волновыми движениями под задерживающими слоями верхней тропосферы и под тропопаузой, а также с турбулентным перемешиванием. Облака этой формы являются самыми высокими облаками тропосферы, максимальная высота их нижней границы в средних широтах составляет около 11 км, в приэкваториальных – 17 – 20 км. Вертикальная протяжённость облаков испытывает значительные колебания: от нескольких сотен метров до нескольких километров (около половины перистых облаков имеет толщину примерно 1000 м). По своему строению облака кристаллические. Дальность видимости в них изменяется от десятков метров до нескольких километров: повторяемость значений до 500 м составляет 23 % случаев, от 501 до 2000 м – 75 % случаев, более 2000 м – 2 % случаев.

Болтанка обычно слабая, но в перистых облаках струйных течений она может быть умеренной или сильной. При длительном полёте возникает электризация самолётов, приводящая к радиопомехам.

Слоисто-дождевые облака (Ns) типичны для атмосферных фронтов. Их повторяемость составляет зимой 23 %, весной 16 %, летом 7 %, осенью 15 %. Нижняя граница слоисто-дождевых испытывает значительные колебания в зависимости от сезона года и времени суток. Наименьшая высота бывает вблизи линии фронта, где вместе разорванно-дождевыми облаками она опускается до 100 м и ниже. Верхняя граница слоисто-дождевых облаков располагается на высотах 2 – 5 км, а в отдельных случаях – 7 – 8 км. На верхней границе облачности температура отрицательна во все сезоны года. Горизонтальная протяжённость облаков соизмерима с горизонтальной протяжённостью фронтальных облачных систем.

Слоисто-дождевые облака зимой имеют преимущественно смешанное строение (84 %), из водяных капель в это время года состоит 13 % облаков, из кристаллов льда – 3 %. Летом преобладают водяные облака (75 %). Водность в слоисто-дождевых облаках составляет 15 – 25 %.

В тёплое время года на высотах, где температура ниже 0°, в слоисто-дождевых облаках часто наблюдается интенсивное обледенение. В холодное полугодие сильное обледенение в облаках может быть на всех высотах. Особенно опасны полёты в зоне переохлаждённого дождя.

Во все сезоны года при полётах в слоисто-дождевых облаках наблюдается электризация самолётов, причём степень её тем больше, чем больше вертикальная мощность облаков.

При попадании в зоны сильного обледенения и электризации следует изменить эшелон горизонтального полёта (ГП). В холодное полугодие положительный эффект чаще даёт набор высоты, а в тёплое – снижение.

Болтанка в слоисто-дождевых облаках наблюдается примерно в 53% случаев полёта. Интенсивность её обычно слабая или умеренная.

Высокослоистые облака (As) встречаются достаточно часто. Их повторяемость составляет зимой 23%, весной 23%, летом 11%, осенью 16%. Нижняя граница облаков обычно располагается на высотах 3,5 – 4,5 км, имеет небольшой годовой и суточный ход. Вертикальная протяжённость облаков в течении года в среднем составляет около 1000 м.

По микрофизической структуре высокослоистые облака зимой в 49% случаев состоят из ледяных кристаллов, и 36% - из кристаллов и капель, в 15% - из капель. Летом преобладают капельные облака (62%), повторяемость смешанных облаков составляет 30%, ледяных – 8%.

Температура на верхней границе высокослоистых облаков колеблется в среднем от -28° зимой до -10° летом. Преобладание смешанного строения в совокупности с переохлаждёнными каплями создаёт благоприятные условия для обледенения в облаках, которое чаще всего имеет вид белого мелкозернистого отложения или изморози.

Видимость в облаках в зависимости от их плотности колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

Турбулентность в высокослоистых облаках слабая. Исключение составляют высокие облака, связанные со струйными течениями, в которых может быть умеренная или сильная болтанка.

Перисто-слоистые облака (Cs) чаще всего относятся к системе фронтальных облаков и в виде самостоятельного облачного слоя располагаются над массивом высокослоистых – слоисто-дождевых облаков.

По микрофизической структуре облака кристаллические. Обледенение может появляться при больших скоростях за счёт температурных условий, создаваемых в результате кинетического нагрева.

Повторяемость болтанки в перисто-слоистых облаках составляет 73%. В основном болтанка слабая и не оказывает существенного воздействия на полёт. В плотных облаках струйных течений турбулентность увеличивается и интенсивность болтанки возрастает до умеренной.

Видимость изменяется в значительных пределах. Её значение до 500 м имеет повторяемость 37%, 501 – 2000 м – 56%, более 2000 м – 7% случаев.

В плотных облаках нередко отмечается электризация самолётов.

К облакам вертикального развития относятся кучевые, мощные кучевые и кучево-дождевые облака. Они образуются благодаря конвекции и турбулентному обмену, развивающимся в однородных воздушных массах или в зонах атмосферных фронтов.

Нижняя граница кучевых облаков обычно имеет высоту 600 – 1200 м, их вертикальная протяжённость равна нескольким сотням метров. По микрофизической структуре облака водяные. Обледенения в облаках, как правило, не бывает. Оно возможно в переходные сезоны года, когда в облаках имеются переохлаждённые капли.

Среднее значение дальности видимости в кучевых облаках колеблется в пределах 35 – 45 м. Турбулентность умеренная и сильная. Интенсивность болтанки тем значительнее, чем больше толщина облаков. Полёт над верхней границей кучевых облаков существенно не осложняется.

Кучевые облака не создают сплошного покрова, что даёт возможность визуальной ориентировки. В целом кучевые облака особых затруднений для самолётовождения и пилотирования не создают.

Высота нижней границы мощных кучевых облаков примерно такая же, как у кучевых. Их вертикальная протяжённость составляет обычно 3 – 4 км, но может быть и больше. Горизонтальная протяжённость мощных кучевых облаков составляет в среднем несколько километров, в тропиках более 10 км. Облака состоят из капель разного размера. При отрицательной температуре в облаках возможна умеренная или сильная обледенение. В этих облаках наблюдаются мощные восходящие и нисходящие потоки и сильная болтанка. Возникающие перегрузки могут быть выше допустимых, создавая угрозу безопасности полёта. Преднамеренный вход в мощные кучевые облака **запрещается.**

Вблизи облаков создаётся зона компенсирующих нисходящих потоков и возмущений воздуха, высокий уровень напряжённости электрического поля. Поэтому обходить их необходимо на безопасном боковом удалении соответствующем расстоянию 15 км и при расстоянии составляющем 50 км между двумя грозowymi очагами по отражённым радиолокационным пятнам на индикаторе бортового РЛС. При визуальных полётах безопасное боковое расстояние должен составлять ≥ 10 км.

В кучево-дождевых облаках (Cb) наблюдаются наиболее опасные условия для полётов.

Высота нижней границы этих облаков имеет хорошо выраженный сезонный ход с наибольшими значениями летом и наименьшими зимой. Максимальная повторяемость ($\approx 50\%$) зимой и осенью приходится на интервал 301 – 1000 м, а весной и летом на 601 – 1500 м. Такой характер изменения высоты нижней границы объясняется сезонными изменениями температуры. Высота нижней границы облаков зависит также от широты места.

Высота верхней границы ($H_{вг}$) Cb – одна из важных характеристик метеорологических условий полётов. $H_{вг}$ связана со временем года, с широтой места, температурными и влажностными характеристиками воздушной массы. Так, для лета в районе аэропорта Баку высота верхней границы Cb составляет 10 – 11 км. Нередко вершины кучево-дождевых облаков достигают тропопаузы и даже проникают в стратосферу.

Горизонтальная протяжённость кучево-дождевого облака может быть от нескольких километров до 60 км и более.

В кучево-дождевых облаках наблюдается сильная турбулентность в виде чередующихся восходящих и нисходящих струй. Скорость восходящих движений чаще всего бывает около 6 м/с, но может достигать 25 м/с и более. Несколько меньше скорости нисходящих движений (4 – 5 м/с), но и они в отдельных случаях могут быть до 24 м/с. Особенно интенсивные восходящие и нисходящие движения наблюдаются в период перехода мощных кучевых облаков в кучево-дождевые.

Кучево-дождевые облака имеют наибольшую по сравнению со всеми другими видами облаков водность. При отрицательной температуре здесь возникает наиболее сильное обледенение.

Видимость в нижней и средней частях кучево-дождевого облака равна 10 – 20 м; в средней части, где преобладают кристаллы льда и мелкие капли, она улучшается до нескольких десятков или сотен метров.

В кучево-дождевых облаках отмечается максимальная напряжённость электрического поля, приводящая к возникновению электрических разрядов в виде молний.

Из-за сильной турбулентности, вызывающей перегрузки, угрожающие прочности конструкции самолёта, из-за опасности сильного обледенения и поражения молнией полёты в кучево-дождевых облаках **категорически запрещены**.

Опасные условия для полётов наблюдаются не только внутри кучево-дождевого облака, но и в его окрестностях. Зона повышенной турбулентности и высокой напряжённости электрического поля распространяется от границ облака на удаление до 5 – 10 км и над его вершиной до 500 м, а в случае активной фазы облака и более. Очень сложные случаи наблюдаются под кучево-дождевым облаком. Кроме интенсивных осадков, в том числе крупы и града, под облаком наблюдаются порывистые ветры большой силы, значительные вертикальные потоки воздуха. Велика здесь опасность поражения летательных аппаратов молнией.

По этим причинам полёт вблизи кучево-дождевых облаков и под ними опасен, и их следует обходить на конкретно установленных расстояниях.

Выпадающие из облаков осадки существенно осложняют деятельность авиации и даже могут быть причиной тяжёлых авиационных происшествий. Степень влияния осадков зависит от их вида, интенсивности и температуры воздуха, при которой они выпадают.

Морозящие осадки выпадают из низких плотных слоистых облаков, иногда из слоисто-кучевых облаков. Они представляют собой мелкие капли дождя (диаметр 0,5 мм и меньше) или мелкие снежинки или снежные зёрна. Морозящие осадки сильно ухудшают видимость. К тому же часто сочетаются с дымкой и туманом. Горизонтальная протяжённость зон осадков может составлять многие сотни километров, а иногда превышает 1000 км. Морозящие осадки больше всего осложняют полёты на малых высотах.

Чаще всего морозящие осадки наблюдаются в переходные сезоны года и зимой при сильных оттепелях. Если они выпадают при отрицательной температуре, возможно обледенение воздушных судов. Этот вид осадков не даёт большого количества влаги.

Обложные осадки типичны для фронтальных слоисто-дождевых облаков, а зимой нередко и для высокослоистых облаков. Это капли дождя диаметром более 0,5 мм или снежинки (иногда небольшие снежные хлопья). Ширина зон осадков колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч километров. По интенсивности обложные осадки могут быть слабыми (близкими к мороси), умеренными или сильными, что зависит в значительной мере от того, в какой части зоны фронтальной облачности они выпадают, какова активность атмосферного фронта и т. п.

Полёты при обложных осадках сильно осложняются плохой видимостью. При слабом обложном снеге дальность видимости обычно не превышает 1 – 2 км, а при сильном снеге может ухудшаться до нескольких десятков метров. Во время снегопада заметно снижается контрастность всех параметров на земной поверхности, что существенно осложняет ориентировку по наземным объектам. Обложной дождь меньше ухудшает видимость, чем обложной снег.

При сильном дожде вода заливают остекление кабины пилота, капли воды могут частично блокировать отверстие приёмника воздушного

давления и вызывать занижение показаний указателя скорости (иногда на 100 км/ч).

При полёте в зоне обложных осадков может наблюдаться электризация самолётов, а при отрицательных температурах умеренное и сильное обледенение.

Длительные обложные дожди приводят к размоканию грунтовых ВПП, что делает их непригодным для производства взлётов и посадок самолётов.

Для кучево-дождевых облаков характерны ливневые осадки. Они состоят из крупных капель или крупных хлопьев снега, иногда из крупы или града. Осадки сравнительно кратковременные, но интенсивные. Начинаются они чаще всего внезапно, длятся недолго, приносят большое количество воды, могут неоднократно прерываться и возобновляться. Видимость при ливневых осадках бывает значительно ухудшена, особенно при ливневом снеге.

Крупнокапельный дождь во время полёта нарушает нормальное всасывание воздуха и может вызывать уменьшение оборотов компрессора реактивных самолётов. Большое влияние оказывают ливни на посадку самолётов. В результате образования плёнки воды на остеклении кабины и преломлении световых лучей пилот лишается возможности точно оценить высоту самолёта над ВПП при приземлении. Это может привести к «жёсткой» посадке и разрушению покрышек. Кроме того, при посадке во время ливня создаётся эффект глиссирования, увеличивающий длину пробега, и возникает угроза выкатывания за пределы ВПП и поломки самолёта.

Ливневой снег, а также обледенение в переохлаждённом дожде могут привести к заклиниванию кинематических звеньев, создать пробои изоляции.

Самую большую опасность для полёта представляет град. При полёте в зоне града самолёт может получить механические повреждения корпуса, ухудшающие его аэродинамические характеристики. Могут быть выведены из строя двигатели самолёта, повреждено остекление кабины.

Условия полётов в зоне грозовой деятельности

Гроза – это комплексное атмосферное явление, характеризующееся многократными электрическими разрядами в виде молний, которые сопровождаются громом. Оно связано с образованием мощных кучево-дождевых облаков и следовательно, с развитием сильной конвекции при высоком влагосодержании воздуха.

При грозах наблюдаются интенсивные ливневые осадки в виде дождя и града, сильная турбулентность и шквалистые ветры. Все эти явления, сопровождающие грозу, чрезвычайно опасны для воздушных судов, и поэтому полёты в кучево-дождевой облачности **запрещены**.

