

О. Г. Богаткин  
В. Ф. Говердовский  
В. Д. Еникеева

# ПРАКТИКУМ ПО АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Допущено Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР в качестве  
учебного пособия для студентов вузов,  
обучающихся по специальности «Метеорология»



Ленинград  
Гидрометеоиздат  
1987

# 1. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Физические аспекты влияния воздушной среды на полеты летательного аппарата базируются на основных законах аэродинамики. Знание этих законов позволяет авиационному метеорологу определить зависимость летно-технических характеристик воздушных судов от условий погоды и обеспечить в метеорологическом отношении безопасность, регулярность и экономичность полетов.

Состояние атмосферы описывается такими основными параметрами, как давление, температура, плотность, вязкость и сжимаемость. Эти параметры используются для оценки влияния атмосферы на летно-технические данные самолетов и вертолетов.

## Основные понятия аэродинамики

**Аэродинамические характеристики.** Для полета самолета или вертолета необходима подъемная сила, создаваемая крылом или лопастями несущего винта. Рассмотрим обтекание крыла самолета (лопасти несущего винта вертолета) потоком воздуха (рис. 1). Поток воздуха, набегающий на крыло, по мере приближения к крылу начинает деформироваться. Струйки воздуха над крылом сжимаются, под крылом несколько расширяются, что свидетельствует о разных скоростях обтекания. Объясняется это тем, что частицы воздуха, обтекающие крыло сверху, согласно уравнению неразрывности, за одно и то же время пробегают более длинный путь, чем частицы, обтекающие крыло снизу. В соответствии с частным случаем закона сохранения энергии (законом Бернулли) над крылом, где скорость потока больше, давление меньше, а под крылом, где скорость потока меньше, давление больше. На рис. 1 области повышенного давления обозначены знаком «плюс», а области пониженного давления — знаком «минус». В результате разности давления возникает полная аэродинамическая сила  $R_a$ , точка приложения которой называется центром давления (цд).

Полную аэродинамическую силу в общем случае можно разложить на три составляющие (см. рис. 1): подъемную силу крыла  $Y$ , силу лобового сопротивления  $X$  и боковую силу  $Z$ . Боковая сила будет возникать только при несимметричном расположении крыла (лопасти несущего винта) относительно вертикальной плоскости.

Экспериментально установлено, что аэродинамические силы можно выразить следующими соотношениями:

$$R_a = c_R \frac{\rho V^2}{2} S_k, \quad Y = c_y \frac{\rho V^2}{2} S_k,$$

$$X = c_x \frac{\rho V^2}{2} S_k, \quad Z = c_z \frac{\rho V^2}{2} S_k. \quad (1)$$

Здесь  $c_R$ ,  $c_y$ ,  $c_x$  и  $c_z$  — соответственно коэффициенты полной аэродинамической силы, подъемной силы, лобового сопротивле-

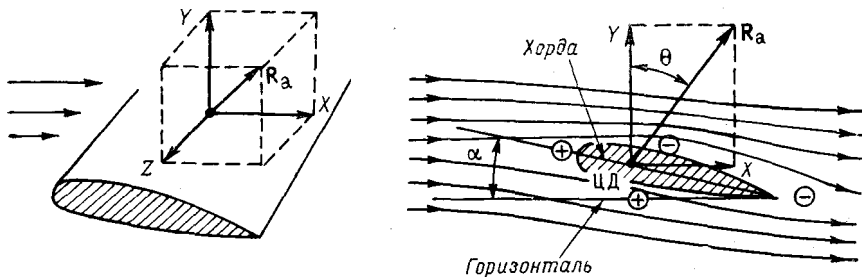


Рис. 1. Схема действия аэродинамических сил на крыло самолета (лопасть несущего винта вертолета).

ния и боковой силы;  $\rho$  — плотность воздуха;  $V$  — скорость движения самолета или воздуха;  $S_k$  — площадь крыла. Аэродинамические коэффициенты — безразмерные величины и определяются при продувке летательного аппарата в аэродинамических трубах. Они зависят от многих факторов, главными из которых являются форма (профиль) крыла и положение крыла в потоке воздуха. Крыло (лопасть несущего винта) профилируется таким образом, чтобы получить максимальную подъемную силу при минимальном лобовом сопротивлении.

Поскольку крыло крепится к фюзеляжу самолета жестко, угол установки крыла, т. е. угол между его хордой и осью фюзеляжа, остается постоянным, а положение крыла в воздухе определяется углом атаки  $\alpha$  (углом между направлением набегающего воздушного потока и хордой крыла). Угол атаки в полете можно изменять при помощи руля высоты.

При увеличении угла атаки  $\alpha$  коэффициент подъемной силы  $c_y$  возрастает. Причем увеличение  $c_y$  происходит до определенного значения  $\alpha$ , выше которого отмечается резкое падение коэффициента  $c_y$  (рис. 2). Угол атаки, при котором коэффициент  $c_y$  достигает максимального значения, называется критическим ( $\alpha_{кр}$ ). С изменением угла атаки изменяется также и коэффициент лобового сопротивления  $c_x$ .

Большое практическое значение имеет универсальная зависимость коэффициентов  $c_y$  и  $c_x$  от угла атаки  $\alpha$ , которая получила

название поляры (рис. 2). Она строится на основании зависимостей

$$c_y = f(\alpha), \quad c_x = f(\alpha).$$

**Аэродинамическое качество.** Одной из основных характеристик крыла (лопасти несущего винта) является аэродинамическое качество  $K$ . Этот параметр выражается отношением

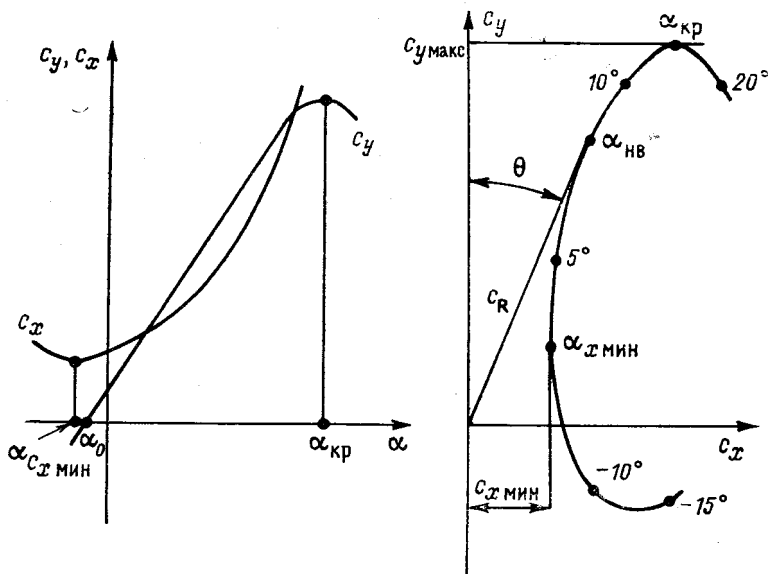


Рис. 2. Зависимость аэродинамических коэффициентов от угла атаки  $\alpha$ .

подъемной силы к лобовому сопротивлению, или отношением коэффициента подъемной силы к коэффициенту лобового сопротивления:

$$K = \frac{Y}{X} = \frac{c_y}{c_x}. \quad (2)$$

Аэродинамическое качество зависит от направления силы  $R_a$ , характеризуемого углом  $\theta$  (см. рис. 1 и 2), составленным перпендикуляром к направлению воздушного потока и вектором полной аэродинамической силы:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{X}{Y} = \frac{1}{K}. \quad (3)$$

Для определения летно-технических характеристик самолета необходимо знать подъемную силу и лобовое сопротивление.

Подъемная сила самолета создается главным образом крылом самолета. Фюзеляж, горизонтальное оперение и другие более мелкие детали самолета не оказывают существенного влияния на подъемную силу. Таким образом, полагается, что

$$Y_{см} = Y_{крл} \quad (4)$$

Сумма сил лобового сопротивления несущих частей самолета, не создающих подъемной силы, называется вредным сопротивлением и обозначается  $X_{вр}$ . Следовательно,

$$X_{см} = X_{крл} + X_{вр} \quad (5)$$

Тогда аэродинамическое качество самолета будет равно

$$K_{см} = \frac{Y_{см}}{X_{см}} = \frac{c_{y\text{крл}}}{c_{x\text{крл}} + c_{x\text{вр}}} \quad (6)$$

Эта величина вследствие значительного влияния вредного сопротивления всегда меньше, чем аэродинамическое качество крыла.

**Аэродинамические характеристики вертолетов.** Вертолет, так же как и самолет, является летательным аппаратом аэродинамического принципа действия. Подъемная сила и сила тяги вертолета, необходимые для его поступательного движения, создаются несущим винтом (одним или несколькими). В этом состоит отличие вертолета от самолета, у которого подъемная сила создается неподвижной несущей поверхностью — крылом, а сила тяги — воздушным винтом или реактивным двигателем.

Особенность несущего винта вертолета заключается в том, что подъемная сила и сила тяги создаются им непосредственно на стоянке до начала поступательного движения вертолета. Другая отличительная особенность заключается в том, что лопасти винта при поступательном движении обтекаются встречным потоком воздуха неодинаково как по длине, так и по азимутальному положению.

Лопасти несущего винта вертолета можно рассматривать как крыло самолета, имеющее сложное движение с вращательной, поступательной и колебательной составляющими. Различают следующие режимы работы несущего винта: режим осевого обтекания, косоуго обтекания, бокового обтекания, самовращения, вихревого кольца. Основными являются режимы осевого и косоуго обтекания, остальные — частные случаи основных режимов.

Режим работы несущего винта при осевом обтекании возникает при вертикальном подъеме вертолета, висении и вертикальном снижении. Силу тяги несущего винта  $P$  при работе на месте можно рассчитать по следующей формуле:

$$P = c_p F_{ом} \frac{\rho (\omega r)^2}{2}, \quad (7)$$

где  $c_p$  — коэффициент тяги несущего винта, который определяется экспериментально так же, как и коэффициенты  $c_y$  и  $c_x$  для крыла

самолета ( $c_p$  — величина безразмерная, для конкретного винта зависит в основном от общего шага винта);  $F_{\text{ом}}$  — площадь, ометаемая винтом;  $\rho$  — плотность воздуха;  $\omega$  — угловая скорость вращения;  $r$  — радиус лопасти.

При поступательном движении вертолета несущий винт работает в условиях косо́го обтекания. Сила тяги, развиваемая несущим винтом при косо́м обтекании, рассчитывается по соотношению

$$P = 2\rho F_{\text{ом}} V_1 \bar{V}, \quad (8)$$

где  $V_1$  — средняя индуктивная скорость подсосывания воздуха винтом;  $\bar{V}$  — результирующая скорость воздушного потока у несущего винта.

Вращение несущего винта создает реактивный момент, который стремится повернуть фюзеляж вертолета в сторону, противоположную вращению несущего винта. На многовинтовых вертолетах несущие винты вращаются в разные стороны, поэтому их реактивные моменты уравниваются. У одновинтового вертолета реактивный момент уравнивается силой тяги хвостового (рулевого) винта.

Аэродинамическое качество вертолетов (отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению) значительно ниже, чем у самолетов. Это обусловлено разницей конструкции самолетов и вертолетов.