Однако, поскольку существующие методы обнаружения грозовой облачности недостаточно совершенны, не исключена возможность преднамеренного попадания в неё ВС. Такая опасность максимальна в тёплый период года при полёте в зоне атмосферных фронтов, поскольку в них грозовая облачность нередко замаскирована облачностью других форм.

Наиболее часто грозы возникают в зоне холодных фронтов, преимущественно днём и вечером. На холодных фронтах кучево-дождевые облака, как правило, сливаются и на индикаторе радиолокатора наблюдаются в виде сплошной, вытянутой вдоль фронта засветки.

Подходить к грозовым облакам ближе, чем на 15 км запрещено. Пересекать зону фронта рекомендуется с превышением над верхней границей облаков не менее 500 м. Если такой обход невозможен, экипажу следует возвратиться на аэродром вылета или произвести посадку на запасном аэродроме.

На тёплых фронтах грозы наблюдаются реже, чем на холодных, и возникают в основном в ночные и утренние часы. Сплошного вала кучево-дождевых облаков на теплом фронте нет. Но они могут быть замаскированы слоисто-дождевыми облаками, и тогда возрастает опасность непреднамеренного попадания в них.

Пересечение фронтальной облачности с отдельными грозовыми очагами можно производить только в том месте, где расстояние между ними согласно данным БРЛС составляет не менее 50 км.

Помимо фронтальных существуют внутримассовые грозы. Они развиваются в тёплую половину года во влажной неустойчивой воздушной массе в послеполуденные часы. Полёт в зоне внутримассовых гроз, как правило, не представляет большой опасности, поскольку кучево-дождевые облака изолированы друг от друга. Пролёт между кучево-дождевыми облаками безопасен, если расстояние между ними составляет не менее 50 км по РЛС. Однако, если в зоне внутримассовых гроз наряду с кучево-дождевыми облаками имеются в большом количестве облака других форм, маскирующие их, целесообразнее пересекать зону грозовой деятельности над вершинами грозовых облаков.

Наибольшую опасность для полёта воздушных судов в зоне грозовой деятельности представляют:

- электрические разряды в виде молний;
- интенсивная турбулентность;
- шквалистый ветер под облаками;
- сильные ливневые осадки и град;
- обледенение.

В кучево-дождевых облаках вследствие электризации капель и ледяных кристаллов и переноса их вертикальными потоками воздуха образуются большие объёмные электрические заряды. Наиболее часто верхняя часть грозового облака имеет положительный заряд, а нижняя часть – отрицательный. В тех случаях, когда напряжённость электрического поля

между объёмными зарядами или между облаком и землёй достигает 1000 кВ/м и более, возникают гигантские искры – молнии.

Как показали исследования, облако обычно становится грозовым при температуре на уровне его верхней кромки ниже $-15.. -20^{\circ}\text{C}$. Чем больше вертикальная мощность грозового облака, тем, как правило, больше и его молниевая активность.

При полётах в грозовой зоне всегда следует учитывать, что удар молнии может быть инициирован самим ВС.

Вся зона грозовой деятельности характеризуется повышенной турбулентностью. Особенно интенсивна она внутри кучево-дождевого облака на уровне, расположенном на 1,5 – 2 км ниже верхней границы. Наибольшие скорости порывов могут здесь достигать 20 м/с.

Под действием турбулентных порывов самолёт может бросать вниз или вверх на несколько десятков и даже сотен метров. Кроме того, возникают резкие изменения угла атаки и крена, затрудняющие пилотирование.

Вне кучево-дождевого облака турбулентность хоть и слабее, чем внутри, но на удалении от него на несколько сотен метров болтанка может быть умеренной, а на расстоянии в несколько десятков метров – сильной. Следует также помнить, что при полёте на больших высотах над вершинами грозовых облаков допустимые перегрузки самолёта меньше, чем в нижней тропосфере, и поэтому при сильной болтанке появляется угроза выхода его на критические углы атаки, следствием чего может стать резкое ухудшение или даже потеря устойчивости.

Очень опасны полёты и под облаками, поскольку здесь наряду с интенсивной турбулентностью и осадками наблюдается характерная для всей подоблачной зоны порывистость ветра связанная с так называемым фронтом порывистости или шкваловым фронтом. Фронт порывистости образуется под передней частью кучево-дождевого облака и распространяется на расстояние 10 – 12 км от переднего края зоны осадков, а иногда и на 30 – 35 км толщина фронта может достигать 2 – 3 км.

Для фронта порывистости характерны очень сильные вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра, сильна турбулентность, резкие колебания вертикальной составляющей скорости ветра. Скорости нисходящих потоков в зоне фронта могут превышать 10 м/с. При пересечении зоны фронта порывистости наблюдались случаи изменения воздушной скорости самолёта на 25 км/ч за 2,5 с и даже на 77 км/ч за 5 с.

Ливневые осадки, иногда с градом, резко ухудшают видимость, нередко до 1000 м. Нельзя не учитывать и возможности деформации фюзеляжа градом.

Полёты в кучево-дождевых облаках опасны и из-за сильного обледенения на высотах, где температура ниже 0°C .

Для обеспечения безопасности полётов и предотвращения попадания в кучево-дождевую облачность широко применяются наземные и бортовые радиолокаторы. Они позволяют обнаружить грозовые очаги по

интенсивности засветки на индикаторе кругового обзора (ИКО) на расстоянии от нескольких десятков до нескольких сотен километров и определить направление и скорости их перемещения.

Грозовые облака рекомендуется обходить на расстоянии не менее 15 км от засветки на экране бортового локатора при высоте полёта не менее 7 км, на расстоянии 23 км при высоте полёта от 7 до 9 км и на удалении 32 км при полёте на высотах более 9 км.

При полётах в условиях грозовой деятельности необходимо рассчитать предельно допустимое расстояние от грозы до аэродрома. Это расстояние определяется исходя из скорости и направления перемещения грозового кучево-дождевого облака в сторону аэродрома, времени, необходимого для совершения посадки на аэродроме, а также удаления грозы от аэродрома, начиная с которого она будет препятствовать посадке.

При полётах в горной местности обходить грозы разрешается только визуально, если нет полных запретов в инструкции по производству полётов.

Признаками приближения к грозовому облаку являются появление треска в наушниках, колебания стрелок навигационных приборов, возникновение или усиление болтанки, зарницы на фоне ночного неба или под ВС.

При непреднамеренном попадании в грозовое облако в целях обеспечения безопасности выхода из него необходимо:

- выключить автопилот и не используемое в данный момент радиооборудование;
- включить освещение кабины, противообледенительные устройства, обогрев стёкол;
- избегать полёта вблизи области, где особенно часты молнии и где усиливается треск в радиоаппаратуре;
- установить скорость полёта, рекомендованную инструкцией для полёта в зоне болтанки;
- строго выполнять другие требования, предусмотренные указаниями по технике пилотирования самолёта данного типа в зоне грозовой деятельности.

Правильные действия экипажа и чёткие указания диспетчера УВД являются необходимым условием обеспечения безопасности полёта в условиях грозовой деятельности.

Условия полётов в зонах обледенения

Обледенением воздушного судна называется отложение льда на его внешних поверхностях. Опасность обледенения заключается в ухудшении аэродинамических качеств ВС, уменьшении мощности двигателей, нарушении радиосвязи и в искажении показаний приборов. Сильное обледенение может привести к лётному происшествию.

Основной причиной обледенения является замерзание переохлаждённых капель воды при столкновении их с воздушным судном. Этот процесс в общих чертах происходит следующим образом.

При установившемся движении частицы воздуха, обтекающие ВС, движутся по определённым траекториям – линиям тока, которые повторяют очертания крыла и других частей ВС. Капли движутся с потоками воздуха, однако при искривлении линий тока они по инерции стремятся сохранить направление своего движения, и часть капель, в основном крупных, имеющих большую инерцию, сталкивается с частями ВС и замерзает на них. Чем больше скорость полёта, тем большее количество капель оседает в единицу времени.

У самолётов наиболее часто обледенению подвергаются передние кромки крыла, горизонтального и вертикального хвостового оперения, воздушные винты, входное устройство двигателя, приёмник воздушного давления, наружные антенны и окна кабины экипажа.

Вертолёты по сравнению с самолётами более чувствительны к обледенению. При горизонтальном полёте с относительно большой скоростью лёд обычно отлагается на лопастях винтов, лобовых частях вертолёта, на входных устройствах двигателя, шасси, антеннах и приёмнике указателя скорости. Во время полёта вертолёта с относительно малыми скоростями в режимах набора высоты и вертикального снижения или при висении обледеневают только винты. Наибольшую опасность представляет обледенение винтов и двигателя.

Интенсивность обледенения зависит главным образом от температуры и влажности облаков.

Интенсивность обледенения принято измерять толщиной льда, отложившегося в единицу времени на обледеневающей поверхности. Различают слабое обледенение (интенсивность меньше 0,5 мм/мин), умеренное (0,5 – 1 мм/мин) и сильное (больше 1 мм/мин).

Признаком слабого обледенения является небольшой налёт на передних стёклах кабины. Умеренное обледенение является по образованию льда на верхней части переднего стекла кабины и падению приборной скорости. При сильном обледенении происходит почти полное покрытие стёкол кабины льдом, заметно уменьшается приборная скорость полёта, возникает значительная тряска, возможны удары кусков льда о фюзеляж. Сильное обледенение бывает в кучево-дождевых и слоисто-дождевых облаках, а также в переохлаждённом дожде.

Отложения льда на самолёте различаются по виду и форме. Существует три основных вида отложений: лёд, изморозь, иней.

Лёд может быть прозрачным, матовым и белым (крупнообразным). Прозрачный лёд, как правило, образуется при полёте в кучевых облаках, содержащих преимущественно крупные капли, или в зоне переохлаждённого дождя при температуре от нуля до -10° С. Отложения прозрачного льда становятся опасными при значительной толщине.

Матовый или полупрозрачный смешанный, лёд образуется при полёте в смешанных облаках, состоящих из большого количества мелких и крупных переохлаждённых капель, а также из ледяных кристаллов снежинок. Чаще всего ледяное отложение с матовой шероховатой поверхностью возникает при температуре от -6 до -10° С. Оно значительно ухудшает аэродинамические характеристики самолёта и является наиболее опасным видом обледенения.

Белый, или крупнообразный, лёд образуется при полёте в облаках, состоящих из однородных мелких капель, при температуре ниже -10° С. Он непрочен пристаёт к поверхности самолёта и при вибрации в полёте обычно слетает. Однако при продолжительном полёте лёд уплотняется и может представлять серьёзную опасность.

Изморозь – это крупнозернистое кристаллическое отложение, возникающее при замерзании мелких капель вместе с ледяными кристаллами при температуре значительно ниже -10° С. Отложение изморози легко сдувается воздушным потоком.

Иней представляет собой тонкий мелкокристаллический налёт, возникающий при сублимации водяного пара. Опасности он не представляет, но отложения инея на стёклах кабины пилота затрудняют визуальный обзор и управление ВС.

Формы отложения льда зависят в основном от его вида, скорости полёта и особенностей обтекания воздушным потоком различных частей самолёта (вертолёта). Различают клинообразную, желобкообразную и бугристую формы обледенения.

Желобкообразная шероховатая форма отложения льда характерна для скоростных самолётов. Она возникает в тех, случаях, когда капли в лобовой части крыла не замерзают вследствие кинетического нагрева, а стекают к его более холодной периферии и там замерзают. Эта форма обледенения обычно бывает при температуре воздуха от -5 до -7° С. Она сильно искажает профиль крыла и нарушает его аэродинамику.

Бугристая форма обледенения воздушных судов обычно наблюдается при полёте в смешанных облаках.

Влияние обледенения зависит от того, на каких частях ВС происходит отложение льда. В результате отложения льда на крыльях и оперении самолёта возрастает лобовое сопротивление, уменьшается подъёмная сила, возрастает потребная и уменьшается располагаемая, а значит и избыточная тяги. Значительное уменьшение подъёмной силы происходит вследствие срыва потока при меньших углах атаки, чем при отсутствии обледенения.

Уменьшение критических углов атаки крыла и оперения наиболее опасно при малых скоростях полёта, особенно при посадке. На предпосадочных режимах горизонтальное оперение самолёта встречает поток набегающего воздуха под значительным отрицательным углом атаки. Этот угол зависит от установочного угла стабилизатора и схода потока за центральной частью крыла. При обледенении передней кромки

стабилизатора угол атаки может уменьшиться до значений, близких к критическим, особенно если отложение льда желобкообразной формы. Кроме того, отложение льда на стабилизаторе ухудшает устойчивость и управляемость самолёта.

При обледенении приёмника воздушного давления могут выйти из строя такие важные приборы, как указатели скорости, высоты, угла атаки, числа М и скорости набора высоты. Это может привести к непроизвольному выводу самолёта на опасные режимы полёта.

Что касается вертолётов, то ухудшение их лётных характеристик в условиях обледенения определяется главным образом степенью обледенения лопастей несущего и рулевого винтов. При обледенении лопастей винтов нарушается их винтовая симметрия, возникают интенсивная вибрация и тряска, уменьшается скорость полёта, ухудшаются устойчивость, управляемость и манёвренность.

В результате отложения льда на входном устройстве двигателей самолётов и вертолётов уменьшаются размеры проточной части, секундный расход воздуха и степень повышения его давления в компрессоре. Это вызывает падение мощности двигателя и может служить причиной помпажа компрессора и самовыключения двигателя.

Метеорологические условия обледенения воздушных судов определяются главным образом синоптической обстановкой, наличием облаков на высоте полёта, их водностью, температурой и размером капель. Обледенение наиболее вероятно на фронтальных облаках и при внутримассовой слоистообразной облачности, имеющей вертикальную мощность несколько сотен метров. Оно может наблюдаться при температурах от 0 до -40°C , но в большинстве случаев отмечается при температурах от 0 до -12°C с максимальной повторяемостью в интервале от -5 до -10°C . Обледенение газотурбинных двигателей может происходить и при положительных температурах до $+5^{\circ}\text{C}$.

Помимо температуры воздуха при оценке возможности обледенения в качестве параметра целесообразно использовать значения дефицита точки росы в облаках. При дефиците точки росы 3°C и меньше в 80% случаев обледенение наблюдается, а при дефиците более 3°C чаще отсутствует (в 84%).

Что касается водности облаков, то чем она больше, тем интенсивнее обледенение. Наиболее интенсивно оно при водности, превышающей 1 г/м^3 .

Поскольку обледенение – неизбежный спутник полётов воздушных судов зимой в облаках и осадках, содержащих переохлаждённые капли, а в переходные сезоны года и летом на высотах, где есть переохлаждённые облака, необходимо своевременно принимать меры безопасности. В период предполётной подготовки следует тщательно проанализировать метеорологическую обстановку и выбрать эшелон полёта вне зоны интенсивного обледенения.

При взлёте в условиях возможного обледенения должны быть включены противообледенительные системы. Если же поверхность воздушного судна покрыта инеем, снегом или льдом, производить вылет **запрещается**.

Для обеспечения безопасности самолётов в полёте рекомендуется:

- включать противообледенительную систему газотурбинных двигателей при температуре воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже или $+8^{\circ}\text{C}$ согласно РЛЭ Як40;
- заблаговременно включать противообледенительную систему по сигналу датчика о наличии обледенения или визуальном обнаружении его;
- на режимах предпосадочного снижения и на посадке перед входом в облачность и осадки при температуре воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже включать все противообледенительные системы;
- выходить из зоны сильного обледенения в зимнее время путём увеличения высоты полёта, а в тёплый период года – снижением в область положительных температур.

В случае отказа противообледенительной системы рекомендуется при заходе на посадку в условиях обледенения уменьшить угол отклонения закрылков, увеличить режим работы двигателей и скорость захода на посадку.

Так же как и для самолётов, основным условием обеспечения безопасности полётов вертолётов в условиях обледенения является своевременное включение противообледенительной системы.

Экипажу вертолётов рекомендуется:

- заблаговременно, ещё на земле, включить противообледенительные системы ПВД (приёмник воздушного давления) и двигателей при температуре воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже независимо от наличия обледенения;
- включить противообледенительную систему винтов и обогрев стёкол кабины экипажа при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже при наличии признаков обледенения.

При появлении признаков обледенения следует немедленно включить противообледенительные устройства и выйти из зоны обледенения без резкого изменения режима полёта. Если же вертолёт внезапно попал в зону обледенения и датчик сигнализатора обледенения не сработал, необходимо выйти из этой зоны, не включая противообледенительную систему.

Учитывая возможности противообледенительной системы, запрещается производить полёты в условиях обледенения при температуре воздуха ниже -10°C вертолётам Ми-6 и Ми-8МТ, вертолётам Ми-8Т – при температуре ниже -12°C , а вертолётам Ми-24 – ниже -20°C . Не рекомендуется производить ночные полёты в условиях обледенения.

Полёты в зонах атмосферной турбулентности

Атмосферной турбулентностью называется хаотическое, неупорядоченное движение объёмов воздуха различных масштабов.

Турбулентность встречается во всей толще тропосферы и в стратосфере. Её развитие зависит от устойчивости воздушной массы, характера метеорологической обстановки и рельефа местности.

Повторяемость турбулентности изменяется от максимума в нижней до минимума в средней тропосфере, а затем вновь возрастает по мере приближения к тропопаузе. В стратосфере повторяемость турбулентности с высотой быстро убывает.

Толщина зон турбулентности чаще всего составляет 400 – 800 м в тропосфере и 200 – 300 м в стратосфере. Горизонтальная протяжённость их колеблется от нескольких десятков до сотен километров. Обычно турбулентные зоны наблюдаются в тех слоях атмосферы, где отмечаются большие вертикальные и горизонтальные градиенты ветра и температуры.

Во время полёта в турбулентной зоне воздушное судно подвергается воздействию вертикальных и горизонтальных движений воздуха. При этом изменяются подъёмная сила и угол атаки, возникают тряска и вибрация, создаются перегрузки (под перегрузкой понимается отношение полной аэродинамической силы ВС к его весу). ВС испытывает неупорядоченные броски вверх и вниз, называемые болтанкой.

Под действием вертикального порыва, направленного вверх, происходит увеличение угла атаки и подъёмной силы, что приводит к подбрасыванию ВС вверх; при действии порыва, направленного вниз, угол атаки (α) и подъёмная сила (Y) уменьшаются, что вызывает бросок ВС вниз. Чем сильнее вертикальный порыв, т.е. чем больше меняется угол атаки, тем больше величина перегрузки.

Вне грозовых облаков вертикальные порывы ветра могут достигать 10 – 12 м/с, вызывая перегрузки ВС до $\pm 1,0 g$. В грозовых облаках наблюдаются порывы до 15 м/с и более, а перегрузки – до $\pm 2,0 g$.

Болтанку вызывают и горизонтальные порывы ветра, изменяющие подъёмную силу и силу лобового сопротивления ВС. Однако эти изменения в 10 – 12 раз меньше, чем при воздействии вертикальных порывов того же значения, поскольку скорость ветра сравнительно мала при сопоставлении со скоростью полёта.

С увеличением скорости полёта перегрузка возрастает, поэтому при попадании ВС в зону интенсивной болтанки рекомендуется уменьшить скорость полёта согласно РЛЭ.

Для слабой болтанки характерны отдельные слабые толчки, связанные с покачиванием ВС и изменением высоты, но не вызывающие затруднений в пилотировании. Установившийся режим полёта ВС сохраняется.

Умеренная болтанка сопровождается большими, частыми кренами, изменением курса и отдельными бросками.

Использование автопилота затруднено из-за больших перегрузок. При больших отрицательных перегрузках ощущается невесомость, а при положительных, наоборот, – сильное прижимание к креслу. Незакреплённые предметы смещаются.

При сильной болтанке наблюдаются резкие броски ВС, сопровождающиеся большими перегрузками, сильно прижимающими к креслу или отрывающими от него. Полёт происходит с большими отклонениями по высоте и курсу. Ухудшается управляемость ВС и при неправильных действиях пилота создаётся режим полёта, опасный для прочности ВС.

Следует заметить, что воздействие болтанки на ВС зависит не только от её интенсивности, но и от аэродинамических характеристик самого ВС. На ВС оказывают влияние лишь вихри, соизмеримые с ним по размеру.

Интенсивная турбулентность может наблюдаться как при полёте в облаках или вблизи облаков, так и при ясном небе. Турбулентность при ясном небе (ТЯН) представляет опасность для полётов вследствие внезапности своего появления. В средней и верхней тропосфере вероятность встречи с ТЯН в полёте составляет примерно 10% общей протяжённости маршрутов, в стратосфере она значительно меньше – около 1%.

Зоны ТЯН могут быть как сплошными, так и в виде отдельных очагов с довольно резкими границами.

Развитие турбулентности в свободной атмосфере тесно связано с процессами синоптического масштаба – высотными ложбинами, гребнями, струйными течениями, областями, где наблюдается сходимоссть или расходимоссть изогипс.

Наибольшая повторяемость ТЯН и максимальные перегрузки наблюдаются в струйных течениях и вблизи тропопаузы. Причём повторяемость турбулентности на циклонической (холодной) стороне струи выше, чем на антициклонической (тёплой). Это объясняется различием в значениях вертикальных и горизонтальных градиентов скорости ветра, которые на холодной стороне струи почти в 1,5 раза больше.

В облаках повторяемость турбулентности значительно выше и болтанка интенсивнее, чем при ясном небе. Это вполне закономерно, так как в образовании облаков существенную роль играют процессы турбулентного обмена и конвекции.

Развитию турбулентности способствует также локальное увеличение вертикальных градиентов температуры, образующееся непосредственно у верхней кромки облаков вследствие охлаждения воздуха в результате испарения облачных капель. В ночное время охлаждение надоблачного слоя воздуха происходит за счёт теплового излучения верхней поверхности облачности.

Самая высокая повторяемость интенсивной турбулентности наблюдается в кучево-дождевых облаках. Наиболее сильная болтанка отмечается в центральной части облаков особенно в период их развития. По

мере удаления от облака скорость вертикальных турбулентных порывов быстро убывает, но и на удалении от него на несколько сотен метров болтанка может быть умеренной, а на расстоянии в несколько десятков метров – даже сильной поэтому входит в мощные кучевые и кучево-дождевые облака, а также пролетать под ними **запрещается**. Рекомендуется обходить кучево-дождевые облака сбоку на расстоянии не менее чем на 10 км или сверху с превышением над верхней границей облаков не менее 500 м.

Под передней частью кучево-дождевого облака иногда образуется фронт порывистости, распространяющийся на расстояние 10 – 12 км, а иногда и на 30 – 35 км от переднего края зоны осадков. В зоне фронта отмечаются шквалистые ветры, очень сильна турбулентность и сдвиги ветра.

При трении воздушного потока о шероховатую земную поверхность возникает так называемая механическая турбулентность. Она распространяется обычно до высоты 1000 – 1500 м, и интенсивность её зависит главным образом от скорости ветра, степени шероховатости земли и устойчивости воздуха. С усилением ветра и увеличением неустойчивости воздушной массы она возрастает.

Существенное влияние на усиление интенсивности турбулентности в пограничном слое атмосферы оказывают городские застройки. Болтанка усиливается как над самим городом, так и над подветренной частью прилегающей к нему местности на расстоянии, равном ширине городской застройки.

Термическая турбулентность является следствием развития атмосферной конвекции, возникающей при сверхadiaбатических вертикальных градиентах температуры воздуха или неравномерного прогрева подстилающей поверхности. Термическая турбулентность развивается лишь при малооблачной погоде, имеет хорошо выраженный суточный ход и в середине дня может распространяться до высот 2000 – 2500 м. Выше уровня восходящих потоков воздуха в этих условиях болтанка не наблюдается.

Большую опасность для ВС представляет орографическая турбулентность. В горных районах в результате деформации воздушных потоков горными системами создаются благоприятные условия для возникновения орографической турбулентности, вызывающей болтанку ВС над гребнями гор и особенно на их подветренной стороне. Степень развития турбулентности зависит от направления ветра по отношению к хребту, распределения его скорости с высотой, температурной стратификации, формы и размеров горного препятствия и других физико-географических особенностей.

При сильном ветре, скорость которого с высотой увеличивается, обычно наблюдается волновая деформация потока. Появляются подветренные волны, при разрушении которых возникает болтанка, связанная с образованием под гребнями волн вихрей. Сильная болтанка может наблюдаться и над волновой зоной.

При наличии сильных ветров, которые на уровне, превышающем высоту хребта в 1,5 – 2 раза, резко уменьшаются с высотой, на подветренной стороне хребта возникает роторное течение. Оно характеризуется образованием системы вихрей, вызывающих интенсивную болтанку. Горизонтальная протяжённость этой зоны в 10 – 15 раз превосходит высоту хребта.

Индикатором деформации воздушных течений на подветренной стороне хребта может служить характерная орографическая облачность. При волновом течении это чечевицеобразные облака, имеющие вид параллельных хребту полос характерной волнистой формы, распространяющиеся на 100 км и более в направлении потока. В области роторного течения образуются облака, напоминающие с воздуха полосы кучевых облаков и называемые роторными. Вблизи этих облаков отмечается сильная болтанка, соизмеримая по своей интенсивности с болтанкой в кучево-дождевых облаках. Выше уровня роторных облаков полёты, как правило, проходят спокойно.

В тех случаях, когда после ослабления ветер с высотой вновь усиливается (роторно-волновая деформация потока), выше уровня роторных облаков также можно встретить болтанку, связанную с подветренными волнами. В горных районах орографическая турбулентность может усиливаться также за счёт термической турбулентности.

Как показывают исследования, толщина зон орографической турбулентности может превышать высоту препятствий в 3 – 4 раза, а горизонтальные размеры турбулентных областей даже за горами высотой 1 – 2 км достигают десятков километров. В целом рельеф местности оказывает существенное влияние на погодные условия и поэтому в каждом конкретном случае необходимо учитывать местные физико-географические особенности района.

Для обеспечения безопасности полётов при подготовке к полёту экипажу рекомендуется знать:

- наличие струйных течений в районе полёта;
- участки маршрута, где по прогнозу ожидается болтанка;
- характерные признаки, по которым в полёте можно заблаговременно определить приближение ВС к зоне болтанке, расположение горных хребтов и возвышенностей на маршруте при полёте на малых и средних высотах;
- характер поведения самолёта и приборов при болтанке и действие его на самолёт при различных скоростях полёта;
- рекомендации по выходу из зон турбулентности.

В случае непредвиденного попадания в зону атмосферной турбулентности экипаж должен руководствоваться следующими основными рекомендациями:

- подтянуть привязные ремни;

- установить скорость, рекомендованную для полётов в условиях турбулентности, и не допускать значительного отклонения от неё;
- избегать резких изменений режима полёта;
- не стремиться парировать небольшие отклонения самолёта от установленного режима полёта;
- изменять курс в момент ослабления болтанки последовательными короткими доворотами с углом крена не более 15 - 20°;
- выдерживать скорость полёта при заходе на посадку на 10 – 15 км/ч больше по сравнению с рекомендуемой в обычных условиях;
- принять меры по выходу из сильной болтанки изменением курса или высоты;
- вблизи практического потолка уменьшить высоту полёта до выхода из зоны болтанки. Об изменении высоты доложить руководителю полётов.