### Полет самолета и вертолета

Полет воздушного судна — это управляемое его движение в воздухе после взлета до посадки, характеризующееся траекторией, скоростью, высотой и ускорением. Существует несколько режимов полета. Горизонтальный полет — движение самолета или вертолета относительно воздуха по прямолинейной траектории в горизонтальной плоскости.

В горизонтальном полете на самолет действует сила  $G$  (вес самолета), приложенная в центре тяжести, подъемная сила  $Y$  и сила лобового сопротивления  $X$ , приложенные в центре давления, а также сила тяги  $P$ , направленная по продольной оси двигателя (рис. 3). Для удобства будем считать, что все силы приложены в центре тяжести. Примем это условие для всех рассматриваемых режимов полета. Тогда условия полета можно выразить следующими соотношениями:

при полете самолета на постоянной высоте с равномерной скоростью

$$Y = G, \quad P = X; \quad (9)$$

при установившемся горизонтальном полете вертолета (см. рис. 3)

$$P = X, \quad Y = G, \quad M_p = P_{x.v} l_{x.v}, \quad (10)$$

где  $P_{x.v}$  — сила тяги хвостового винта;  $l_{x.v}$  — плечо действия силы тяги хвостового винта;  $M_p$  — реактивный момент вращения несущего винта.

Потребная скорость  $V_{г.п.}$ , необходимая для выполнения горизонтального полета, определяется по формуле

$$V_{г.п.} = \sqrt{\frac{2G}{c_y \rho S_k}}. \quad (11)$$

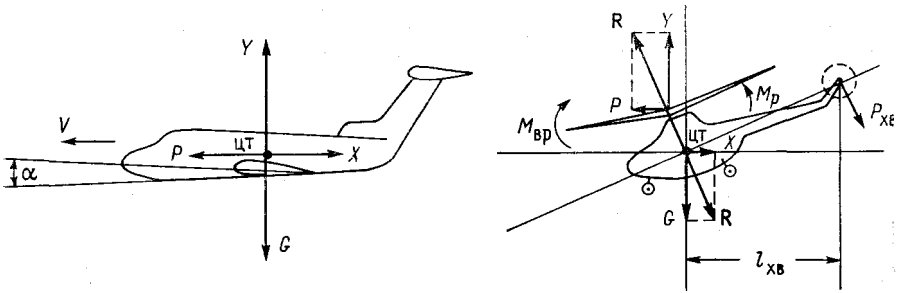


Рис. 3. Схема сил, действующих на самолет и вертолет в горизонтальном полете.

Минимальная скорость полета на заданной высоте, т. е. наименьшая скорость, которая позволяет совершать горизонтальный полет, равна

$$V_{мин} = \sqrt{\frac{2G}{c_{y \max} \rho S_k}}. \quad (12)$$

Практическая минимальная скорость полета несколько больше, чем теоретическая:

$$V_{мин. пр} \approx 1,3V_{мин}, \quad (13)$$

так как на критических углах атаки ( $\alpha = \alpha_{кр}$ ), при которых  $c_y = c_{y \max}$ , не летают. Полет должен выполняться на углах атаки  $\alpha < \alpha_{кр}$ .

Потребная сила тяги  $P_{г.п.}$ , необходимая для горизонтального полета, выражается через отношения

$$\frac{P}{G} = \frac{X}{Y} = \frac{1}{Y/X} = \frac{1}{K}, \quad (14)$$

$$P_{г.п.} = \frac{G}{K}. \quad (15)$$

При расчетах летно-технических характеристик летательного аппарата удобно пользоваться графическими зависимостями силы

тяги от скорости и высоты полета, которые получили название кривых Н. Е. Жуковского (рис. 4).

Летные данные самолетов и вертолетов рассчитываются при одновременном сопоставлении кривых потребной  $P_{г.п} = f(V)$  и располагаемой сил тяги  $P_{рсп} \approx f(V, H)$ . Последняя представляет собой зависимость силы тяги двигателя на максимальном режиме от скорости полета  $V$  и высоты  $H$ .

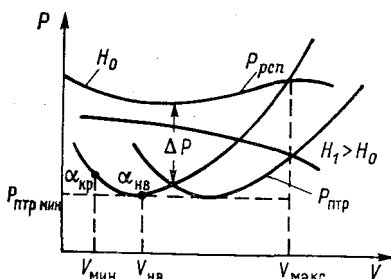


Рис. 4. Зависимость потребной и располагаемой сил тяги от скорости и высоты полета.

С увеличением высоты полета скорость горизонтального полета увеличивается, а потребная сила тяги остается постоянной. Избыток тяги  $\Delta P$  — это разность располагаемой и потребной сил тяги:

$$\Delta P = P_{рсп} - P_{г.п} \quad (16)$$

С увеличением высоты полета скорость горизонтального полета увеличивается, а потребная сила тяги остается постоянной:

$$V_{г.п H_1} = V_{г.п H_0} \sqrt{\frac{\rho_{H_0}}{\rho_{H_1}}}, \quad H_1 > H_0, \quad (17)$$

$$P_{г.п H_1} = P_{г.п H_0} = \text{const.} \quad (18)$$

Набор высоты — это прямолинейное движение летательного аппарата вверх по траектории, наклонной к горизонту. Если при этом скорость сохраняется постоянной, то набор высоты считается установившимся. Схема сил, действующих на самолет при наборе высоты с углом наклона траектории к горизонту  $\theta$  (рис. 5), позволяет определить:

1) условия установившегося подъема

$$P = X + G_2 = X + G \sin \theta,$$

$$Y = G_1 = G \cos \theta; \quad (19)$$

2) потребную скорость  $V_{наб}$  этого режима полета

$$V_{наб} = \sqrt{\frac{2G \cos \theta}{c_y \rho S_k}} = V_{г.п} \sqrt{\cos \theta}. \quad (20)$$

При наборе высоты сила тяги затрачивается на преодоление лобового сопротивления  $X$  и составляющей силы тяжести  $G_2$ , т. е. для набора высоты требуется большая сила тяги, чем для



горизонтального полета при том же угле атаки. Избыток тяги, необходимый для набора высоты, равен

$$\Delta P = P_{\text{расп}} - X = G \sin \theta, \quad (21)$$

а вертикальная скорость набора высоты  $V_y$  за единицу времени можно найти из соотношения

$$V_y = \frac{V_{\text{наб}} \Delta P}{G}. \quad (22)$$

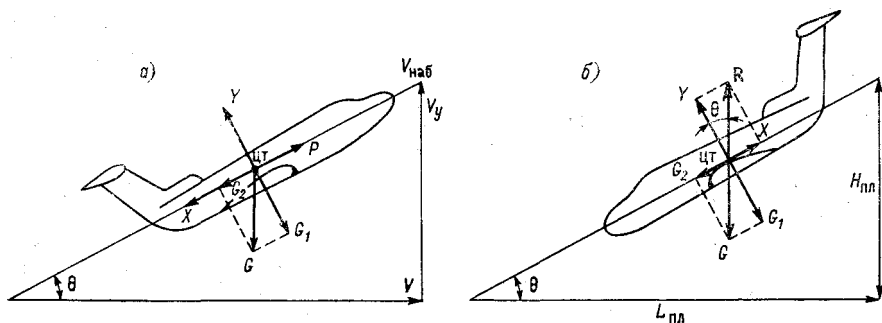


Рис. 5. Схема сил, действующих на самолет при наборе высоты (а) и при планировании (б).

С увеличением высоты полета избыток тяги уменьшается, поэтому уменьшается и вертикальная скорость. Высота полета, на которой вертикальная скорость становится равной нулю, называется теоретическим потолком самолета.

Снижение — это прямолинейное движение летательного аппарата вниз по наклонной к горизонту траектории. Снижение самолета при отсутствии тяги двигателей называется планированием. Уравнения установившегося движения при планировании имеют вид (см. рис. 5):

$$Y = G \cos \theta, \quad (23)$$

$$X = G \sin \theta,$$

где  $\theta$  — угол планирования. Скорость планирования

$$V_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{2G \cos \theta}{c_y \rho S_K}} = V_{г.п} \sqrt{\cos \theta}. \quad (24)$$

Из рис. 5 б видно, что

$$\text{ctg} \theta = \frac{Y}{X} = K. \quad (25)$$

Важной характеристикой самолета является дальность планирования  $L_{\text{пл}}$ , т. е. расстояние по горизонту, которое проходит самолет от начала до конца планирования (см. рис. 5):

$$L_{\text{пл}} = H_{\text{пл}} K, \quad (26)$$

где  $H_{\text{пл}}$  — высота планирования,  $K$  — аэродинамическое качество.

Для условий снижения самолета с работающими двигателями система уравнений движения самолета запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} P &= X - G \sin \theta, \\ Y &= G \cos \theta. \end{aligned} \quad (27)$$

Сила тяги увеличивает дальность снижения и уменьшает угол наклона траектории.

Взлет самолета состоит из следующих этапов: разбег, отрыв, подъем и разгон. Скорость отрыва  $V_{\text{отр}}$  в момент, когда подъемная сила  $Y$  преодолевает вес самолета  $G$ , вычисляется по формуле

$$V_{\text{отр}} = \sqrt{\frac{2G}{c_{y \text{ отр}} \rho S_{\text{к}}}}, \quad (28)$$

при этом принимается, что  $c_{y \text{ отр}} \approx 0,85 c_{y \text{ макс}}$ .

Проекция траектории взлета самолета на горизонтальную плоскость от начала разбега до момента набора установленной высоты (10 м) называется длиной взлетной дистанции  $L_{\text{взл}}$ . Она зависит от скорости отрыва  $V_{\text{отр}}$ , тяговооруженности самолета (отношения располагаемой силы тяги двигателей к весу самолета), состояния атмосферы (плотности воздуха, скорости и направления ветра) и других факторов.

Посадка — заключительный этап полета. Она состоит из следующих элементов: снижение, выравнивание, выдерживание и пробег по земле до полной остановки. При снижении двигатели работают на минимальном режиме. В конце снижения производится выравнивание самолета до тех пор, пока траектория его движения не станет почти параллельной земле. После выравнивания самолет продолжает лететь на малой высоте (0,5—1 м) с постоянным снижением скорости при увеличении угла атаки (для сохранения равенства  $V=G$ ). Этот элемент посадки называется выдерживанием, а скорость самолета в момент приземления определяется как посадочная:

$$V_{\text{пос}} \approx 0,94 \sqrt{\frac{2G}{c_{y \text{ макс}} \rho S_{\text{к}}}}. \quad (29)$$

Горизонтальная проекция траектории посадки самолета с высоты 15 м до окончания пробега — это длина посадочной дистанции  $L_{\text{пос}}$ . Для уменьшения величины  $L_{\text{пос}}$  необходимо снижать посадочную скорость и применять различные тормозные устройства.

## **АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ОТ СТАНДАРТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ**

Цель работы: изучить параметры стандартной атмосферы (СА); приобрести навыки в построении кривой стратификации атмосферы и в использовании ее для оценки отклонений температуры и высоты изобарических поверхностей от стандартных значений.

### **Использование данных стандартной атмосферы при метеорологическом обеспечении полетов**

Полеты летательных аппаратов происходят в атмосфере и поэтому в большой степени зависят от ее строения и характеристик.