Электризация самолётов

При полёте самолётов в облаках и осадках иногда наблюдается свечение концов крыльев и антенн, на остекление кабины пилота возникают искры, нарушается работа радионавигационных устройств, а в некоторых случаях отмечается поражение самолётов молнией. Все эти явления возникают вследствие электризации самолёта – появления электрического заряда на его поверхности.

Степень интенсивности электризации определяется по её влиянию на работу радиотехнического оборудования. Различают слабую, умеренную и сильную электризацию. Слабая электризация сопровождается шумами и треском при работе в диапазоне УКВ. В паузах между трясками радиосвязь восстанавливается. Отмечается беспорядочное колебание стрелки радиокompаса. При умеренной электризации нарушается устойчивая радиосвязь. Угловые отклонения стрелки радиокompаса достигают 120°. Нарушается работа и других навигационных приборов, что создаёт трудности в пилотировании по приборам.

При сильной электризации полностью нарушаются радиосвязь и работа радиоэлектронного оборудования. Возникает коронирующее свечение (разряды) на заострённых частях самолёта, стёклах кабины и антенных обтекателях.

Степень интенсивности электризации зависит как от свойств среды, в которой летит самолёт, так и от характеристик самолёта и режима его полёта.

Сущность зарядания самолёта в облаках состоит в следующем. Незаряжённая облачная частица на большой скорости сталкивается с поверхности незаряжённого самолёта. От удара частица приобретает

электрический заряд и отбрасывается от самолёта. На поверхности самолёта остаётся такой же по величине, но противоположный по знаку заряд.

Экспериментальным путём была установлена зависимость тока зарядания, текущего на тела, движущееся в потоке капель, от свойств невозмущённого потока – его скорости, водности и среднего радиуса капель. Эта зависимость описана эмпирическим соотношением

$$\dot{I}_3 \approx A\varphi_k \omega / r^2 V^{3,4},$$

где \dot{I}_3 – ток заряда; A – коэффициент, численное значение которого зависит от угла стреловидности, типа профиля крыла и эффективной площади поверхности самолёта; φ_k – коэффициент, зависящий от фазового состояния облачных частиц и материала поверхности; ω – водность облаков и осадков; r – среднее значение радиуса капель; V – скорость самолёта.

Установлено, что самолёт интенсивнее заряжается в кристаллических облаках, чем в водных, причём электризация происходит сильнее при полёте в облаках с более мелкими частицами, чем с крупными при той же водности. С ростом водности облаков точки зарядания возрастают. При электризации особенно сильно заряжаются неметаллические части самолёта и участки поверхности, окрашенные декоративными лаками и эмалью.

Приобретаемый самолётом электрический заряд зависит от токов, заряжающих и разряжающих самолёт. Токи заряда определяются главным образом взаимодействием частиц облаков и осадков с поверхностью обшивки самолёт, а также взаимодействием частиц несгоревшего топлива с материалом выхлопной системы самолёта. При хорошем сгорании топлива возникающие токи малы по сравнению с токами, создаваемыми частицами облаков, и ими можно пренебречь.

Токи разряда возникают за счёт коронного разряда с разрядников и заострённых частей, срыва частиц облаков с самолёта, за счёт проводимости атмосферы и струи горячих выхлопных газов.

Токи проводимости атмосферы и струи горячих газов выхлопа двигателей малы, и их можно не принимать во внимание.

Токи, заряжающие и разряжающие самолёт, возрастают с увеличением скорости полёта. Однако это увеличение неодинаково: токи разряда, обусловленные срывом частиц, пропорциональны квадрату скорости, а токи заряда – третьей степени скорости полёта самолёта. Величина заряда самолёта зависит от соотношения токов, заряжающих и разряжающих его.

В результате взаимодействия электрических полей облачности и самолёта около самолёта создаётся электрическое поле, напряжённость которого зависит от соотношения между знаком заряда самолёта и направлением силовых линий облачного поля. При благоприятных условиях максимальная напряжённость создаётся около выступающих и заострённых частей самолёта.

Электрический заряд самолёта может изменить путь уже возникшей молнии, а также способствовать возникновению электрического разряда в облаке. Напряжённость поля для начала электрического разряда в атмосфере (E_k) должна быть порядка 10^6 В/м, а для поддержания уже начавшегося разряда – не менее 10^5 В/м.

В облаках слоистых форм появление на фоне полей с напряжённостью 10^5 В/м экстремумов поля, близких к E_k , естественным путём маловероятно. Если же в таком облаке появится заряженный самолёт, то он может способствовать созданию зон повышенной напряжённости и вызвать электрический разряд.

В настоящее время природа возникновения электрических разрядов в негрозовых облаках и сам механизм заряжения самолёта изучены ещё не в полной мере. Это является одной из основных причин отсутствия методики диагноза и прогноза поражения самолётов разрядами статистического электричества, основанной на физической модели этого явления.

Поэтому в настоящее время задача ограничивается определением условий, при которых в негрозовых облаках возникают электрические разряды в самолёт.

Оценку условий, при которых возможно поражение электрическим разрядом, рекомендуется производить на основе определения ряда признаков. К их числу относятся следующие:

1. Наличие в районе полётов облачности следующих форм: кучевой, слоисто-кучевой, системы слоисто-дождевой – высокослоистой облачности.

2. На приземной карте погоды одно из следующих синоптических положений:

- прохождение фронтальных разделов (за исключением тёплых фронтов);
- тыл циклона;
- малоградиентное поле пониженного и повышенного давления;
- тёплый сектор циклона.

Контраст температур в зоне холодного фронта у земли не превышает $5^\circ/500$ км. Скорость смещения фронта не более 40 – 50 км/ч.

3. На уровне поверхности 850 мбар: тыл циклона, область пониженного давления, тёплый сектор циклона, ложбина, размытое поле повышенного давления.

4. Наличие осадков.

Вывод о существовании условий, при которых возможно поражение электрическим зарядом в негрозовых облаках, делается в том случае, если все четыре признака имеют место.

Однако для принятия мер безопасности необходимо не только знать о возможности поражения электрическим зарядом, но и иметь данные о пространственном положении зон, где это явление следует ожидать. С этой целью рекомендуется использовать радиолокационные станции.

С помощью МРЛ и бортового РЛ эти зоны распознаются как очаги повышенной яркости на экранах индикаторов (вертикальные столбы на ИДВ, отдельные ячейки или их группы на ИКО), в которых максимальная отражаемость ($I_g Z$) составляет для облачной системы слоисто-дождевая – высокослоистая более 1,0, а для слоисто-кучевой облачности более 0,5.

С помощью аэродромных радиолокационных станций 10-сантиметрового диапазона зоны определяется по наличию засветок средней и сильной интенсивности на индикаторах радиолокаторов, работающих в режиме обнаружения метеоцелей.

Для обеспечения безопасности полётов в условиях интенсивной электризации руководителю полётов и расчётам ПУ рекомендуется:

- осуществлять постоянный радиолокационный контроль за перемещением зон облачности, где отмечается электризация, с целью предотвращения попадания в них ВС;
- не допускать вход самолётов в засветки сильной и средней интенсивности, наблюдающиеся на ИКО РЛС 10-сантиметрового диапазона, работающих в режиме обнаружения метеоцелей;
- быть в постоянной готовности оказать помощь экипажу, попавшему в зону интенсивной электризации, по выходу из неё;
- при обнаружении интенсивной электризации на посадочном курсе экипажа, находящиеся в воздухе, направлять на запасной аэродром.

Лётному составу рекомендуется:

- при изменении метеообстановки перед полётами совместно с синоптиком оценить возможность возникновения в районе полётов зон интенсивной электризации;
- при появлении признаков электризации уменьшить приборную скорость до минимально допустимых значений, доложить диспетчеру УВД и по его команде выйти из зоны электризации, сократить время нахождения самолёта в облаках на эшелонах, лежащих в интервале температур от 0 до -15° С. Снижение или набор высоты в этих условиях следует производить с минимальными вертикальными скоростями.

На самолётах с силовыми установками, расположенными в хвостовой части, режим работы двигателей по тяге необходимо уменьшить до крейсерского.

Инженерно-технический состав должен осуществлять постоянный контроль за состоянием металлизации стыковочных узлов конструкции самолёта и исправностью разрядников статического электричества.

В настоящее время проводятся работы по уменьшению заряжения самолётов. Они ведутся в основном в двух направлениях:

- уменьшение токов заряжения самолёта;
- увеличение токов разряда самолёта.

Токи заряжения могут быть уменьшены главным образом за счёт более эффективных средств разряжения.

Наряду с этим за рубежом ведутся работы по созданию наземных и бортовых устройств дистанционного обнаружения зон возможного электрического молниевых разряда, по контролю за электризацией самолётов.

Влияние сдвига ветра на взлёт и посадку

В последние годы в мировой лётной практике зафиксирован ряд тяжёлых лётных происшествий, решающим фактором в возникновении которых был признан сдвиг ветра. Согласно данным ИКАО, сдвиг ветра явился причиной 78% всех авиационных происшествий во время взлёта и посадки, связанных с метеоусловиями.

Сдвигом ветра называется изменение направления или (и) скорости ветра в пространстве, происходящие на сравнительно небольших расстояниях.

В зависимости от расположения в пространстве двух точек, между которыми определяется сдвиг ветра, различают горизонтальный и вертикальный сдвиги ветра.

Вертикальный сдвиг ветра характеризует изменение ветра с высотой, горизонтальный – в горизонтальном направлении.

Наибольшее влияние сдвиг ветра оказывает на взлёт и посадку воздушных судов. Согласно исследованиям ИКАО влияние вертикального сдвига начинает проявляться при величине его более 5 м/с на 30 м, т. е. при сдвиге ветра, соответствующем градации «сильный». Однако следует иметь в виду, что деление сдвига ветра на градации носит условный характер, так как влияние его зависит от конструктивных и лётно-технических характеристик воздушных судов.

Сущность влияния сдвига ветра заключается в том, что резкое изменение характера движения воздуха вдоль траектории полёта вызывает нарушение равновесия подъёмной силы и веса воздушного судна.

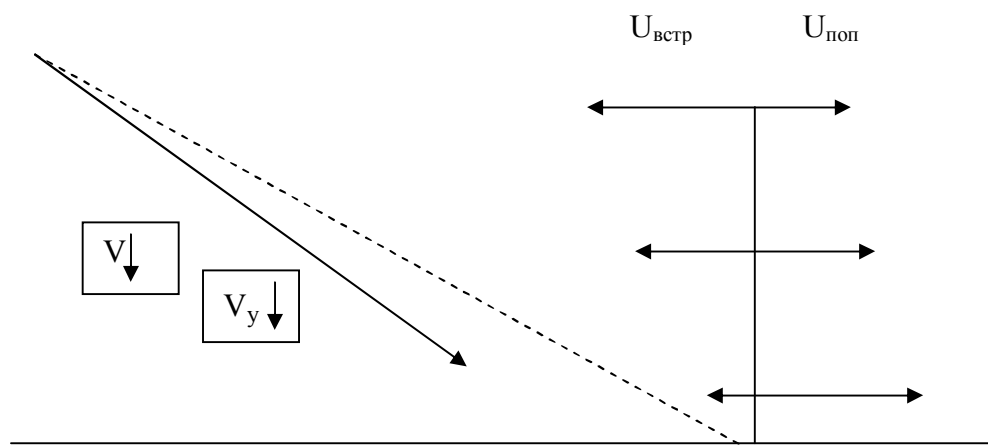
Вследствие того что самолёт обладает определённой инерцией, путевая скорость временно остаётся прежней, а воздушная скорость изменяется в соответствии с изменением воздушного потока. Это приводит к изменению подъёмной силы, которая для самолёта прямо пропорциональна квадрату воздушной скорости. В результате этого происходит изменение положения ВС в вертикальной плоскости, характер которого зависит от вида сдвига ветра.

Воздушные суда, имеющие большие размеры и полётную массу, в большей степени подвержены влиянию сдвига ветра. Это объясняется тем

обстоятельством, что такие ВС обладают большой инерцией, которая препятствует быстрому изменению путевой скорости вслед за изменением воздушной скорости.

Увеличение скорости встречного или ослабление попутного ветра с высотой приводит:

- при посадке (Рис. 1) – к уменьшению приборной скорости, подъёмной силы и потере высоты. При сильном сдвиге



возможно касание земли до ВПП;

- при взлёте (Рис. 2) – к увеличению приборной скорости, росту подъёмной силы, и возникновению тенденции к кабрированию. При очень сильном сдвиге есть опасность выхода на закритические углы атаки и сваливания.

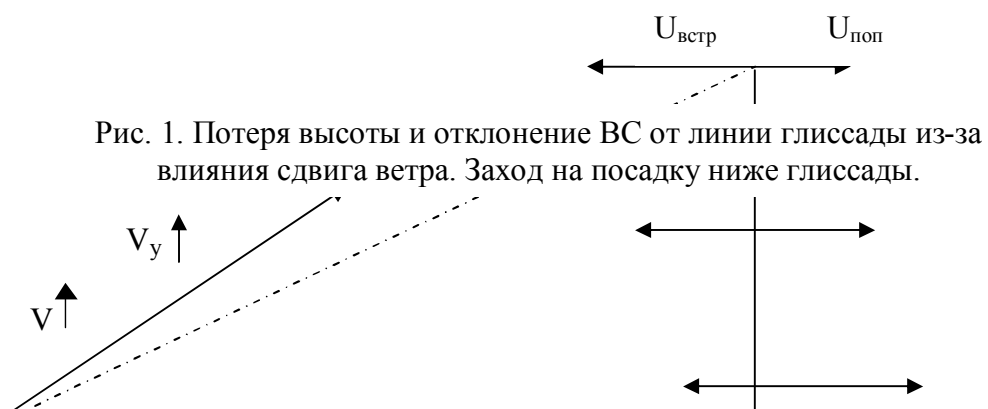


Рис. 1. Потеря высоты и отклонение ВС от линии глиссады из-за влияния сдвига ветра. Заход на посадку ниже глиссады.

Рис. 2. Резкий рост скоростных параметров полёта ВС на этапе взлёта из-за интенсивного усиления скорости встречного составляющего ветра с высотой.

Ослабление скорости встречного или усиление попутного ветра с высотой приводит:

- при посадке (Рис. 3) – к увеличению приборной скорости, росту подъёмной силы и уходу выше глissады;

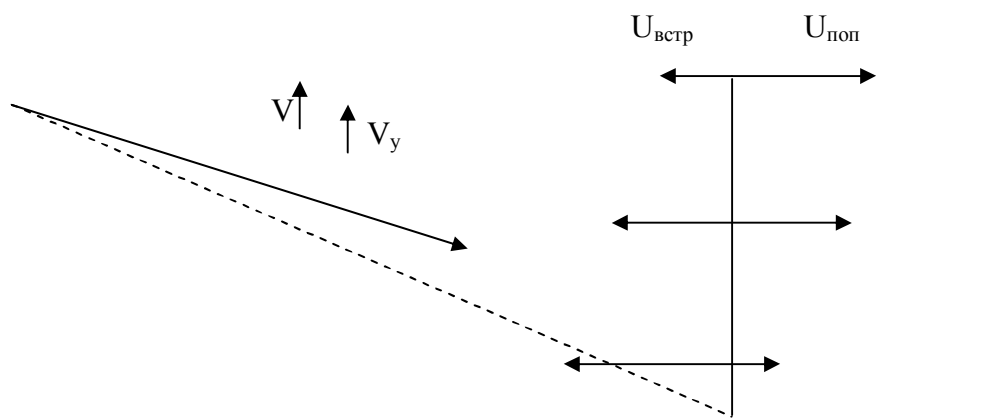


Рис. 3. Влияние сдвига ветра приводящая при посадке уходу ВС выше глissады. Заход на посадку выше глissады.

- при взлёте (Рис. 4) – к уменьшению приборной скорости, падению подъёмной силы и потере высоты. Возрастает опасность столкновения с наземными препятствиями в полосе взлёта.

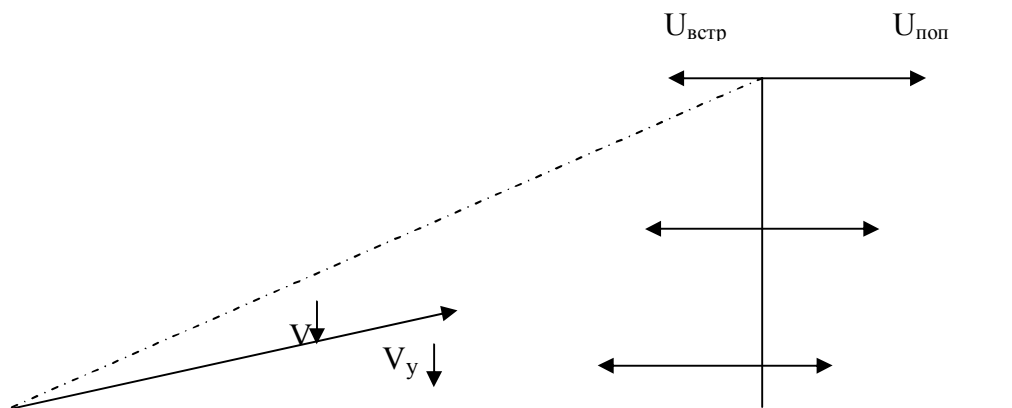


Рис. 4. Резкое падение кинематических параметров набора высоты ВС на этапе взлёта из-за интенсивного ослабления скорости встречного ветра с высотой.

Горизонтальные сдвиги ветра в нижнем слое атмосферы, если они связаны с резким изменением направления ветра, приводят к смещению воздушного судна относительно осевой линии ВПП. В результате этого при взлёте возникает опасность бокового смещения за пределы сектора безопасного набора высоты, а при посадке – опасность касания земли вне ВПП.

Если горизонтальные сдвиги ветра возникнут вдоль траектории горизонтального полёта воздушного судна, то в зависимости от ориентации вектора сдвига ветра относительно направления движения самолёта они окажут на него воздействия, аналогичные рассмотренным ранее для вертикального сдвига ветра. Ослабление встречного или усиление попутного

ветра приведёт к потере высоты (проваливанию), что опасно при полёте на предельно малых высотах.

Усиление встречного или ослабление попутного ветра вызовет увеличение высоты полёта (подбрасывание) самолёта.

Учитывая опасность, которую представляют сильные сдвиги ветра для взлёта и посадки воздушных судов, для оценки ветрового режима в районе аэродрома необходимо привлекать все имеющиеся прямые и косвенные данные о ветре и проводить их комплексный анализ. С этой целью следует использовать информацию, получаемую от датчиков ветра, установленных в зоне аэродрома, на осветительных и радиотелевизионных мачтах и т. д. Важным источником информации о ветре является сообщение любых самолётов, производящих взлёт, посадку или полёт по кругу.

При заходе на посадку о наличии сдвига ветра на глиссаде можно судить по следующим признакам:

- появлению пылевых вихрей между ВПП и ДПРМ;
- большому различию в скорости и направлении ветра на высоте круга и у земли в районе ВПП.

Признаками попадания в зону сдвига ветра при снижении являются резкие изменения угла тангажа и скорости снижения по глиссаде, а также большие отличия между путевой и воздушной скоростью и между потребной и номинальной тягой, а также по показаниям указателя осязаемые изменения угла сноса (УС).

Для того чтобы парировать воздействие сдвига ветра и вернуть воздушное судно на расчётную траекторию, экипажу рекомендуется:

- при ослаблении встречного ветра на взлёте (при наборе высоты) и на посадке (при снижении) заблаговременно увеличить воздушную скорость;
- компенсировать падение приборной скорости под влиянием сдвига ветра увеличением тяги двигателей и угла тангажа. Если, несмотря на принятые меры, падение приборной скорости продолжается, уйти на второй круг;

- в условиях очень сильного сдвига ветра посадку не производит.

Необходимым условием обеспечения безопасности взлёта и посадки при сдвиге ветра является готовность экипажа парировать его влияние. А это во многом определяется своевременным обеспечением экипажей воздушных судов и диспетчерской службы информацией о возможности возникновения сдвига ветра.

Сильные сдвиги ветра, представляющие опасность для полётов воздушных судов, обычно возникают при определённых метеорологических условиях. Наиболее часто они наблюдаются:

- в зонах интенсивной конвекции;
- при прохождении активных атмосферных фронтов;
- в области антициклонов при наличии приземной инверсии температуры;
- в котловинах и горных долинах;
- в зонах влияния бризов и горно-долинной циркуляции.

В зонах интенсивной конвекции при достаточно влажном воздухе, как правило, развиваются мощные кучево-дождевые облака, сопровождающиеся опасными для авиации явлениями: грозами, ливнями, градом, шквалами, турбулентностью и др.

Увеличение турбулентности приводит к выравниванию вертикального профиля ветра в верхней части пограничного слоя атмосферы. При этом в нижней части слоя (0 – 50 м) скорость ветра резко возрастает с высотой, т.е. возникает сильный вертикальный сдвиг ветра (до 10 м/с на 30 м высоты).

Выпадающие из кучево-дождевого (грозового) облака ливневые осадки часто сопровождаются сильным нисходящим потоком холодного воздуха. Этот нисходящий поток, достигая земной поверхности, растекается в горизонтальном направлении с большой скоростью. В результате этого за облаком и сбоку от него на расстоянии 5 – 10 км, а перед облаком – на расстоянии до 10 – 20 км формируются зоны резкого усиления ветра. Особенно большие сдвиги ветра отмечаются в зоне перед грозовым облаком. Её называют зоной шквала или фронта порывистости. В некоторых случаях эта зона может распространяться перед облаком на 30 км (в субтропиках – 40 км), причём существует она не постоянно, а как бы «пульсирует».

При пересечении воздушными судами фронта порывистости были отмечены изменения воздушной скорости на 25 км/ч за 2,5 с и даже на 109 км/ч за несколько секунд (при изменении ветра с встречного 64 км/ч на попутный 45 км/ч). Поэтому очень опасен полёт на малой высоте навстречу движущемуся грозовому облаку (или при пересечении его передней части). Именно в этих условиях наблюдались тяжёлые лётные происшествия, связанные со сдвигом ветра.

Сдвиги ветра наблюдаются при приближении и прохождении атмосферных фронтов. Возникновение сдвигов ветра во фронтальных зонах объясняется различием в ветровом режиме воздушных масс, разделённых

фронтом, сходимостью воздушных потоков в зоне фронта, повтором ветра с высотой и значительным контрастом температур. Чем больше контраст метеорологических величин между воздушными массами и чем выше скорость движения фронта, тем больше вероятность образования сильных сдвигов ветра.

В зоне холодного фронта возникновение сдвига ветра связано с развитием кучево-дождевой облачности и наличием сильного порывистого ветра. При приближении холодного фронта наблюдаются вынужденная динамическая конвекция и возникновение мощных кучево-дождевых облаков (о них мы говорили раньше). Сильные порывистые ветры в зоне фронта дополнительно увеличивают интенсивность сдвигов ветра.

Сильные вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра могут наблюдаться как в момент прохождения фронта, так и в течение последующих трёх часов при скорости его движения не менее 55 км/ч.

В зоне теплого фронта при устойчивой стратификации температуры (особенно в слоях инверсии) часто встречаются сильные вертикальные сдвиги ветра, в то время как горизонтальные сдвиги ветра почти не отмечаются. Вертикальные сдвиги ветра могут наблюдаться не только при прохождении фронта, но и в течении предшествующих шести часов. Они могут наблюдаться как в приземном, так и во всём пограничном слое (до 1500 м).

Как известно, прохождение тёплых фронтов часто сопровождаются ухудшенной видимостью, низкой облачностью и осадками. Возникновение в этих условиях сильного вертикального сдвига ветра является весьма опасным для взлёта и посадки воздушных судов.

Иногда в летнее время в зоне тёплого фронта наблюдается сдвиг ветра связанный с развитием мощных кучевых и кучево-дождевых (грозовых) облаков.

Сдвиги ветра возникают не только при фронтальных, но и при радиационных и орографических инверсиях.

Радиационные инверсии образуются в приземном слое атмосферы в антициклонической погоде в результате сильного ночного выхолаживания. При этом у земной поверхности обычно сохраняется слабый ветер или даже штиль, а над верхней границей инверсионного слоя (~ 100 м) наблюдается устойчивый сильный ветер.

Сильные вертикальные сдвиги ветра в этих случаях наблюдаются ниже уровня максимального ветра, но выше 30 – 40 м.

Сдвиги ветра могут сохраняться в течении ночи. Если после восхода солнца приземная инверсия разрушается, то в результате турбулентного обмена вертикальный профиль ветра выравнивается и сдвиги ветра существенно уменьшаются.

Большие вертикальные сдвиги ветра у земли отмечаются в условиях пересечённой местности, поскольку здесь образования приземной инверсии усиливаются за счёт особенностей рельефа.

В котловинах и горных долинах турбулентный обмен ослаблен вследствие устойчивой стратификации температуры, обусловленной радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности. Кроме того, в долинах и котловинах устойчивость стратификации усиливается вследствие накопления стекающего со склонов холодного воздуха. Вместе с тем на высотах, близких к вершинам возвышенностей, окружающих низину, может наблюдаться сильный градиентный ветер. В этих случаях создаются условия для возникновения вертикальных сдвигов ветра.

Поскольку в условиях пересечённого рельефа местностей аэродромы обычно расположены в низинах, воздушное судно может встретиться с сильным сдвигом ветра при наборе высоты или снижении.

Очень сильные сдвиги ветра отмечаются в долинах. Они возникают в результате взаимодействия нисходящих потоков над подветренными склонами, горно-долинных ветров над горами. Особую опасность для воздушного судна представляют возникающие иногда на подветренных склонах при больших скоростях потока (более 20 м/с) «роторные вихри» с горизонтальной осью радиусом от 30 до 200 м и протяженностью по горизонтали до 500 м.

Сдвиги ветра нередко образуются и в прибрежных районах. В холодное время года тёплый воздух, поступающий со стороны крупных водоёмов или моря, охлаждается снизу от поверхности земли, и образуются инверсия, в результате которой обмен количеством между слоями нарушается. При этом ветер у земли может быть слабым, а на высоте 100 – 200 м достигает значений более 10 м/с. В тёплое время года сдвиги ветра возникают и при морском бризе.

Возможность возникновения таких сдвигов ветра важно учитывать на аэродромах, расположенных вблизи морского побережья.

Правильная оценка метеорологических условий, способствующих возникновению сдвига ветра, позволить во время оповестит экипаж и избежать попадания воздушного судна в зону сильного сдвига ветра.

Условия полётов в устойчивой воздушной массе

Устойчивой называется воздушная масса, в нижних слоях которой вертикальный градиент температуры меньше влажноадиабатического, поэтому конвективные вертикальные движения воздуха не развиваются.

Устойчивая воздушная масса (УВМ), в которой понижение температуры приземного слоя воздуха в данной конкретной обстановке приводит к конденсации водяного пара, в результате чего образуется дымка, туман или низкие слоистые облака, называется влажной. В сухой устойчивой воздушной массе (ВМ) при её охлаждении водяной пар не достигает состояния насыщения.