**Строение атмосферы.** Нижний слой атмосферы, простирающийся до 8 км у полюсов и 18 км у экватора, называется тропосферой. Этот слой характеризуется интенсивным перемещением воздуха, наличием облачности, осадков, устойчивым понижением температуры воздуха с увеличением высоты (в среднем на каждые 1000 м температура уменьшается на  $6,5^{\circ}\text{C}$ ). В верхнем слое тропосферы температура воздуха стабилизируется и становится равной  $-56,5^{\circ}\text{C}$ . Для средних широт высота, на которой температура воздуха практически остается неизменной, равна 11 км. В тропосфере сосредоточено около 80% всей массы атмосферы.

Выше слоя тропосферы, примерно до высоты 55 км, простирается стратосфера, которая в нижних слоях (до 20 км) характеризуется постоянной температурой воздуха. На больших высотах температура повышается. В верхней тропосфере и нижней стратосфере встречаются струйные течения шириной несколько сотен километров, в которых скорость ветра может достигать 100—150 м/с.

На высотах 55—90 км располагается мезосфера; температура воздуха в мезосфере постепенно понижается до  $-88^{\circ}\text{C}$ . В мезосфере содержится около 0,3% всей массы воздуха.

Вышележащий слой — термосфера — простирается до высоты 800 км. В этом слое под влиянием излучения Солнца происходит диссоциация и ионизация молекул воздуха, что вызывает повышение температуры воздуха до  $750^{\circ}\text{C}$ .

Выше 800 км располагается экзосфера — переходная зона к космическому пространству.

Верхняя область атмосферы (40—800 км) вследствие сильной ионизации воздуха получила название ионосферы.

Между основными слоями атмосферы существуют переходные зоны — паузы. Наибольший интерес для авиации представляет

тропопауза, отделяющая тропосферу от стратосферы, так как эта зона — основная область, где осуществляются полеты современных самолетов. Толщина тропопаузы в различных широтах колеблется от нескольких сотен до нескольких тысяч метров.

**Характеристики атмосферы.** Основными параметрами, характеризующими состояние воздуха, являются давление, температура, плотность, вязкость и сжимаемость. Эти параметры значительно изменяются с высотой и зависят от широты и долготы места, времени года и суток.

Давление  $p$  — это сила, действующая на единицу площади по нормали к ней:

$$p = \frac{P}{S}. \quad (1.1)$$

Здесь  $P$  — равномерно распределенная сила;  $S$  — площадь, испытывающая давление. В аэродинамике давление измеряется в килограммах на квадратный метр, в метеорологии — в паскалях (ньютон на квадратный метр).

Для количественной характеристики температуры воздуха приняты термодинамическая и международная практическая<sup>1</sup> шкалы. Температура по обеим шкалам может быть выражена в кельвинах (К) и в градусах Цельсия (°С) в зависимости от начала отсчета (положения нуля) на шкале. Следует иметь в виду, что градус Цельсия (°С) обозначает градус стоградусной шкалы (Centigrade). Шкала Цельсия перевернута по отношению к стоградусной. Цельсий за начало отсчета принял точку кипения воды и обозначил ее нулем, а точку замерзания обозначил 100°.

Абсолютная (термодинамическая или международная практическая) температура обозначается символом  $T$ , а температура в градусах Цельсия (по обеим шкалам) —  $t$ . Соотношения между температурами:

$$t = T - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1.2)$$

$$T = t + 273,15 \text{ К}. \quad (1.3)$$

Плотность — отношение массы воздуха (газа) к его объему:

$$\nu = \frac{G}{v}, \quad (1.4)$$

где  $\nu$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $G$  — масса воздуха (газа), кг;  $v$  — объем воздуха (газа), м<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> В некоторых зарубежных странах (США, Канаде, Великобритании, Франции и Австралии) применяются также температурная шкала Фаренгейта (F) и абсолютная шкала Ренкина (R).

Массовая плотность воздуха (газа)  $\rho$  ( $\text{кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ ) — это покоящаяся масса, заключенная в единице объема:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{G}{gv} = \frac{v}{g}, \quad (1.5)$$

где  $m$  — покоящаяся масса воздуха (газа), кг;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с.

Относительная плотность воздуха  $\Delta$  представляет собой отношение массовой плотности  $\rho_n$  на высоте  $H$  к массовой плотности  $\rho_0$  на уровне моря:

$$\Delta = \frac{\rho_n}{\rho_0}. \quad (1.6)$$

Вязкость (внутреннее трение) — свойство газов (или жидкостей) оказывать сопротивление относительному перемещению своих частиц, а также перемещению твердого тела, помещенного в газ (или жидкость). Вследствие вязкости кинетическая энергия газа (жидкости) или твердого тела, движущегося в нем, превращается в тепло.

Коэффициент динамической вязкости  $\mu$  зависит от температуры и почти не зависит от давления и плотности газа. При увеличении температуры коэффициент  $\mu$  для жидкости уменьшается, а для газов — увеличивается.

Коэффициент кинематической вязкости  $\eta$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) определяется по формуле

$$\eta = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.7)$$

При давлении 0,01—7 МПа вязкость воздуха практически не изменяется, при давлении выше 7 МПа вязкость воздуха возрастает.

Сжимаемость воздуха определяется свойством воздуха изменять свой объем, а следовательно, и плотность под действием сил давления. Зависимость объема газа от давления (при постоянной температуре) описывается законом Бойля—Мариотта:

$$pv = \text{const}, \quad (1.8)$$

т. е. для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления на объем является величиной постоянной.

Зависимость объема газа от его температуры (при постоянном давлении) описывается законом Гей-Люссака: при повышении температуры на  $1^\circ\text{C}$  объем газа при постоянном давлении возрастает на  $1/273$  часть объема, который имел бы газ при  $t=0^\circ\text{C}$ , т. е.

$$v_2 = v_1 [(t_2 + 273)/(t_1 + 273)], \quad (1.9)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  — соответственно объемы газа при температуре  $t_1$  и  $t_2$ .

Закон Шарля устанавливает зависимость давления газа от его температуры при постоянном объеме:

$$p_2 = p_1 [(t_2 + 273)/(t_1 + 273)]. \quad (1.10)$$

Со свойством сжимаемости связано явление распространения звука в газах. Скорость распространения звуковых волн в пространстве называется скоростью звука  $a$ . Она зависит от состояния среды, в которой распространяется звук, и температуры этой среды. Зависимость скорости звука в воздухе от температуры приближенно можно определить по формуле

$$a \approx 20 \sqrt{T}. \quad (1.11)$$

Число Маха — отношение скорости полета (или потока воздуха) к скорости звука:

$$M = \frac{V}{a}. \quad (1.12)$$

Если  $M = 1$ , то самолет летит со скоростью звука. При  $M < 1$  полет называется дозвуковым, а при  $M > 1$  — сверхзвуковым. Число  $M$  является критерием сжимаемости воздуха. Скорость полета, при которой на крыле возникает местная скорость потока воздуха, равная скорости звука, называется критической скоростью полета  $V_{кр}$ , а соответствующее ей число  $M$  — критическим числом  $M$ :

$$M_{кр} = \frac{V_{кр}}{a}. \quad (1.13)$$

Скорость полета, при которой  $M > 5$ , называется гиперзвуковой.

**Основные уравнения движения воздуха.** При изучении движения воздуха и его влияния на полет исходят из предположения, что среда (атмосфера) является сплошной с непрерывным распределением вещества в пространстве.

1. Уравнение состояния газа. Давление, плотность и температура газа связаны соотношением

$$pv = RT, \quad (1.14)$$

где  $R$  — газовая постоянная; для воздуха  $R = 287,052$  Дж/(кг·К).

2. Уравнение неразрывности, или уравнение постоянства расхода, объясняет, что при установившемся движении газа (воздуха) в трубе его массовый секундный расход постоянен во всех ее сечениях (рис. 6):

$$\rho_1 f_1 V_1 = \rho_2 f_2 V_2. \quad (1.15)$$

Здесь  $\rho$  — плотность воздуха в соответствующих сечениях трубы;  $f$  — площадь сечения потока (струи) воздуха;  $V$  — скорость воздуха в сечении. Произведение  $\rho f V$  есть секундный расход воздуха,

проходящего через поперечное сечение струи (потока). Если площадь поперечного сечения потока уменьшается, то скорость течения увеличивается, и наоборот, при увеличении площади поперечного сечения потока его скорость соответственно уменьшается.

3. Уравнение сохранения энергии и (закон Бернулли). Закон постоянства энергии воздуха (газа) в потоке (при отсутствии теплообмена с окружающей средой) является частным слу-

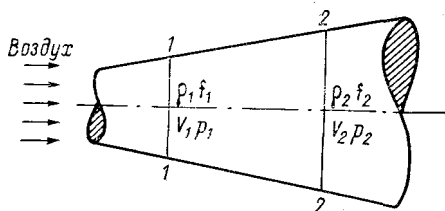


Рис. 6. Схема движения газа (воздуха) в трубе переменного сечения.

чаем общего закона сохранения энергии. Математически он выражается уравнением Бернулли

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\rho_2} = \text{const}, \quad (1.16)$$

где  $p$  и  $\rho$  — давление и массовая плотность воздуха в соответствующих сечениях;  $V$  — скорость движения воздуха в соответствующих сечениях;  $k$  — показатель адиабаты, равный отношению удельных теплоемкостей газа, определенных при постоянном давлении  $c_p$  и постоянном объеме  $c_v$ ,  $k = c_p/c_v$ .

Для несжимаемого газа  $\rho_1 = \rho_2 = \text{const} = \rho$  уравнение принимает вид

$$p_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} = \text{const}, \quad (1.17)$$

т. е. сумма скоростного напора  $\rho V^2/2$  и статистического давления  $p$  в потоке есть величина постоянная.

**Стандартная атмосфера.** При выполнении аэродинамических расчетов для различных условий атмосферы и сравнении результатов испытаний летательных аппаратов пользуются условной осредненной стандартной атмосферой (СА). Согласно ГОСТу 4401—81, стандартная атмосфера характеризуется следующими параметрами (на уровне моря):  $t_0 = 15^\circ\text{C}$ ,  $p_0 = 1013,25$  гПа (760 мм рт. ст.),  $\rho_0 = 0,125$  кг·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>,  $g_0 = 9,8066$  м/с<sup>2</sup> ( $\varphi = 45^\circ 31' 40''$  с. ш.), относительная влажность  $R_0 = 0\%$ , ветер отсутствует.

В условиях стандартной атмосферы изменение давления  $p$  с высотой происходит:

до уровня 11 км — по закону политропной атмосферы

$$\frac{p}{p_0} = \left( \frac{T_0 - \gamma z}{T_0} \right)^{g/R\gamma}, \quad (1.18)$$

выше 11 км — по закону изотермической атмосферы ( $T = \text{const}$ )

$$p = p_0 e^{-\frac{gz}{RT}}. \quad (1.19)$$

Здесь  $z$  — высота;  $\gamma$  — вертикальный градиент температуры.

Стандартная атмосфера чаще всего используется для решения задач, связанных с переходом от фактически наблюдающихся атмосферных условий к стандартным, и задач, связанных с учетом отклонения фактических условий от стандартных для получения реальных значений интересующих характеристик и параметров. Задачи первого вида называются приведением результатов летных испытаний воздушных судов к стандартным условиям. Задачи второго вида связаны с учетом влияния метеорологических параметров на полет летательного аппарата и на показания некоторых аэронавигационных приборов.

### *Контрольные вопросы*

1. Как изменяется температура воздуха с высотой в стандартной атмосфере?
2. Чему равно атмосферное давление у земной поверхности в стандартной атмосфере?
3. Чему равны влажность и ветер в стандартной атмосфере на разных уровнях?

### *Материалы для работы*

1. Бланк аэрологической диаграммы.
2. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981, с. 16—22.
2. Таблицы стандартной атмосферы (ГОСТ 4401—81). М.: Госстандарт, 1981. — 43 с.

### *Порядок выполнения работы*

1. На бланке аэрологической диаграммы построить кривую стратификации для минимальной (арктической) и максимальной (тропической) стандартной атмосферы.
2. С помощью аэрологической диаграммы определить высоту (с точностью до 0,1 км) и температуру (с точностью до 0,1 °С) для основных изобарических поверхностей от 1000 до 100 гПа.



3. На бланке аэрологической диаграммы по данным приложения 1.1 построить кривые стратификации атмосферы для пунктов, указанных преподавателем. По построенным кривым определить отклонения температуры воздуха и высоты от стандартных значений.

*Методические указания*

1. Кривые стратификации атмосферы для арктической и тропической стандартной атмосферы строятся на бланке аэрологической диаграммы с использованием табл. 1.1, в которой приведены отклонения температуры максимальной и минимальной стандартной атмосферы от стандартной атмосферы (ГОСТ 4401—81).

Таблица 1.1

**Отклонения температуры воздуха от стандартной для максимальной и минимальной стандартной атмосферы на разных уровнях**

$H$ км . . . . .	0	5	7	9	11
$T_{\text{макс}} - T_{\text{СА}}$ °С . . . . .	19	17	17	17	17
$T_{\text{мин}} - T_{\text{СА}}$ °С . . . . .	-44	-17	-13	-9	-3

2. С помощью бланка аэрологической диаграммы, используя стандартную шкалу высот и стандартную стратификацию, заполнить табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Температура и высота основных изобарических поверхностей для стандартных условий**

$p$ гПа . . . . .	1000	850	700	500	400	300	250	200	150	100
$T_{\text{СА}}$ °С										
$H_{\text{СА}}$ км										

3. На бланке аэрологической диаграммы построить кривые стратификации атмосферы для пунктов, указанных преподавателем.

Отклонения температуры и отклонения высот от стандартных значений определить по аэрологической диаграмме с помощью формул

$$\Delta T = T_{\text{ф}} - T_{\text{СА}},$$

$$\Delta H = H_{\text{ф}} - H_{\text{СА}}, \tag{1.20}$$

где  $\Delta T$  и  $\Delta H$  — соответственно отклонения температуры и высоты от стандартных значений;  $T_{\text{ф}}$  и  $H_{\text{ф}}$  — фактическая температура

и высота изобарической поверхности;  $T_{CA}$  и  $H_{CA}$  — температура и высота изобарической поверхности для стандартных условий.

Результаты расчетов представить в виде табл. 1.3.

Таблица 1.3

$p$ гПа	$H_f$ км	$T_f$ °C	$H_{CA}$ км	$T_{CA}$ °C	$\Delta H$ км	$\Delta T$ °C

### Отчетный материал

1. Бланк аэрологической диаграммы с нанесенными кривыми стратификации для максимальной и минимальной стандартной атмосферы, а также кривыми стратификации для пунктов, указанных преподавателем.

2. Представленная на отдельном листе табл. 1.2 со значениями температур и высот основных изобарических поверхностей для стандартных условий.

3. Представленная на отдельном листе табл. 1.3 с данными об отклонениях фактических значений температуры и высоты от стандартных.

### Приложение 1.1

#### Данные радиозондирования атмосферы

##### Вариант 1

Долгопрудный, 9 ч 9 сентября

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
989,8	0,19	10,0
919,8	0,79	3,7
850,0	1,43	-1,6
726,0	2,67	-6,7
536,6	5,00	-16,3
469,2	6,00	-20,5
400,0	7,16	-28,5
307,2	9,00	-42,5
264,3	10,00	-49,4
207,8	11,56	-55,9
166,2	13,00	-49,4

Воейково, 9 ч 18 ноября

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
982,1	0,20	-3,1
887,9	1,00	-7,2
832,6	1,50	-10,1
700,0	2,80	-20,7
596,2	4,00	-25,2
519,0	5,00	-26,2
390,2	7,00	-39,3
300,0	8,67	-53,9
287,8	9,00	-55,7
245,3	10,00	-64,6
200,0	11,12	-65,0
177,3	12,00	-63,0
173,5	12,14	-63,5

**Вариант 2**

Минск, 3 ч 26 февраля

<i>p</i> гПа	<i>H</i> км	<i>T</i> °C
998,1	0,21	-6,1
883,3	1,12	-8,5
850,0	1,47	-7,9
764,6	2,22	-12,5
700,0	2,96	-10,3
602,7	4,15	-17,3
500,0	5,47	-26,3
426,3	6,75	-34,1
400,0	7,05	-37,9
300,0	8,96	-54,3
250,0	10,10	-62,1
222,5	11,07	-64,5
200,0	11,50	-62,1
150,0	13,30	-58,3

Вологда, 3 ч 15 января

<i>p</i> гПа	<i>H</i> км	<i>T</i> °C
1002,3	0,29	-19,5
967,8	0,42	-8,3
879,4	1,21	-8,2
850,0	1,54	-9,9
774,3	2,15	-13,9
720,6	2,64	-16,5
700,0	3,13	-18,1
500,0	5,45	-34,1
400,0	6,94	-44,7
300,0	8,85	-56,9
271,4	9,75	-60,5
250,0	10,00	-60,5
213,7	10,41	-60,5
200,0	11,38	-59,3

**Вариант 3**

Киров, 9 ч 26 февраля

<i>p</i> гПа	<i>H</i> км	<i>T</i> °C
1016,2	0,19	-7,7
850,0	1,53	-17,3
836,4	1,72	-15,1
799,3	2,10	-15,5
756,5	2,47	-15,7
700,0	2,99	-18,9
500,0	5,40	-37,9
400,0	6,92	-45,9
300,0	8,75	-55,7
269,7	9,11	-57,1
256,6	9,78	-59,9
250,0	9,90	-59,7
200,0	11,31	-56,3

Фрунзе, 9 ч 31 марта

<i>p</i> гПа	<i>H</i> км	<i>T</i> °C
937,4	0,27	14,9
887,2	1,05	9,8
850,0	1,52	4,5
798,4	2,11	0,6
700,0	3,04	-8,1
500,0	5,58	-24,3
400,0	7,16	-36,3
300,0	9,10	-51,9
250,0	10,36	-59,1
200,0	11,61	-66,3
150,0	13,36	-61,1

## Вариант 4

Ростов-на-Дону, 3 ч 26 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1014,3	0,19	-6,3
971,8	0,35	-9,3
948,5	0,51	-4,1
892,7	1,06	-8,1
877,2	1,24	-5,9
850,0	1,46	-6,1
700,0	2,96	-13,7
620,3	3,91	-21,7
583,7	4,39	-22,3
500,0	5,43	-28,3
400,0	7,00	-37,3
300,0	8,92	-53,2
250,0	10,09	-59,9
200,0	11,47	-59,9
150,0	13,28	-58,9

Астрахань, 3 ч 27 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1003,3	0,13	-7,3
985,1	0,25	-5,7
907,3	0,88	-5,3
850,0	1,50	-7,1
788,4	2,15	-9,3
700,0	3,04	-13,5
616,5	4,09	-17,9
535,7	5,17	-24,3
500,0	5,49	-27,5
462,8	6,18	-31,1
400,0	7,06	-38,9
300,0	8,98	-52,1
287,2	9,51	-54,9
250,0	10,16	-58,9
200,0	11,56	-59,1

## Вариант 5

Свердловск, 3 ч 12 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
999,1	0,28	-15,9
910,4	1,24	-13,1
850,0	1,50	-16,1
700,0	2,96	-23,5
606,3	4,11	-28,3
500,0	5,35	-36,7
426,7	6,53	-45,5
400,0	6,86	-48,1
318,6	8,67	-55,7
300,0	8,72	-55,7
287,5	9,47	-55,9
250,0	9,88	-57,1
205,8	10,97	-53,7
200,0	11,30	-54,1

Куйбышев, 3 ч 26 января

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1033,0	0,00	-24,9
1000,1	0,28	-13,7
993,3	0,35	-9,3
950,2	0,54	-4,9
850,0	1,42	-17,1
825,4	1,67	-10,5
700,0	3,03	-17,5
511,5	5,29	-32,9
500,0	5,46	-33,5
437,6	6,64	-40,5
400,0	6,99	-44,9
300,0	8,86	-58,1
283,8	9,51	-60,1
250,0	9,99	-61,9
200,0	11,38	-60,7

## Вариант 6

Киев, 9 ч 1 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1000,2	0,19	-5,3
902,4	1,05	-10,9
894,3	1,14	-11,3
850,0	1,45	-6,1
744,5	2,53	-8,9
700,0	2,97	-11,1
640,7	3,65	-13,7
500,0	5,49	-25,7
432,1	6,58	-32,7
400,0	7,08	-37,1
329,6	8,61	-48,1
300,0	9,00	-53,9
250,0	10,16	-61,9
243,8	10,67	-63,1
200,0	11,54	-61,7

Аральское море, 3 ч 26 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1026,0	0,00	-21,9
1000,4	0,25	-10,7
923,3	0,84	-5,1
850,0	1,50	-7,1
764,1	2,26	-9,1
700,0	3,01	-14,1
500,0	5,48	-29,3
400,0	7,04	-39,5
300,0	8,95	-55,3
250,0	10,09	-62,5
240,7	10,37	-63,9
200,0	11,46	-64,3
167,5	12,63	-59,3
150,0	13,24	-59,3

## Вариант 7

Москва, 3 ч 18 января

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1013,0	0,00	-12,9
1000,3	0,29	-8,7
905,1	1,00	-6,1
850,0	1,55	-10,7
700,0	3,03	-17,3
632,2	3,74	-20,3
551,4	4,80	-27,1
500,0	5,49	-31,7
400,0	7,04	-42,3
300,0	8,93	-57,7
296,5	9,23	-58,3
250,0	10,07	-61,9
239,7	10,74	-62,5
200,0	11,46	-60,1

Кишинев, 9 ч 27 декабря

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1007,0	0,00	-3,3
1000,4	0,15	-3,7
897,1	1,04	-4,3
850,0	1,42	-6,1
818,3	1,76	-4,3
755,6	2,38	-8,3
700,0	2,94	-9,5
657,5	3,53	-18,5
641,9	3,77	-18,5
500,0	5,48	-23,1
400,0	7,08	-35,5
300,0	9,01	-52,7
250,0	10,16	-61,9
200,0	11,56	-62,1
150,0	13,37	-57,5

## Вариант 8

Рига, 3 ч 1 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1000,0	0,20	-7,5
967,3	0,35	-9,5
943,1	0,64	-4,1
891,4	1,04	-6,5
874,5	1,18	-7,3
850,0	1,47	-7,3
800,7	1,96	-10,3
755,2	2,37	-10,3
700,0	2,96	-13,7
603,9	4,17	-21,7
500,0	5,44	-27,3
400,0	7,01	-38,3
300,0	8,93	-54,1
250,0	10,08	-59,3
200,0	11,48	-58,7