Основным процессом, приводящим к образованию устойчивых ВМ, является охлаждение тёплого воздуха снизу при его перемещении над холодной подстилающей поверхностью. Поэтому тёплые ВМ являются, как правило, устойчивыми.

В тёплое полугодие для европейского континента тёплыми являются ВМ, сформированные над субтропическими районами Атлантики, бассейнами Средиземного и Чёрного морей, Малой Азией и югом Европы.

Устойчивыми являются ВМ, перемещающиеся с прогретых континентов и южных районов Атлантики на холодную поверхность северных морей, а также с относительно тёплых участков океана на холодные.

В холодное время года устойчивыми становятся ВМ, сместившиеся с открытых районов океанов на выхолаженный материк и покрытые льдом пространства Арктического бассейна, на океанические районы с более низкой температурой поверхности воды.

На картах погоды такие устойчивые воздушные массы наблюдаются в теплых секторах циклонов, на западных и северных перифериях антициклонов, на южных и восточных частях обширных циклонов.

Воздушные массы приобретают устойчивость, если длительное время находятся в районах с низкой температурой подстилающей поверхности. Такие условия создаются в малоподвижных барических системах, располагающихся в летнее время над холодными водами и ледовыми полями Арктического бассейна, а в зимнее время, кроме того, над выхолаженными континентами.

Большое значение для изменения устойчивости ВМ имеют восходящие и нисходящие движения большого масштаба. Так, в антициклонах и барических гребнях, с которыми обычно связаны нисходящие движения, воздушные массы постепенно приобретают устойчивость.

На фотографиях с метеорологических искусственных спутников земли (МИСЗ) облачность устойчивой воздушной массы (УВМ) имеет вид однородного сплошного покрова протяжённостью несколько сот километров, состоящего из слоистообразных облаков и зон туманов. На телевизионных (ТВ) снимках граница этого типа облачности, как и зон туманов, обычно резко выражена, причём она часто повторяет очертания береговых линий, горных хребтов и долин. Тон изображения в зависимости от плотности облаков и высоты солнца изменяется от серо-белого до чисто-белого. Сравнительно большая яркость слоистых облаков делает их трудноотличимыми от плотных высокосолистых и фронтальных облаков. Для распознавания целесообразно совместно использовать изображения в видимом и инфракрасном (ИК) участках спектра.

ИК изображения облачности среднего яруса и плотной фронтальной в связи с низкой температурой на верхней границе имеет большую яркость и сходно с телевизионным изображением такой облачности. Слоистая облачность, имеющая сравнительно высокую температуру на верхней

границе, близкую к температуре подстилающей поверхности, бывает более тёмного тона и плохо различается на фоне подстилающей поверхности.

Поэтому, если на ТВ снимках облачность, имеет однородную структуру и относительно высокую яркость, а на ИК снимках серые тона, близкие к тону подстилающей поверхности её следует относить к слоистой.

При мощных приземных инверсиях верхняя граница слоистой облачности и тумана имеет более высокую температуру, чем окружающая местность. В этом случае зоны облачности и туманов на ИК снимках темнее безоблачного пространства. Их называют иногда чёрными слоистыми облаками и соответственно чёрными туманами.

Районы, занятые сухими устойчивыми ВМ, отличаются на снимках с МИСЗ незначительным количеством облачности или полным её отсутствием. В тёплое полугодие сухие УВМ поступают на Европейский континент из субтропических районов Атлантики. Они имеют высокую температуру воздуха не только в приземном слое, но и высотах поэтому устойчивы. Над континентом устойчивость ВМ увеличивается в результате охлаждения от подстилающей поверхности и образования подвижных гребней и антициклонов. Из-за высоких температур относительная влажность в таких ВМ, несмотря на высокую абсолютную влажность, невелика, а охлаждение над континентом в этот период года недостаточно для превращения их во влажные.

ВМ, приходящие на европейские территории бывшего советского союза (ЕТС) с юга и юго-востока из субтропических пустынь Ближнего Востока и Средней Азии, становятся устойчивыми и в том случае, если в них мало влагосодержание. Обычно это ВМ трансформированные из арктического воздуха.

Над океанами и морями сухие УВМ образуются при перемещении прогретого воздуха с континентов и субтропических районов океанов в относительно прохладные средние широты.

ВМ становятся сухими и устойчивыми в центральных частях усиливающихся антициклонов и гребней за счёт процессов антициклонического сжатия.

В тёплое полугодие сухие устойчивые ВМ характеризуются хорошей видимостью и малооблачной погодой с развитием во второй половине дня плоской кучевой облачностью хорошей погоды. Утром за счет ночного выхолаживания может образовываться тонкая подинверсионная облачность и ухудшаться видимость из-за дымки. В массах тропического происхождения видимость бывает ухудшена частицами пыли, переносимыми воздушными течениями из субтропического пояса пустынь. В нижнем 2 – 3 километровом слое в этих ВМ наблюдается болтанка.

Сухими устойчивыми воздушными массами в холодное полугодие являются массы континентального арктического воздуха, характеризуются они очень низкими температурами в приземном слое хорошо выраженной инверсией. Очень мало в них удельная влажность (3 – 1 г/кг и менее), и в то

же время высока относительная влажность (85 – 90 %). При перемещении на Европейский континент ВМ несколько нагреваются в приземном слое, но первоначальная инверсия в них столь мощна, что устойчивость не нарушается. В то же время с прогревом относительная влажность убывает.

По причине малого влагосодержания туманы для этих масс не типичны. Лишь в утренние часы иногда можно наблюдать небольшие поля слоистой облачности и ухудшение видимости из-за дымки, отдельные радиационные туманы. При низких температурах от работы самолётных двигателей повышаются влажность и загрязнённость воздуха. Это может приводить к образованию туманов в районе ВПП. После выключения двигателей видимость постепенно улучшается.

В такой обстановке целесообразно планировать с таким расчётом, чтобы взлёты и посадки выполнялись самолётами через большие промежутки времени.

Очень низкие температуры, наблюдающиеся в этих ВМ затрудняют подготовку авиационной техники.

Образования влажных устойчивых ВМ в тёплое полугодие происходит над холодными водными пространствами в северных широтах и над районами холодных океанических течений умеренных широт. На континенте такие воздушные массы наблюдаются вблизи побережий.

Погода во влажной устойчивой ВМ в тёплое полугодие характеризуется образованием во второй половине ночи подинверсионной облачности, причём её нижняя граница к утру может понижаться до 100 м, а видимость ухудшаться до 1 км за счёт дымки и мороси. Днём морось прекращается, облачность переходит в слоисто-кучевую, видимость улучшается до 6 – 10 км. К вечеру количество облачности уменьшается.

Над холодной водной поверхностью и на побережье, где суточный ход температуры очень мал, низкая облачность может сохраняться в течении всех суток, а её нижняя граница опускаться до воды.

Влажными устойчивыми становятся ВМ морского происхождения, трансформирующиеся над континентом в континентальные. Дальнейшие понижения температуры воздуха над континентом приводит к установлению преимущественно сплошного покрова слоистых облаков и формированию зон туманов.

С влажными устойчивыми ВМ в холодное время года связаны наиболее сложные условия погоды – сплошная слоистая и разорванно-слоистая облачность высотой 100 – 200 м, иногда 50 – 100 м, морось, снег, густые дымки, туманы при видимости 1000 м и менее, в облаках интенсивное обледенение. Верхняя граница облачности обычно не превышает 1500 м, выше безоблачно или неполная облачность среднего яруса.

Суточный ход температуры воздуха во влажной устойчивой ВМ очень мал или вовсе отсутствует. Улучшение погоды бывает во второй половине дня – прекращаются осадки, рассеиваются туманы видимость улучшается до

4 – 6 км, в облаках появляются разрывы. В очень тёплых и влажных воздушных массах существенного улучшения погоды днём может и не быть.

Напряжённость электрического поля в облачности УВМ обычно невелика. В холодное полугодие при длительных полётах в таких облаках, особенно в районах, где происходит значительная адвекция тепла и мощность облачности составляет несколько километров, может наблюдаться электризация самолётов, приводящая к коронарному свечению, нарушению связи, а в отдельных случаях к электрическим разрядам. При появлении признаков электризации – радишумов, свечения – следует изменить эшелон полёта с таким расчётом, чтобы удалится от изотермы 0° .

Условия полётов в неустойчивой воздушной массе

Воздушными массами (ВМ) называются большие объёмы воздуха, соизмеримые по своим размерам с материками и океанами, в которых метеорологические величины изменяются по горизонтали сравнительно медленно, а изменение их по вертикали имеет характерные закономерности.

Вертикальные размеры воздушных масс составляют, как правило, несколько километров.

В зависимости от очагов формирования ВМ подразделяются на арктический воздух (АВ), умеренный воздух (УВ), тропический воздух (ТВ), экваториальный воздух (ЭВ). Указанные типы воздушных масс могут быть морскими или континентальными.

Такая классификация ВМ носит название – географическая. Другая распространённая классификация – термодинамическая, в соответствии с которой ВМ делятся на устойчивые, неустойчивые, тёплые и холодные.

Неустойчивой называется воздушная масса, в основной толще которой вертикальный градиент температуры больше влажноадиабатического. Указанное соотношение градиентов должно осуществляться в значительной толще воздушной массы. Большие, даже сверхадиабатические градиенты в тонком приземном слое при малых его значениях в вышележащих слоях не указывают на неустойчивость воздушной массы, поскольку возникающие конвективные движения с высотой будут быстро ослабевать.

Неустойчивой воздушной массе (НВМ) присуще быстрое понижение температуры с высотой. В ночные и утренние часы в пограничном слое, как правило, образуется инверсия (или изотермия) температуры, которая с дневным прогревом разрушается.

Неустойчивые воздушные массы образуются в результате нагревания относительно холодного воздуха над более тёплой подстилающей поверхностью. Так, ВМ, формирующиеся в летнее время над арктическим бассейном и Северной Атлантикой, становятся неустойчивыми, перемещаясь на прогретый материк Евразии. На картах погоды эти ВМ типичны для тыловых частей циклонов и передних частей антициклонов.

В холодное полугодие НВМ образуются при перемещении выхолаженного континентального воздуха над тёплой водной поверхностью. В связи с низкими температурами и сухостью континентального воздуха развитие конвективных процессов в этом случае происходит много слабее, чем в летний период.

В тёплое полугодие малоподвижное ВМ приобретают неустойчивость при длительном нахождении над субтропическими и тропическими районами океанов и сильно прогретыми участками континентов. Аналогичным образом происходит образование НВМ над океанами и морями в холодную половину года. Благоприятные условия для этого создаются в малоградиентных барических полях, в заполняющихся циклонах и барических седловинах.

Неустойчивыми бывают массы континентального тропического воздуха, поступающие в летнее время на материк Евразии в теплых секторах южных циклонов. В местах формирования они сухие и устойчивые. При перемещении в более северные широты температура ВМ понижается, в результате чего растёт относительная влажность воздуха и появляется неустойчивость.

На фотографиях с метеорологических искусственных спутников Земли районы с неустойчивыми воздушными массами обнаруживаются по характерным системам конвективных облаков с ячейковой структурой, грядам облаков, некоторым переходным формам от ячеек и грядам. Эти конвективные облака можно разделять районы открытой и закрытой ячейковой структуры. К первому относятся облачные образования безоблачным пространством внутри и облачным кольцом по периферии, состоящим из нескольких десятков облачных элементов, слившихся друг с другом или разделённых небольшим безоблачным пространством. Открытые облачные ячейки образуются при слабых ветрах чаще всего над океанами и сильно увлажнёнными участками суши в ВМ, нагреваемых снизу.

Для НВМ очень характерны и закрытые ячейки – облачные образования, сходные с открытыми ячейками, но с облачностью внутри и безоблачным пространством на периферии. Закрытые ячейки образуются из слоисто-кучевых облаков, иногда в сочетании со слоистыми или кучевыми облаками. Наблюдаются закрытые ячейки как над водной поверхностью, так и над сушей в случае, когда НВМ охлаждается снизу. Горизонтальные размеры ячеек колеблются от 10 до 100 км. Размеры облачных ячеек примерно в 30 раз больше мощности конвективно-неустойчивого слоя. Это соотношение можно использовать для определения вертикальной мощности конвективных облаков при обеспечении полётов над территорией, слабо освещённой метеорологической информацией.

На снимках с МИСЗ хорошо выделяются облачные гряды. Облачная гряда – это система конвективных облаков, которые располагаясь друг возле друга, образуют группировку, напоминающую по внешнему виду цепочку. В том случае, когда просветы между облаками, составляющими одну гряду,

меньше разрешающей способности аппаратуры спутника, гряда представляется на изображении узкой полоской облачности.

Образуются гряды при быстром перемещении масс холодного воздуха над тёплой подстилающей поверхностью и ориентируются по направлению ветра. Длина конвективных гряд меняется от 30 до нескольких сотен километров. Расстояние между грядами примерно в 6 раз больше мощности конвективно-неустойчивого слоя.

Мощные кучевые и кучево-дождевые облака на телевизионных изображениях имеют вид ярко-белых однородных пятен. У кучево-дождевых облаков одна сторона обычно ограничена чётко, а другая размыта «шлейфом» перистой облачности.

Когда конвективные облачные элементы сливаются, изображение приобретает характерную зернистую структуру, которая появляется вследствие неравномерной освещённости верхней границы облаков солнечными лучами.

Более мелкие кучевые облака, такие, как кучевые облака хорошей погоды, зачастую меньше разрешающей способности телевизионных камер. Их присутствие приводит к тому, что земная и водная поверхность на снимках выглядит несколько ярче, чем при безоблачном небе.

На снимках в инфракрасном диапазоне изображение облачности НВМ имеет такие же особенности, что и на телевизионных снимках. Кучевые облака хорошей погоды, так как их температура близка к температуре поверхности земли, различаются плохо.