Горький, 9 ч 20 апреля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
996,3	0,29	-11,5
913,1	0,88	-7,7
850,0	1,55	-9,7
802,7	1,83	-10,1
778,2	2,68	-11,5
700,0	3,04	-16,5
625,7	3,86	-21,1
578,8	4,45	-25,3
500,0	5,49	-32,9
400,0	7,03	-43,7
364,3	7,74	-48,5
300,0	8,91	-56,1
250,0	10,05	-60,5
225,6	11,02	-63,1
200,0	11,45	-58,1

## Вариант 9

Таллин, 9 ч 15 марта

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
997,9	0,27	-7,7
975,1	0,48	-6,5
947,5	0,63	-4,1
922,2	0,72	-5,1
850,0	1,54	-8,5
794,7	2,55	-11,3
700,0	3,02	-16,9
697,7	3,15	-17,1
582,3	4,45	-24,9
500,0	5,47	-33,7
463,4	6,18	-37,5
400,0	7,00	-43,7
300,0	8,89	-56,9
250,0	10,03	-62,3
200,0	11,42	-59,9

Волгоград, 3 ч 26 февраля

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
997,8	0,24	-10,3
985,4	0,36	-6,3
884,2	1,13	-8,5
850,0	1,50	-9,5
828,3	2,17	-9,9
781,5	2,48	-11,3
757,7	2,76	-11,7
700,0	2,99	-14,9
618,7	3,97	-20,5
500,0	5,45	-30,7
400,0	7,00	-41,5
300,0	8,90	-53,1
250,0	10,06	-57,5
200,0	11,47	-57,1

## Вариант 10

Мурманск, 9 ч 17 января

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
1020,0	0,00	-6,7
999,7	0,22	-7,9
850,0	1,48	-8,7
804,3	1,76	-9,8
700,0	2,97	-11,5
611,6	4,05	-20,3
500,0	5,47	-27,3
441,5	6,49	-32,1
400,0	7,04	-39,3
362,9	7,84	-44,8
300,0	8,95	-52,1
250,0	10,02	-58,1
200,0	11,50	-63,9
150,0	13,30	-57,9

Новосибирск, 3 ч 20 марта

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C
996,9	0,22	-7,3
934,3	0,63	-11,1
920,8	0,86	-8,1
887,4	1,19	-8,1
850,0	1,47	-9,7
831,5	1,63	-10,3
700,0	2,97	-13,1
670,7	3,28	-15,5
648,1	3,56	-15,5
500,0	5,47	-27,7
400,0	7,04	-38,5
300,0	8,95	-54,3
250,0	10,10	-61,9
200,0	11,48	-60,3
150,0	13,29	-58,7

## Лабораторная работа 2

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ПОГОДЫ В ЦЕЛЯХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ**

Цель работы: научиться правильно составлять и обрабатывать аэрологическую диаграмму и уметь ею пользоваться для оценки погодных условий в целях метеорологического обеспечения авиации.

### Назначение и описание аэрологических диаграмм

Большую помощь специалистам метеорологической службы при анализе синоптических процессов и прогнозе отдельных метеорологических величин и явлений погоды оказывает аэрологическая диаграмма. Она дает наглядное представление о распределении по вертикали температуры воздуха, влажности и ветра. С помощью аэрологической диаграммы можно определить термодинамические характеристики воздушной массы, расслоенность облачности, положение фронтального раздела над пунктом зондирования и др. Аэрологическая диаграмма позволяет также прогнозировать возможность возникновения конвективных явлений, обледенения воздушных судов, максимальную температуру воздуха и другие характеристики.

Все построения на аэрологической диаграмме и расчеты с ее помощью, как правило, не занимают много времени, поэтому она широко используется на практике. В настоящее время применяются три формы аэрологической диаграммы, одна из которых построена в прямоугольной системе координат, а две другие — в координатной системе координат. Настоящая лабораторная работа предусматривает проведение всех построений и расчетов на бланке аэрологической диаграммы, построенной в прямоугольной системе координат.

Результаты температурно-ветрового зондирования атмосферы различных пунктов, закодированные кодом КН-04, поступают на АМСГ (АМЦ). По этим данным вначале наносятся результаты зондирования атмосферы на бланк аэрологической диаграммы, а затем выполняется их анализ.

### *Контрольные вопросы*

1. Раскодировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы, закодированные кодом КН-04 (данные выдаются преподавателем).
2. Как определяется уровень конденсации и уровень конвекции по аэрологической диаграмме?



3. Как определяется толщина конвективно-неустойчивого слоя (КНС) по аэрологической диаграмме?

4. Как с помощью аэрологической диаграммы определить рас-слоенность облачности?

5. Как с помощью аэрологической диаграммы определить зоны образования конденсационных облачных следов за самолетами?

6. Как с помощью аэрологической диаграммы определить зоны возможного обледенения воздушных судов?

7. Как с помощью аэрологической диаграммы определить максимальную температуру воздуха?

8. Как с помощью аэрологической диаграммы определить возможность возникновения гроз?

9. Как с помощью аэрологической диаграммы определить высоту нахождения фронтальной зоны над пунктом зондирования?

### *Материалы для работы*

1. Бланк аэрологической диаграммы.

2. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы (вариант задания указывается преподавателем).

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 37—49, 118—122.

2. Код КН-04. — Л.: Гидрометеиздат, 1971.

3. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. ч. 2. — Л.: Гидрометеиздат, 1965—492 с.

### *Порядок выполнения работы*

1. Раскодировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.

2. Нанести данные температурно-ветрового зондирования на бланк аэрологической диаграммы.

3. Проанализировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.

4. Определить с помощью аэрологической диаграммы относительную влажность на основных изобарических поверхностях, максимальную температуру воздуха, толщину конвективно-неустойчивого слоя (КНС) и возможность возникновения гроз.

## Методические указания

1. Данные температурно-ветрового зондирования раскодировать по коду КН-04.

Результаты раскодирования представить на отдельном листе в виде таблицы:

$H$ м	$p$ гПа	$T$ °C	$D$ °C	$T_d$ °C	$dd^\circ$	$ff$ м/с	$R$ %
1	2	3	4	5	6	7	8

Температуру точки росы  $T_d$  (графа 5) рассчитать по формуле

$$T_d = T - D. \quad (2.1)$$

Графу 8 таблицы заполнить в конце выполнения задания.

2. По данным о давлении, температуре воздуха и температуре точки росы на бланке аэрологической диаграммы нанести точки, соответствующие условиям основных изобарических поверхностей и особых точек. Для удобства дальнейшего анализа температуру воздуха и температуру точки росы целесообразно нанести на бланк различными символами (рис. 7).

Приняв за условный нуль на аэрологической диаграмме изотерму  $-70^\circ\text{C}$ , влево от нее нанести точки, соответствующие значениям дефицита точки росы (см. рис. 11). Например, если на каком-либо уровне в атмосфере дефицит точки росы равен  $3^\circ\text{C}$ , то точка на этом же уровне наносится на изотерме  $-73^\circ\text{C}$ .

√ 3. Построить кривую стратификации. Для этого, не пропуская ни одной точки, ломаной линией соединить точки соответствующих значений температуры воздуха. Кривая стратификации проводится красным цветом.

Построить кривую температуры точки росы. Для этого так же, как при построении кривой стратификации, необходимо соединить точки соответствующих значений температуры точки росы. Эта линия проводится зеленым цветом. Аналогично проводится (также зеленым цветом) кривая дефицита точки росы.

√ Построить кривую состояния. Эта линия показывает адиабатические изменения состояния вертикально смещающейся частицы.

Изменение температуры до уровня конденсации происходит по

сухоадиабатическому закону, а выше уровня конденсации — по влажноадиабатическому закону.

При построении кривой состояния за начальный уровень принимается нижняя точка на кривой стратификации или точка, соответствующая верхней границе приземной инверсии (изотермии) на кривой стратификации. Кривая состояния проводится черным цветом.

Уровень конденсации (см. рис. 7) определяется как высота, на которой пересекаются сухая адиабата, проведенная от значения температуры на начальном уровне, и изограмма, проведенная от того же начального уровня (нижняя точка или верхняя граница приземной инверсии или изотермии), проходящая через значения температуры точки росы.

Надписать высоты основных изобарических поверхностей. Значения высот надписываются на диаграмме черным цветом в километрах с десятыми и сотыми долями против соответствующего уровня и правее кривой стратификации.

Данные о распределении ветра с высотой нанести в крайнем левом столбце аэрологической диаграммы на всех уровнях, где есть сведения о ветре. Они обозначаются стрелкой с оперением и черным цветом надписывается направление и скорость ветра (км/ч) (рис. 8).

Отметить уровни, на которых находятся изотермы 0, -10 и -20 °С. На высотах с соответствующими значениями температуры воздуха вправо от кривой стратификации проводятся красным цветом выносные линии и надписываются значения температуры.

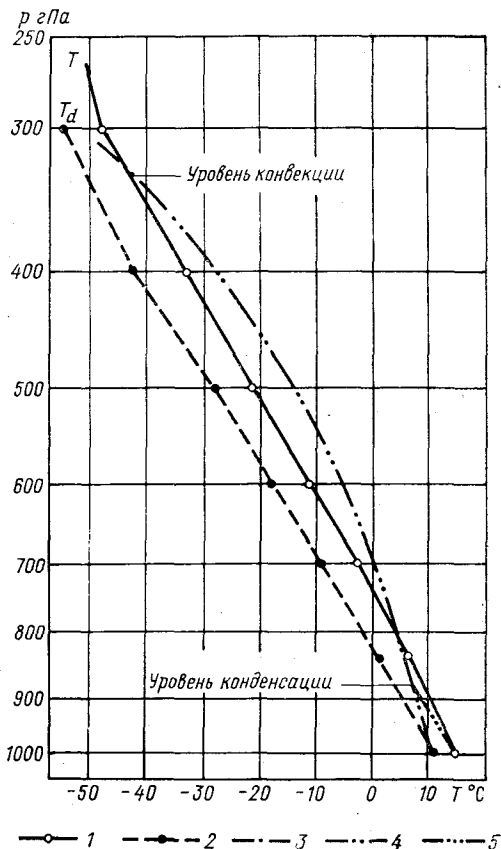


Рис. 7. Схема определения уровней конденсации и конвекции.

1 — кривая стратификации, 2 — кривая температур точек росы, 3 — изограмма, 4 — влажная адиабата, 5 — сухая адиабата.

✓ Выделить зоны с положительной и отрицательной энергией неустойчивости (рис. 9). Если кривая состояния находится правее кривой стратификации, то в этом слое энергия неустойчивости

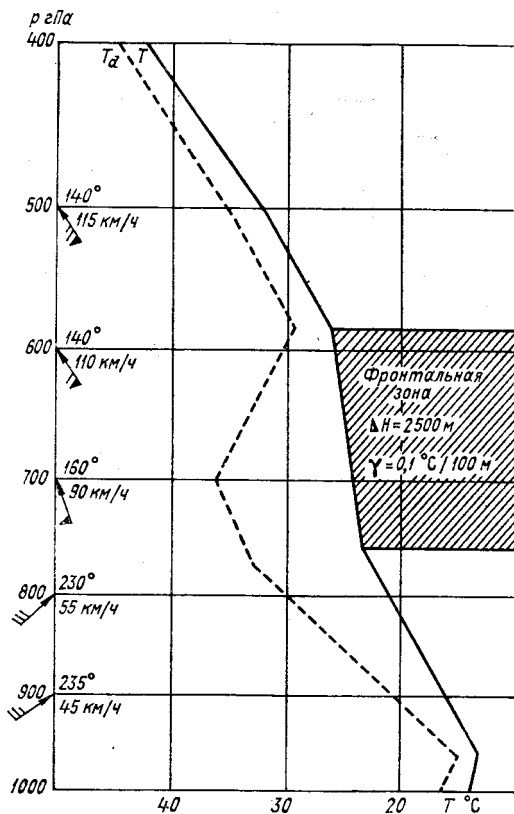


Рис. 8. Схема нанесения данных о ветре и определение фронтальной зоны.