Образование мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, развитие гроз и шквалов на НВМ зависит от времени года, состояния подстилающей поверхности и прилегающего слоя воздуха, рельефа местности, наличия или отсутствия сплошного слоя облаков, характеристики ветра и т.п. Поэтому условия погоды в НВМ отличаются большим разнообразием.

Для НВМ в тёплый период года характерна суточная изменчивость погодных условий, связанная с ходом температуры подстилающей поверхности.

С началом суточного прогрева, после разрушения приземной инверсии, происходит развитие кучевой облачности. Нижняя граница этой облачности совпадает с уровнем конденсации, толщина её обычно не превышает 1000 м.

При дальнейшем прогреве и достаточном влагосодержании воздуха развиваются мощные кучевые и кучево-дождевые облака, сопровождающиеся ливнями и грозами. Верхняя граница мощных кучевых облаков превышает 6 км, а кучево-дождевых может достигать высоты тропопаузы.

К вечеру облачность начинает растекаться, грозы и ливни прекращаются. Если днём прошли обильные дожди, то в конце ночи за счёт ночного выхолаживания может образоваться радиационный туман, который после восхода солнца быстро рассеивается.

Над морем, где температура воды в течении суток меняется мало, а градиент температуры верхних слоёв воздуха, максимум развития конвективных процессов приходится на ночные часы, а минимум – на дневные. При этом амплитуда их невелика.

При проведении полётов в условиях НВМ в тёплое время года особое внимание должно уделяться контролю за развитием конвективной облачности и гроз. Для этого организуются учащённые радиолокационные наблюдения откуда смещается облачность. Производится тщательный анализ и доведение до руководства полётами данных о фактической погоде на аэродромах и её изменениях, бортовой погоды с маршрутов полётов, штормовых оповещений.

Летом облака НВМ не образуют сплошного облачного покрова, что позволяет обходить мощные кучевые и кучево-дождевые облака на безопасном расстоянии. Наиболее благоприятное время для выполнения полётов – ночь и первая половина дня. При этом необходимо учитывать возможность образования туманов в утренние часы.

Зимой вертикальная мощность облачности кучевых форм в среднем составляет 2 – 3 км и редко достигает 5 км. Нижняя граница облачности обычно не превышает 500 м. Как и в тёплый период, максимальное развитие конвективная облачность получает в дневные часы. Она часто развивается на фоне неполной слоистообразной облачности, которая образуется при растекании в конце дня конвективных облаков и сохраняется в течение ночи.

По мере развития конвективной облачности возникают кратковременные осадки, преимущественно в виде зарядов снега, интенсивность которых в середине дня возрастает. Видимость в осадках нередко составляет менее 1000 м. Выпадение осадков сопровождается, как правило, порывистым ветром, в облаках и под облаками – болтанкой. В прибрежных районах и над водной поверхностью заряды наблюдаются не только днём, но и ночью.

При организации полётов в условиях НВМ в холодное время года следует обращать внимание на возможность интенсивного обледенения и электризацию воздушных судов в облаках и осадках. Сильные снегопады могут выводить из строя ВПП на аэродромах.

Условия полётов в зоне тёплого фронта

Тёплым называется атмосферный фронт, перемещающийся в сторону холодного воздуха. Скорость перемещения тёплой воздушной массы несколько больше, чем отступающей холодной. Вследствие этого тёплый воздух начинает медленно подниматься по клину холодного.

Упорядоченное восходящее движение сопровождается образованием огромного массива надфронтальной облачности слоистых форм: перистых (Ci), высокослоистых (As) и слоисто-дождевых (Ns).

Вертикальная мощность облачной системы в среднем составляет 7 – 8 км, а в отдельных случаях может достигать 10 – 12 км. Особенно велика она на участке до 300 км от линии фронта, где облака нередко достигают тропопаузы. Горизонтальная протяжённость облаков вдоль фронта составляет 1500 – 2500 км.

Предвестниками тёплого фронта являются облака верхнего яруса. Сначала появляются перистые облака в виде полос с когтевидными образованиями в передней части (перистые когтевидные), удалённые от линии фронта на 800 – 1000 км. По мере приближения фронта количество перистых облаков увеличивается, они уплотняются и образуют покров перисто-слоистой (Cs) облачности.

Толщина этих облаков бывает различной, но чаще всего их вертикальная мощность составляет 2 – 3 км. Сквозь них просматриваются крупные наземные объекты и ориентиры. Горизонтальная видимость внутри облачности 98% случаев не превышает 2000 м, а в 23% случаев она менее 500 м.

Кроме того, в облаках верхнего яруса, которые обычно располагаются под тропопаузой в зоне максимальных ветров, отмечается болтанка. При наличии струйного течения она может быть очень интенсивной и угрожать безопасности полёта.

При наблюдении с земли представляется, что перисто-слоистые облака сливаются с высокослоистыми (As). На самом деле в 80% случаев между ними имеется безоблачная прослойка в 1 – 2 км.

Нижняя граница высокослоистых облаков примыкает непосредственно к фронтальной поверхности и по мере приближения фронта снижается до 2 – 3 км, а плотность облачности увеличивается. Верхняя граница располагается на высоте около 6 км.

Видимость в высокослоистых облаках колеблется в зависимости от их плотности от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

Из высокослоистых облаков, как правило, выпадают осадки. Вследствие этого их нижняя граница размыта. Летом осадки, испаряясь, не достигают земли.

Ближе к линии фронта высокослоистые облака постепенно переходят в слоисто-дождевые (Ns), образуя сплошную систему облачности As-Ns с нижней границей 300 – 600 м. Верхняя граница обычно располагается на высотах 5 – 7 км.

С появлением слоисто-дождевых облаков осадки усиливаются, возрастает падение давления, достигая максимального значения в зоне наиболее интенсивных осадков на расстоянии около 200 км от линии фронта. Ветер усиливается, на фронте он достигает максимальной скорости.

В большинстве случаев фронтальная облачная система As-Ns представляет собой сплошной массив. Однако иногда она оказывается расслоённой. Такая облачность характерна для тёплых фронтов в заполняющихся циклонах. По мере удаления от центра циклона количество безоблачных прослоёк увеличивается. Повторяемость числа облачных слоёв в зоне тёплых фронтов характеризуется следующими данными: однослойная – 42,5 %, двухслойная – 37,1 %, трёхслойная – 15,3 %, четырёхслойная – 4,7 %, пять и более слоёв – 0,4 %.

Под фронтальной поверхностью в клине холодного воздуха также происходит образование облаков. Основной причиной возникновения подфронтальной облачности является большое содержание влаги в воздухе за счёт испарения выпадающих осадков.

На некотором удалении от линии фронта подфронтальная облачность представляет собой отдельные группы разорванно-дождевых (F_{rn}b) облаков, располагающихся обычно на различных высотах. По мере приближения фронта эта облачность уплотняется и образует слой сплошных слоистых (St) облаков, сливающихся с расположенными выше слоисто-дождевыми облаками. Нижняя граница подфронтальных облаков обычно располагается на высотах 50 – 150 м.

В ряде случаев перед тёплым фронтом наблюдается зона тумана. Её ширина может достигать 200 км. Туман образуется при условии, если температура выпадающих осадков значительно выше температуры холодного воздуха. Помимо эффекта испарения осадков известную роль в образовании тумана на фронте играют падение давления и горизонтальное перемешивание.

Прохождение тёплого фронта характеризуется резким поворотом ветра вправо и заметным уменьшением его скорости. Падение давления ослабевает или прекращается, а иногда сменяется слабым ростом. Интенсивность осадков уменьшается, зимой снегопад может смениться дождём. Иногда осадки вообще прекращаются. Резко растёт температура воздуха у земли, нижняя граница облаков повышается.

С удалением от центра циклона вдоль линии фронта восходящее движение воздуха постепенно ослабевает, а следовательно, затухает процесс облакообразования. Соответственно уменьшаются ширина зоны осадков и их интенсивность.

Наиболее сложные погодные условия отмечаются на тёплых фронтах в холодный период года. Основная облачная система As-Ns распространяется от линии фронта на расстояние до 500 – 600 км, зона обложных осадков – 400 км. При этом нижняя граница облаков уже на расстоянии около 300 км от линии фронта не превышает 200 – 300 м, а на самом фронте она составляет 50 м – 150 м. Зимой чаще, чем летом, образуются широкие зоны предфронтальных туманов. Нередко туманы возникают за фронтом в тёплой воздушной массе. В облаках наблюдаются интенсивное обледенение и электризация самолётов.

В тёплую половину года погода на тёплом фронте не толь сложна. В облаках As-Ns часто наблюдаются безоблачные прослойки, зона обложных осадков вблизи линии фронта, как правило, не менее 300 – 600 м. В облаках при отрицательных температурах также имеет место обледенение, но его зона значительно меньше, чем в холодное время года.

С апреля по октябрь в 40 % случаев на тёплых фронтах развивается грозовая деятельность, а в июне – июле вероятность гроз и ливней составляет 70 %. При этом повторяемость этих опасных явлений погоды на тёплых фронтах, располагающихся и углубляющихся циклонах и ложбинах, в два раза больше, чем в заполняющихся. Наиболее часты грозы на тёплых фронтах, перемещающихся с юга. На тёплых фронтах, движущихся с запад и северо-запада, они бывают очень редко.

Грозы на тёплом фронте, как правило, развиваются в ночное время, когда в большей степени проявляется неустойчивость тёплой воздушной массы. При этих условиях в системе As-Ns формируются отдельные очаги кучево-дождевых облаков.

В то же время кучево-дождевая облачность на тёплом фронте не является сплошной. Поэтому при необходимости тёплый фронт можно пересечь в местах, где она отсутствует.

Для обеспечения безопасности полёта, связанного с пересечением тёплого фронта необходимо;

- тщательно изучить аэросиноптические материалы и знать фактические и ожидаемые метеорологические условия в его зоне;
- разработать маршрут и профиль полёта так, чтобы свести к минимуму вероятность встречи в полёте с фронтальной кучево-дождевой облачностью, которую невозможно обойти;
- на участке пересечения фронтальной зоны непрерывно контролировать наличие грозных очагов с помощью бортового и наземных радиолокационных средств;
- при встрече на маршруте кучево-дождевой облачности обходить её на безопасном расстоянии.

Пересекать тёплый фронт наиболее целесообразно:

- в безоблачных прослойках;
- выше облаков или на высотах, где располагаются перистые или высокостроистые облака (если позволяет потолок самолёта);
- перпендикулярно к линии фронта на участках, где условия погоды наименее сложные.

Условия полётов в зоне холодных фронтов

Холодным называется атмосферный фронт, перемещающийся в сторону тёплого воздуха. В зависимости от скорости перемещения фронта, характера восходящих движений тёплого воздуха, а также от расположения зон облачности и осадков относительно фронтальной поверхности различают холодные фронты I и II рода. Общим для них является то, что скорость поступательного движения холодного воздуха в приземном слое больше, чем скорость отступающего тёплого воздуха. В результате этого клин холодного воздуха как бы подтекает под тёплую воздушную массу, вытесняя её вверх. При таком движении воздуха фронтальная поверхность располагается за приземной линией фронта.

Облачная система формируется в основном за счёт адиабатического охлаждения тёплого воздуха при его вынужденном подъёме и примыкает непосредственно к поверхности фронта.

Холодным фронтом I рода называется медленно движущийся или замедляющий своё движение фронт. Чаще всего такой фронт располагается в резко выраженной ложбине или размытой области повышенного давления.

В холодную половину года поднимающийся вдоль поверхности фронта тёплый воздух обычно обладает большой устойчивостью. В результате образуется надфронтальная облачность слоистых форм: слоисто-дождевая (Ns), высокослоистая (As). Эти облака формируются позади приземной линии фронта, а вся система облаков подобна системе облаков тёплого фронта и является как бы зеркальным её отображением.

Непосредственно у линии фронта располагаются слоисто-дождевые облака, которые постепенно переходят сначала в плотные, а затем в тонкие высокослоистые. Выше могут быть перисто-слоистые (Cs) и перистые (Ci) облака. Общая ширина облачной системы на холодном фронте I рода в холодную половину года может достигать 400–500 км, а зона зафронтальных обложных осадков составляет около 200 км. В холодном воздухе за счёт испарения выпадающих осадков и турбулентного перемешивания, особенно в переходные сезоны года, образуются разорванно-дождевые (Frhb) облака с нижней границей 100 – 200 м. Иногда они опускаются до земли, образуя узкую зону тумана. Вертикальная мощность облачной системы Ns-As, как правило, не превышает 4 – 5 км.

Условия полётов в надфронтальных слоисто-дождевых облаках достаточно сложны из-за наличия в них при отрицательных температурах умеренного и даже сильного обледенения, а также интенсивной электризации, могущей привести к электрическому разряду в самолёт. Наибольшая повторяемость этого явления отмечается в переходные сезоны года.

В высокослоистых облаках горизонтальная видимость колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен метров, обледенение, болтанка и электризация, как правило, слабые. Поэтому полёт в таких облаках не представляет опасности.

В подфронтальных облаках при отрицательных температурах и в зонах переохлаждённого дождя условия полёта из-за сильного обледенения на малых и предельно малых высотах крайне сложны, а наличие низкой разорванно-дождевой облачности и ухудшенная за счёт осадков видимость зачастую затрудняют полёты.

В тёплое время года, когда неустойчивость тёплого воздуха увеличивается, на фронте кроме упорядоченного подъёма воздуха имеют место благоприятные условия и для конвекции. В этом случае в передней части фронта развиваются мощные кучевые и кучево-дождевые облака. Верхняя граница кучево-дождевых облаков часто достигает тропопаузы. С такой облачностью связаны грозовая деятельность, ливни и шквалистые ветры. Внутри неё наблюдается сильная болтанка, а на высотах при отрицательной температуре – интенсивное обледенение. Конвективная облачность на холодном фронте I рода при подлёте к ней со стороны тёплого воздуха представляется в виде сплошной цепи кучево-дождевых облаков, входить в которые запрещается.

За фронтом кучево-дождевые облака сменяются слоисто-дождевыми, а затем высокосолистыми. Общая ширина облачной системы не превышает 300 км. Зона фронтальных ливневых осадков составляет около 50 км. За линией фронта они имеют обложной характер. В целом зона осадков может достигать 150 км. В холодном воздухе вследствие неустойчивости развиваются облака кучевых форм.

Как правило, кучево-дождевые облака на холодном фронте I рода развиваются в дневное время. Ночью они частично, а иногда полностью разрушаются.

Холодным фронтом II рода называется быстро движущийся или ускоряющий своё движение фронт. Обычно он располагается в слабо выраженной ложбине. Изобары в области такого фронта направлены к нему под углом, близким к прямому, а барические градиенты достаточно велики.

В зоне фронта у земли холодный воздух движется значительно быстрее тёплого. В результате в передней его части возникают мощные восходящие потоки тёплого воздуха, приводящие к образованию хорошо развитых по вертикали мощных кучевых и кучево-дождевых облаков. Ширина зоны этих облаков обычно несколько десятков километров.

Кроме основного массива кучево-дождевых облаков на фронте наблюдаются высококучевые (Ac), перисто-слоистые (Cs) и перисто-кучевые (Cc) облака. Предвестниками холодного фронта II рода часто являются высококучевые чечевицеобразные облака, которые располагаются на удалении около 200 км от линии фронта.

В холодную половину года, когда земная поверхность выхожена и воздушные массы, перемещающиеся над ней, приобретают устойчивость, холодные фронты II рода менее интенсивны, чем летом. Основу облачной системы фронта составляют слоисто-кучевые (Sc) облака, вертикальная мощность которых 2 – 3 км. Слой этой облачности сливается со слоисто-

дождевыми (Ns) облаками, которые переходят в высокостроистые (As) и высококучевые (Ac) облака. Из этой облачной системы выпадает обложной снег, ширина зоны которого может достигать 200 км. Непосредственно на фронте интенсивность снегопада несколько увеличивается, ветер усиливается и становится порывистым. Сразу за фронтом нижняя граница облаков резко повышается, осадки прекращаются, давление быстро растёт.

За счёт нисходящих движений воздуха за фронтом облачность начинает интенсивно размываться, её количество быстро уменьшается иногда до полного прояснения.

В случае, когда холодный воздух зимой оказывается неустойчивым, на фронте, как и летом, развивается кучево-дождевая облачность с верхней границей до 6 км. С этой облачностью связаны сильные снегопады и метели, ухудшающие видимость до 1000 м и менее, в облаках – сильная болтанка. Ширина зоны указанных опасных явлений погоды около 50 км. Обычно за основным фронтом формируются вторичные холодные фронты, прохождение которых обуславливает сильные снегопады ливневого характера, порывистый ветер. В этом случае наблюдается неустойчивый характер погоды, когда непродолжительные прояснения чередуются с кратковременными снегопадами, метелями. Полёты в таких условиях крайне затруднены и возможны только при тщательном и непрерывном радиолокационном контроле метеорологической обстановки.

В тёплую половину года при наличии влажной неустойчивой воздушной массы вершины фронтальных кучево-дождевых облаков достигают тропопаузы, а иногда пробивают её и проникают в нижнюю стратосферу. Впереди такого фронта под Сб образуется вал низких разорванных облаков, вращающихся вокруг горизонтальной оси, – так называемый «шкваловый ворот». Прохождение фронта сопровождается сильными грозами, ливнями, иногда выпадением града, шквалистыми ветрами, пыльными бурями. В облаках сильная болтанка и обледенение. Температура воздуха у земли резко падает, небольшое предфронтальное падение атмосферного давления сменяется его быстрым ростом.

За фронтом, уже на высотах 1500 – 2000 м, тёплый воздух имеет нисходящее движение. Опускаясь вниз, он адиабатически нагревается, что в свою очередь приводит к разрушению облачности, сформированной в этой воздушной массе. Именно этим объясняется резкое повышение нижней границы облаков за фронтом, уменьшение их количества вплоть до малооблачно. Малооблачная погода удерживается в течение нескольких часов. Однако в дальнейшем за основным фронтом за счёт поступления новых порций холодного воздуха образуются вторичные холодные фронты, на которых вновь развивается кучево-дождевая облачность, иногда грозы, сопровождающиеся ливнями и шквалами. Следует, однако, заметить, что опасные явления на вторичных фронтах, как правило, менее интенсивны, чем на основном.

Условия полётов в зоне фронтов окклюзии

В системе одного и того же циклона холодный фронт перемещается несколько быстрее тёплого. С течением времени происходит сближение, а затем и слияние холодного и тёплого фронтов, начинающиеся от центра циклона. При этом воздушная масса, занимавшая тёплый сектор циклона, вытесняется вверх. Такой процесс называется окклюдированием циклона, а фронт, образовавшийся в результате слияния холодного и тёплого фронтов, называется фронтом окклюзии (ФО).

В случае равенства температур холодного воздуха тыловой и передней частей циклона ФО носит название нейтрального. У земли фронтальный раздел в этом случае отсутствует. Если холодная воздушная масса тыловой части циклона оказывается теплее, чем холодная масса перед тёплым фронтом, то фронт окклюзии называется тёплым, в противном случае – холодным.

Наиболее сложные условия погоды на ФО можно встретить в начальный момент смыкания тёплого и холодного фронтов. Облачная система ФО в этот период вертикальной и горизонтальной протяжённости мало отличается от облачных систем основных фронтов. В дальнейшем по мере вытеснения тёплого воздуха вверх фронт окклюзии постепенно размывается, облачная система распадается, в ней появляются прослойки, осадки ослабевают, а затем, когда самая нижняя часть тёплой фронтальной поверхности достигнет высоты примерно 3 км, прекращаются.

Облачные системы тёплого и холодного фронтов окклюзии более размыты, имеют больше просветов и меньшую вертикальную протяжённость, чем в случае основных фронтов. Осадки могут выпадать по обе стороны от линии фронта у поверхности земли.

Горизонтальная протяжённость ФО близка к протяжённости вторичных фронтов, т.е. не выходит за пределы одного циклона. Вместе с тем в отдельных случаях протяжённость фронтов окклюзии могут составлять несколько тысяч километров.

Тёплые фронты окклюзии (ТФО) над Азербайджаном чаще наблюдаются в осенне-зимний период, когда зафронтальный воздух, поступающий с Атлантики, теплее предфронтального континентального воздуха.

В случае тёплого фронта окклюзии тыловой холодный воздух, догнав клин более холодного воздуха передней части циклона, надвигается на него. Образуется верхний ХФ и нижний ТФ. Прохождение такого ФО создает потепление у поверхности земли, чем и определяется название «тёплый фронт окклюзии».

На ТФО имеются три облачных системы – облачность прежнего ТФ, прежнего ХФ и вновь возникшего нижнего ТФ. Передняя часть облачной

системы имеет преимущественно облака ТФ (перистые, перисто-слоистые, слоисто-дождевые), центральная и тыловая части – облака ХФ (кучево-дождевые, слоисто-дождевые, высокослоистые). По мере поднятия фронтальной поверхности система облаков верхнего фронта постепенно размывается. На нижнем ТФ наблюдаются слоистые и слоисто-кучевые облака.

Зона обложных осадков прежнего теплого фронта располагается перед верхним холодным фронтом. Вдоль верхнего ХФ при наличии кучево-дождевых облаков наблюдаются ливневые осадки. Между верхним ХФ и нижним ТФ осадки выпадают в виде мороси.

В поле барических тенденций характерной особенностью ТФО является оторванность зоны максимального падения давления от приземной линии фронта. По мере окклюдирования и заполнения циклона зона максимального падения давления перемещается от центра циклона к точке окклюзии. Прохождение приземного фронта даёт изменение температуры и значительное вращение ветра вправо, так как фронты окклюзии связаны с хорошо выраженной ложбиной.

Холодные фронты окклюзии (ХФО) образуются в тех случаях, когда воздух перед тёплым фронтом теплее, чем за холодным. В Европе ХФО наблюдаются чаще в тёплое полугодие, когда за ХФ поступает воздух с Атлантики, более холодный, чем континентальный воздух перед ТФ. Предфронтальный холодный воздух над материком прогревается настолько, что через какое то время почти не отличается по температуре от воздуха тёплого сектора.

При образовании ХФО тыловой холодный клин воздуха вторгается под передний, менее холодный воздух, приподнимая его. Нижний фронт будет иметь характер холодного, а верхний – тёплого, так как линия верхнего фронта в данном случае является нижней границей прежнего ТФ.

Система облаков ХФО отличается от облачной системы ТФО в основном тем, что облачность холодного фронта в этом случае выражена гораздо отчётливей.

По мере окклюдирования облачность верхнего тёплого фронта и кучево-дождевая облачность прежнего ХФ постепенно размываются. У нижнего ХФ образуется новая облачная система холодного фронта. Для её полного развития необходимо, чтобы процесс вытеснения тёплого воздуха зашёл достаточно далеко, иначе поверхность верхнего тёплого фронта будет препятствовать развитию кучево-дождевых облаков.

В отличие от ТФО переход от обложных осадков ТФ к ливневым осадкам ХФ происходит вдоль нижнего фронта. С такими фронтами связаны только обложные осадки.

На снимках с МИСЗ облачность, связанная с фронтами окклюзии, представляет плотную и яркую полосу шириной 300 – 500 км. Она обычно имеет форму спирали, фокус которой находится в непосредственной близости от центра циклонической циркуляции. Внутренняя граница

облачных спиралей бывает хорошо выраженной, а внешняя (передняя) – размытый и неровной. В системе окклюдированного циклона облачная полоса ФО зачастую изолирована от облачности вторичных фронтов безоблачной или малооблачной зоной шириной 200 – 300 км.

Изображение облачности ФО в видимом и инфракрасном диапазонах бывает очень сходным. Разница только в том, что на инфракрасных снимках яркость облаков уменьшается по направлению к фокусу облачной спирали, где облака ниже, а тыловая часть облачной спирали по той же причине выглядит темнее, чем на снимках в видимом диапазоне. Приземная линия ФО проходит вблизи тыловой границы полосы, если она очерчена чётко, смещена к середине, если она размыта. Точка окклюзии находится около выступа, оставшегося от облаков ТФ на правой стороне облачной спирали. Над фронтальной облачностью в районе точки окклюзии обычно располагается массив перистых облаков.

Отличительными чертами облачной системы ТФО на снимках с МИСЗ являются:

- бесструктурная поверхность, характерная для слоистых облаков;
- размытый передний край с выбросами перистой облачности;
- четко ограниченный тыл облачной полосы;
- отсутствие разрывов.

Ширина облачных полос обычно значительная (до 500 км).

Для облачности ХФО характерна зернистая структура поверхности, типичная для кучевообразных форм. В массиве облаков, как правило, имеются разрывы, количество перистой облачности незначительно. Ширина облачных полос ХФО обычно меньше, чем у ТФО (около 300 км), а тыловая граница не имеет столь чётких очертаний.

Полёт в зоне ФО в холодную половину года осложняется низкой облачностью, интенсивными осадками, ограниченной видимостью, наличием сильного обледенения, электризация летательных аппаратов. Ширина зоны осадков может достигать 300 – 400 км. За счёт испарения осадков образуются разорванно-дождевые облака высотой 50-150 м, иногда облачность опускается до земли. При наличии влажного неустойчивого воздуха в зоне фронта развиваются кучево-дождевые облака, выпадают ливневые осадки, в облаках и под ними наблюдается сильная болтанка. Кучево-дождевая облачность в это время года может наблюдаться на фронтах окклюзии в районах, не слишком удалённых от моря.

В тёплую половину года фронтам окклюзии свойственны грозы, сильная турбулентность и обледенение. В приземном слое нередко образуется низкая облачность, а в ночные часы при разрывах облачности – туманы. Верхняя граница кучево-дождевых облаков достигает 8 – 10 км, а в отдельных случаях и тропопаузы. Полёты в зоне фронтов окклюзии в это время года осложняются тем, что кучево-дождевые и мощные кучевые

облака маскируются слоистообразными облаками, что создаёт опасность непреднамеренного входа в зоны грозовой деятельности.

Видимость в облаках ФО колеблется от значений 500 – 2000 м в перистой облачности до нескольких десятков метров и даже метров в плотных облаках кучевых форм.

Литература

1. Аралов Г.Д., Макшанцев Б.Б. Достигнутый уровень и некоторые методы повышения безопасности полётов зарубежом. – итоги науки и техники. Воздушный транспорт, 1984.
2. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология – Ленинград; Гидрометеиздат 1981.

3. Балбуцкий И.М., Брылёв Г.Б., Куликова Г.И. Зависимость высот верхних границ радиоэхо конвективных и слоистообразных облаков от высоты уровня нулевой изотермы. Радиолокационная метеорология. – Л., Гидрометеиздат, 1988.
4. Гусейнов Н.Ш. Диспетчеру управления воздушным движением и лётчику о метеорологии – Баку; Ширваннешр, 1998.
5. Руководство по лётной эксплуатации (РЛЭ) Як40.
6. Справочник Воздушная Навигация – Москва «Транспорт» 1988 / А.М. Белкин, Н.Ф. Миронов, Ю.И. Рублёв, Ю.Н. Сарайский.
7. Справочник пилота и штурмана гражданской авиации – Москва; «Транспорт», 1988.