положительна. Образованная этими кривыми площадь закрашивается красным цветом. В тех случаях, когда кривая состояния располагается левее кривой стратификации, энергия неустойчивости отрицательна. Площадь между этими линиями закрашивается синим цветом.

✓ Выделить зоны инверсии и изотермии. От верхней и нижней границ всех зон (до тропопаузы) вправо от кривой стратификации черным цветом провести выносные линии; слой с инверсией выделить желтым цветом и внутри каждой зоны надписать толщину зоны ΔH (м) и перепад температур ΔT (°C).

По данным зондирования атмосферы выделить зону тропопаузы. На уровне тропопаузы (или обеих тропопауз) коричневым

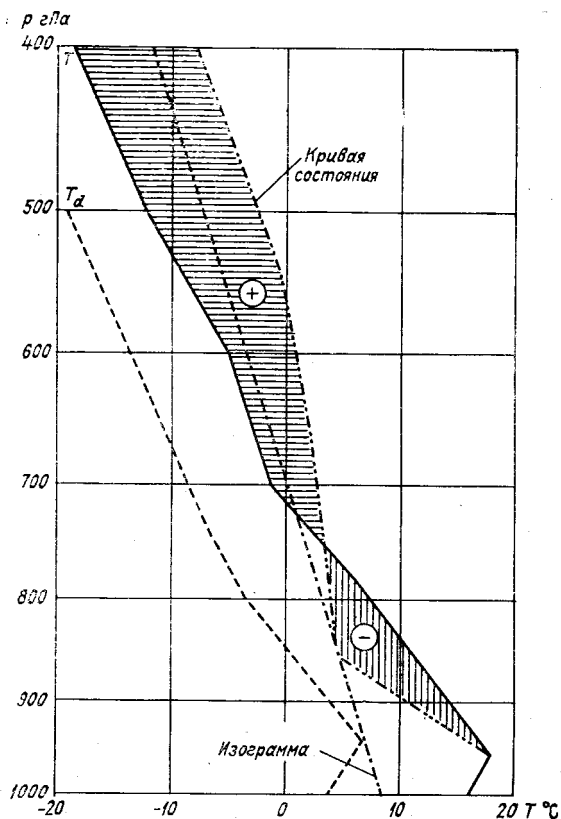


Рис. 9. Определение положительной и отрицательной энергии неустойчивости.

цветом провести волнистую линию, выше которой пишется слово «Тропопауза» и значение температуры на ее уровне.

✓ Выделить зоны облачности (см. рис. 11). Облачные слои и безоблачные прослойки определяются с помощью аэрологической диаграммы следующим образом. Данные дефицита точки росы на различных уровнях сравниваются со значениями, приведенными в табл. 2.1, или с линиями A и B на рис. 10.

На тех уровнях, где реальный дефицит точки росы меньше или равен значениям, приведенным в графе 2 табл. 2.1 (линия A на рис. 10), следует указывать облачность, а на уровнях, где дефицит больше или равен значениям, приведенным в графе 3 табл. 2.1

Таблица 2.1

**Средние значения дефицита точки росы [°C], при которых наблюдается или отсутствует облачность**

$p$ гПа	Облачность		$p$ гПа	Облачность	
	наблюдается	отсутствует		наблюдается	отсутствует
1	2	3	1	2	3
950	$\leq 1,6$	$\geq 4,5$	600	2,2	8,0
900	1,5	4,5	550	2,4	8,2
850	1,5	5,2	500	2,5	8,2
800	1,7	6,0	400	2,8	8,3
750	1,8	7,0	300	3,2	8,5
700	1,9	7,2	200	4,0	9,0
650	2,0	8,0			

(линия  $B$  на рис. 10), — облачность указывать не следует. Если дефицит точки росы находится между критическими значениями, указанными в графах 2 и 3 табл. 2.1, то для выделения облачных слоев необходимо привлечь дополнительные характеристики.

Верхняя и нижняя границы каждого облачного слоя выделяются на кривой дефицитов температуры точки росы волнистой линией синего цвета. Зоны облачности заштриховываются также синим цветом.

Определить зоны конденсационных облачных следов за самолетом (рис. 12). Конденсационные следы за самолетом образуются в слое, нижняя граница которого расположена на уровне пересечения кривой стратификации с изограммой 0,15 г/кг, а верхняя граница — на уровне пересечения кривой стратификации с изограммой 0,10 г/кг. Обе границы слоя на аэрологической диаграмме выделяются волнистой синей линией, а в середине слоя проводится (синим цветом) спиралеобразная линия.

Выделить зоны возможного обледенения. Обледенение отмечается в тех слоях атмосферы, где наблюдаются отрицательная температура воздуха, а также облачность или зоны дождя. На аэрологической диаграмме выделяются слои, где выполняются указанные выше условия. Верхняя и нижняя границы каждого слоя отмечаются выносной линией красного цвета, а в середине слоя ставится знак обледенения.

Выделить положение фронта над пунктом зондирования (см. рис. 8). В тех случаях, когда на кривой стратификации на высотах наблюдается значительное уменьшение вертикального градиента температуры воздуха ( $|\gamma| \leq 0,2^\circ\text{C}/100\text{ м}$ ), эти слои можно отождествить с положением фронтальной зоны. Дополнительным признаком того, что это фронтальная зона, а не инверсия оседа-

ния, является постоянство (или увеличение) удельной и относительной влажности воздуха. На наличие фронтальной зоны ука-

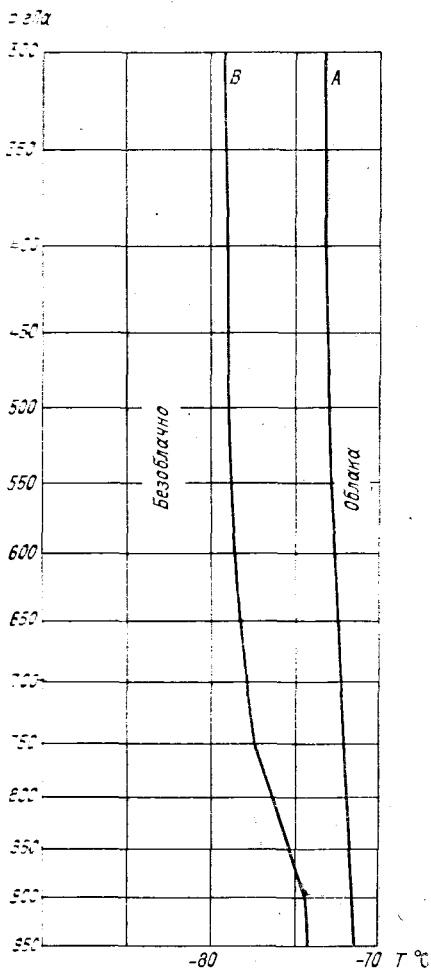


Рис. 10. Палетка для определения облачных слоев.

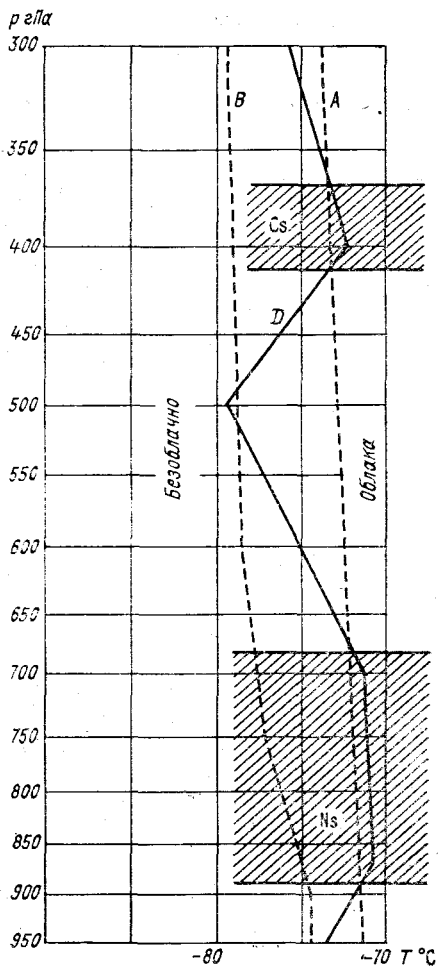


Рис. 11. Определение облачных слоев.

зывает также и резкое изменение направления ветра с высотой: против часовой стрелки при холодном фронте и по часовой стрелке при теплом фронте.

Фронтальная зона закрашивается различными цветными карандашами в зависимости от характера фронта, а внутри этого слоя записывается толщина фронтальной зоны  $\Delta H$  и изменение температуры воздуха  $\Delta T$ . Если температура с высотой во

фронтальной зоне продолжает уменьшаться, то вместо  $\Delta T$  записывается вертикальный градиент температуры  $\gamma$ .

4. Определить уровень конвекции (см. рис. 7). На аэрологической диаграмме уровень конвекции определяется в точке пере-

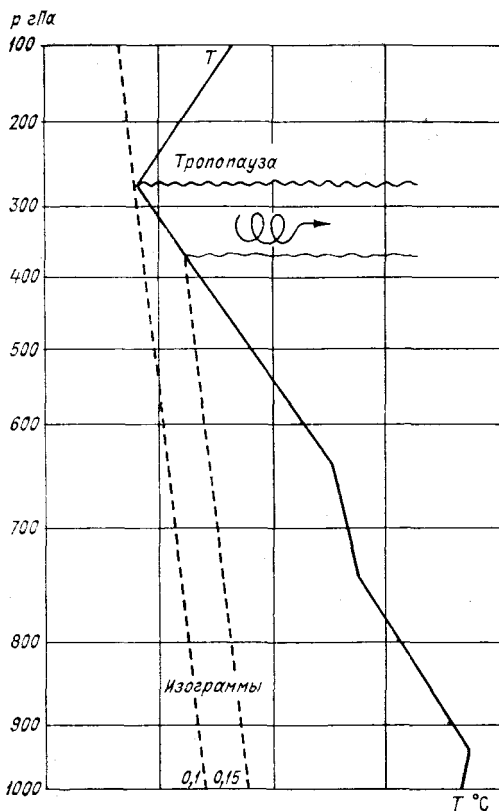


Рис. 12. Определение слоев образования конденсационного следа.

сечения кривой стратификации с кривой состояния при переходе от положительных значений энергии неустойчивости к отрицательным. От полученной таким образом точки вправо проводится черным цветом выносная линия, около которой записывается «Уровень конвекции».

Определить максимальную температуру воздуха (рис. 13). На кривой стратификации от исходного уровня, высота которого определяется по данным табл. 2.2, следует опуститься по сухой адиабате для теплого периода и по влажной — для холодного периода до точки, соответствующей давлению у земной поверхности.



Определенная таким образом точка покажет значение максимальной температуры воздуха  $T_{\text{макс}}$  при безоблачном небе.

При наличии облачности максимальная температура рассчитывается по формуле

$$T_{\text{макс. об}} + T_0 m \Delta T, \quad (2.2)$$

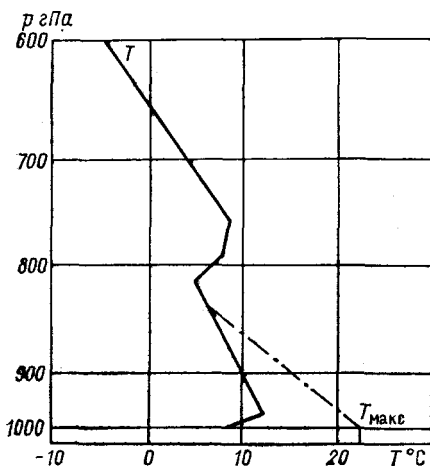


Рис. 13. Схема прогноза максимальной температуры.

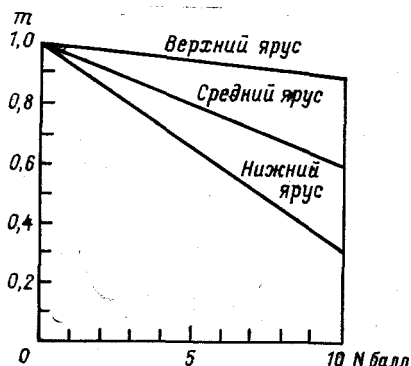


Рис. 14. График для учета количества облачности при прогнозе максимальной температуры.

где  $\Delta T = T_{\text{макс}} - T_0$ ;  $T_0$  — температура у земной поверхности в срок зондирования;  $m$  — коэффициент, учитывающий прогностические значения количества и высоты облаков (определяется по графику, представленному на рис. 14).

Определить относительную влажность на всех основных изобарических поверхностях по номограмме, помещенной в правом

Таблица 2.2

**Значения высоты исходного уровня (км) при определении максимальной температуры воздуха**

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

верхнем углу аэрологической диаграммы (рис. 15). По горизонтальной оси номограммы отложены значения дефицитов точки росы, а наклонные линии соответствуют различной температуре воздуха. По этим входным данным на вертикальной оси отсчитать значения относительной влажности. Результаты расчета записать в графу 8 таблицы с исходными данными (см. таблицу на с. 28).

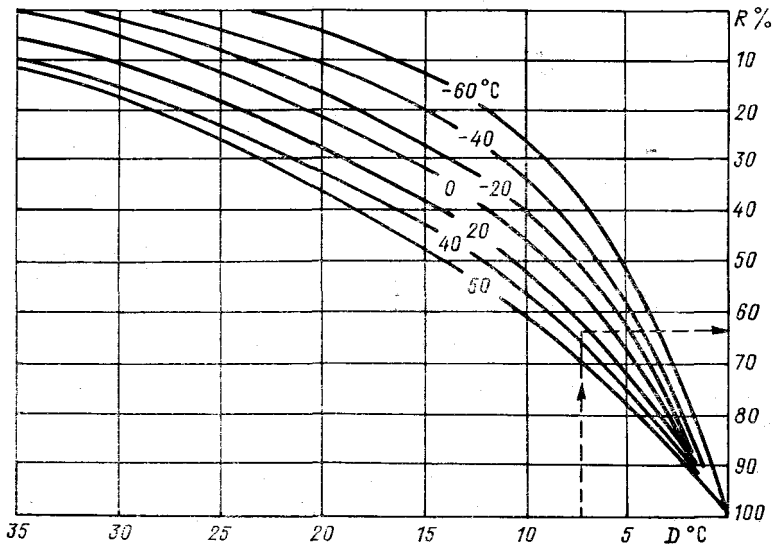


Рис. 15. Номограмма для определения относительной влажности воздуха.

✓ Определить толщину конвективно-неустойчивого слоя (КНС) (рис. 16). Для этого по аэрологической диаграмме от нулевого уровня из точки, температура которой соответствует спрогнозированной максимальной температуре воздуха, необходимо подняться по сухой адиабате до пересечения с кривой стратификации, а затем опуститься по изограмме до пересечения с кривой температуры точки росы. Уровень, на котором находится эта точка, является верхней границей КНС. За нижнюю границу КНС принимается или земная поверхность или верхняя граница приземного инверсионного слоя. Толщина КНС определяется в гектопаскалях. При определении КНС все построения производить черным цветом, а КНС заштриховать.

✓ Определить возможность возникновения гроз. В тех случаях, когда разница высот уровня конвекции и уровня конденсации превышает 4500 м, следует ожидать возникновения гроз.

✓ Определить максимальную скорость ветра у земли при грозах (рис. 17). Для этого следует рассчитать для уровня 600 гПа раз-

ность температур  $\Delta T$  на кривой стратификации и влажной адиабате, проведенной от значения максимальной температуры. Максимальная скорость ветра (м/с)  $V_{\text{max}} = 2\Delta T$ .

Определить температуру туманообразования (рис. 18). Для возникновения тумана необходимо, чтобы температура воздуха

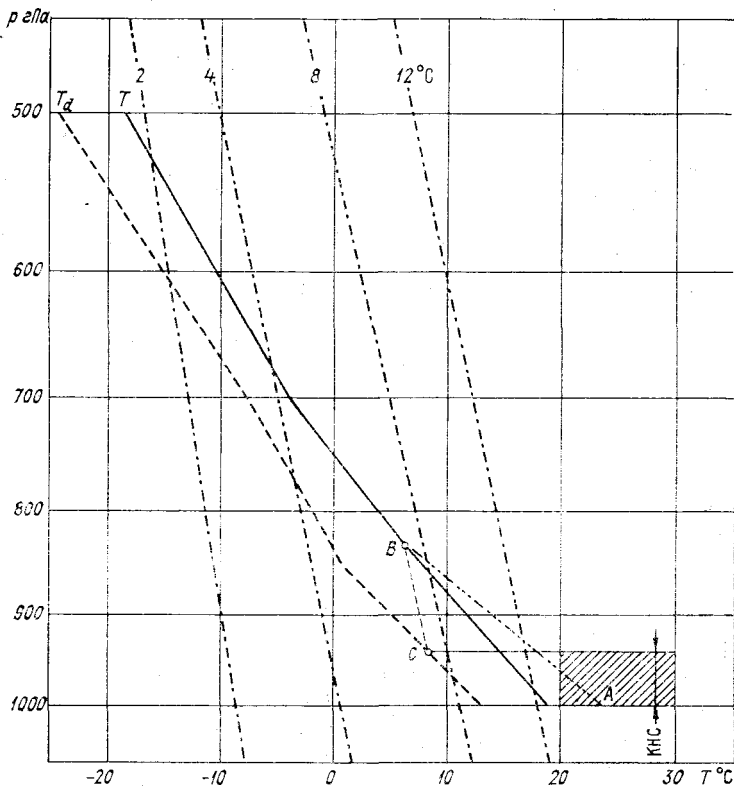


Рис. 16. Схема определения конвективно-неустойчивого слоя (КНС).

понижилась до температуры точки росы, а затем уменьшилась еще на некоторое значение. Это дополнительное понижение температуры необходимо для конденсации водяного пара, обуславливающего возникновение тумана. Количество сконденсированной влаги  $\Delta q$  (г/кг), необходимое для образования тумана, зависит от температуры точки росы и определяется из данных табл. 2.3.

Таблица 2.3

**Количество сконденсированной влаги  $\Delta q$ , обуславливающее возникновение тумана при различных значениях температуры точки росы**

$T_d$ °C . . . . .	-20... -10	-10... 0	0... 10	$\geq 10$
$\Delta q$ г/кг . . . . .	0,1—0,2	0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8
	$t_2$	$t_1$	$t_2$	

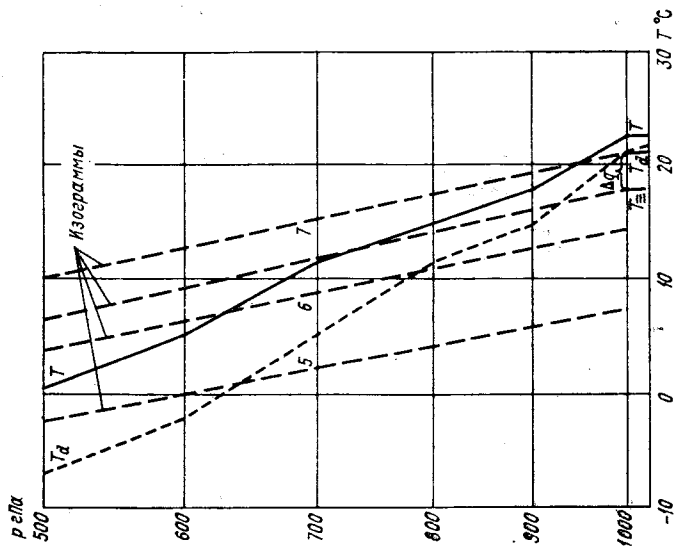


Рис. 17. Прогноз максимальных порывов ветра у земли при грозах.

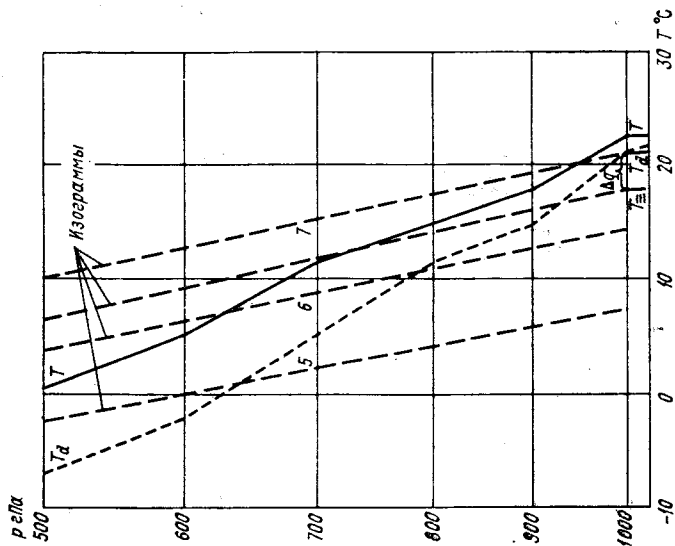


Рис. 18. Схема определения температуры туманообразования.





## Использование аэрологической диаграммы для анализа условий погоды

*Вариант 9*

ТТАА	27001	28698	99010	12426	15004	00091	12426	16007	85513
	06615	18015	70000	05115	18024	50555	17149	20030	40751
	29760	21035	30918	40160	21042	25074	47560	21047	20160
	55960	21031	15343	51760	21024	10605	50960	21013	88200
	55960	21031	77245	21048					
ТТВВ	2700/	28698	00010	12426	11980	12426	22920	12617	33655
	05115	44637	06314	21212	00010	15004	11900	17010	22880
	18012	33760	19020	44670	26026				

*Вариант 10*

ТТАА	27001	29634	99007	21020	17003	00064	21020	17005	85504
	12216	18011	70995	01914	18519	50541	14157	19025	40738
	22321	19032	30904	34760	19043	25019	44560	19026	20207
	54960	19017	15300	52560	19514	10611	51760	20005	88210
	55360	19019	77280	19045					
ТТВВ	2700/	29634	00007	21020	11970	21820	22900	16616	33684
	03114	44640	03914	21212	00007	17003	11950	18009	22890
	18010	33810	18512	44645	19022				

### Лабораторная работа 3

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛЕТА ПО ТРАССЕ И РАСХОД ТОПЛИВА

Цель работы: изучить и оценить влияние температуры на продолжительность полета и расход топлива.

### Влияние температуры воздуха на продолжительность полета и расход топлива

Дальность полета — это расстояние, которое может пролететь летательный аппарат в одном направлении при расходовании определенного запаса топлива. Она складывается из участков набора высоты  $L_{\text{нб}}$ , горизонтального полета  $L_{\text{г. п}}$  и снижения  $L_{\text{сниж}}$ :

$$L = L_{\text{нб}} + L_{\text{г. п}} + L_{\text{сниж}}. \quad (3.1)$$

Участок горизонтального полета составляет примерно 85% всего расстояния для самолетов средней дальности и 95% для самолетов большей дальности. Существуют различные понятия дальности полета.

Техническая дальность — горизонтальный путь, проходимый летательным аппаратом при наборе высоты, горизонтальном полете и снижении (планировании) до полного выгорания топлива.

Практическая дальность меньше технической, так как при ее определении предусматривается гарантийный запас топлива, равный 10—15% заправки. Этот запас топлива называется аэронавигационным и планируется для выполнения различных маневров перед посадкой, для повторного захода на посадку и т. п.

Тактическая дальность еще меньше, чем практическая. При ее определении учитываются запасы топлива на выполнение маневров по высоте или в районе аэродрома, а также на выполнение других задач, не связанных с продвижением по маршруту и зависящих от метеорологической обстановки, условий базирования и характера полета. Иногда полет выполняется с возвратом на аэродром вылета.

Наибольшее расстояние, которое может пролететь воздушное судно при условии его возврата на аэродром вылета без промежуточных посадок, называется радиусом действия  $R$ .

Время, в течение которого летательный аппарат может держаться в воздухе до полного выгорания данного запаса топлива, называется продолжительностью полета  $t$ .

Дальность и продолжительность полета на горизонтальном участке при запасе топлива  $G_t$  определяется по известным километровому расходу топлива  $C_k$  и часовому расходу топлива  $C_ч$ .



Километровый расход топлива  $C_k$  — это расход топлива в килограммах (на все двигатели летательного аппарата) на один километр воздушного пути. Часовой расход топлива  $C_ч$  — расход топлива в килограммах за один час полета. Другими словами, дальность  $L$  и продолжительность  $\tau$  полета можно выразить через соотношения

$$L = \frac{G_T}{C_k}, \quad \tau = \frac{G_T}{C_ч}. \quad (3.2)$$

Часовой расход топлива зависит от силы тяги, развиваемой двигателем, и от экономичности двигателя (удельного расхода топлива): и определяется по формуле

$$C_ч = PC_p, \quad (3.3)$$

где  $P$  — сила тяги, развиваемой двигательной установкой, кг;  $C_p$  — удельный расход топлива в килограммах за один час на 1 кг тяги.

Располагаемая сила тяги  $P_{рсп}$ , т. е. наибольшая сила тяги, которую может развить двигатель на данной высоте при допустимом режиме его работы, определяется по формуле

$$P_{рсп} = \frac{G_B}{g} (C - V), \quad (3.4)$$

где  $G_B$  — масса воздуха, проходящего через двигатель за секунду;  $g$  — ускорение свободного падения;  $C$  — скорость истечения газов из двигателя;  $V$  — скорость поступления воздуха в двигатель.]

Из формулы (3.4) видно, что располагаемая сила тяги прямо пропорциональна расходу смеси воздуха топливом. Расход воздуха в свою очередь зависит от плотности воздуха, уменьшение ее (повышение температуры воздуха или падение давления) должно вызывать снижение располагаемой силы тяги. При полете на постоянной высоте по барометрическому высотомеру давление остается неизменным, и располагаемая сила тяги в этом случае зависит только от температуры воздуха. При положительных отклонениях температуры воздуха от стандартной сила тяги уменьшается, при отрицательных, наоборот, увеличивается.

Зависимость часового расхода топлива от атмосферных условий можно выразить соотношением

$$c_ч = c_{ч, CA} \frac{P}{P_{CA}} \sqrt{\frac{T}{T_{CA}}}, \quad (3.5)$$

где  $c_ч$  и  $c_{ч, CA}$  — часовой расход топлива в реальных условиях и в стандартной атмосфере соответственно, кг/ч. Так как высота полета задается по барометрическому высотомеру, то  $P = P_{CA}$ . Тогда уравнение (3.5) примет вид

$$c_ч = c_{ч, CA} \sqrt{\frac{T}{T_{CA}}}. \quad (3.6)$$

Следовательно, при понижении давления и температуры воздуха часовой расход топлива уменьшается.

Километровый и часовой расходы топлива связаны следующим соотношением

$$c_k = \frac{c_p P}{W} = \frac{c_q}{W}, \quad (3.7)$$

где  $W$  — путевая скорость.

В горизонтальном полете сила тяги  $P$ , развиваемая двигателем, равна лобовому сопротивлению  $X$ . В этом случае формула часового расхода топлива приобретает вид

$$c_q = X c_p. \quad (3.8)$$

Для километрового расхода, учитывая (3.7) и (3.8), можно записать

$$c_k = \frac{X}{W} c_p, \quad (3.9)$$

или, выражая  $X$  через вес и аэродинамическое качество самолета, окончательно получим

$$c_k = G \frac{c_p}{WK}. \quad (3.10)$$

Если считать километровый расход неизменным в течение всего полета, то можно получить формулу дальности полета (при безветренной погоде):

$$L = \frac{G_{т.г.п}}{G} \frac{KW}{c_p}, \quad (3.11)$$

где  $G_{т.г.п}$  — располагаемый запас топлива для горизонтального полета.

Аналогичную формулу можно получить и для продолжительности полета:

$$\tau = \frac{G_{т.г.п}}{G} \frac{K}{c_p}. \quad (3.12)$$

При наборе высоты расход топлива больше, чем в горизонтальном полете с такой же скоростью, так как требуется дополнительная сила тяги на преодоление составляющей веса самолета, направленной против движения.

Если данные о расходе топлива при наборе высоты, полученные путем летных испытаний, отсутствуют, то для определения расхода можно воспользоваться формулой

$$\Delta G_{\tau} = \frac{\Delta t \bar{c}_q}{60}, \quad (3.13)$$

где  $\Delta G_T$  — расход топлива на данном участке набора высоты, кг;  $\Delta t$  — продолжительность участка набора высоты, мин;  $\bar{c}_ч$  — средний часовой расход топлива, кг/ч. Для расчета по этой формуле нужно иметь барограмму подъема и часовой расход топлива на разных высотах. Средний часовой расход топлива приближенно можно определить как часовой расход на средней высоте. Чем меньше участки подъема, тем точнее расчет. Суммарный расход получается при сложении полученных значений  $\Delta G_T$ .

Расход топлива на разгон самолета в горизонтальном полете рассчитывается также по формуле (3.13), но имеется в виду не участки подъема, а участки разгона самолета.

При планировании и торможении в полете двигатели работают, как правило, на минимально допустимых оборотах. Зная часовой расход топлива на этих оборотах, можно рассчитать расход при планировании и торможении с помощью формулы (3.13).

В заключение отметим, что самолет взлетает при достижении скорости отрыва  $V_{отр}$  (м/с), которую можно определить по формуле

$$V_{отр} = \sqrt{\frac{2G}{c_{y\text{отр}}\rho S_K}}. \quad (3.14)$$

Если температура и давление у земли изменяются таким образом, что плотность воздуха уменьшается, то скорость отрыва растет, и наоборот. Принято считать, что длина разбега  $L_{раз}$  при взлете равна:

$$L_{раз} = \frac{L_{раз\text{CA}}}{\Delta^3}, \quad \Delta = \frac{\rho}{\rho_{CA}}. \quad (3.15)$$

Для комплексного учета влияния температуры и давления существуют специальные графики.

Посадочная скорость самолета вычисляется по формуле

$$V_{пос} = 0,95 \sqrt{\frac{2G}{c_{y\text{пос}}\rho S_K}}, \quad (3.16)$$

а длина пробега после посадки определяется соотношением

$$L_{прб} = L_{прб\text{CA}} (0,95 + 0,0031t_0), \quad (3.17)$$

где  $t_0$  — температура воздуха у земли.

### Контрольные вопросы

1. От чего зависят дальность и продолжительность полета?
2. Как влияет отклонение температуры воздуха от стандартной на часовой расход топлива?
3. Как учесть отклонение реальных условий от стандартной атмосферы при определении длины разбега (пробега) самолета при взлете (посадке)?

### Материалы для работы

#### 1. Авиационная карта погоды (АКП).

#### Рекомендуемая литература

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 34—52.

2. Таблицы стандартной атмосферы (ГОСТ 4401—81). — М.: Госстандарт, 1981. — 43 с.

#### Порядок выполнения работы

1. Для заданного типа самолета и числа  $M$  определить скорость полета в стандартных условиях на выбранном эшелоне.

2. Рассчитать фактическую скорость полета самолета на эшелоне при отклонениях температуры воздуха от стандартной на  $\pm 5, 10, 15$  и  $20^\circ\text{C}$ .

3. Определить фактический часовой расход топлива при отклонениях температуры воздуха от стандартной на  $\pm 5, 10, 15$  и  $20^\circ\text{C}$  (данные о часовом расходе топлива в стандартных условиях для различных типов самолетов приведены в приложении 3.1).

4. Для трассы, указанной преподавателем (приложение 3.2), рассчитать по АКП фактическое время полета по маршруту и фактический расход топлива. Полученные результаты сравнить со стандартными условиями.

5. Проанализировать полученные результаты.

#### Методические указания

1. Скорость полета в стандартных условиях для заданного числа  $M$  на выбранном эшелоне полета определить по формуле

$$V_{CA} = Ma, \quad (3.18)$$

где  $a$  — скорость звука, м/с;  $a = 20,05\sqrt{T_{CA}}$ ;  $T_{CA}$  — стандартная температура на эшелоне полета,  $^\circ\text{C}$ .

2. Для определения фактической скорости полета самолета на эшелоне следует воспользоваться формулой

$$V_{\Phi} = V_{CA} \sqrt{\frac{T_{\Phi}}{T_{CA}}}, \quad (3.19)$$

где  $V_{\Phi}$ ,  $V_{CA}$  — соответственно фактическая скорость полета самолета и скорость полета в стандартных условиях;  $T_{\Phi}$ ,  $T_{CA}$  — фактическая температура воздуха и стандартная температура на эшелоне полета.

3. Фактический часовой расход топлива  $c_{ч. ф}$  при различных отклонениях температуры воздуха от стандартной определить по формуле

$$c_{ч. ф} = c_{ч. СА} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{СА}}} \quad (3.20)$$

Результаты расчетов для пп. 2 и 3 записать в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$T_{СА} = \underline{\hspace{2cm}}$      $V_{СА} = \underline{\hspace{2cm}}$      $c_{ч. СА} = \underline{\hspace{2cm}}$

$\Delta T = T_{\phi} - T_{СА}$	$T_{\phi} = T_{СА} + \Delta T$	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{СА}}}$	$V_{\phi} = V_{СА} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{СА}}}$	$c_{ч. ф} = c_{ч. СА} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{СА}}}$
-20 °С				
-15				
-10				
-5				
5				
10				
15				
20				

Затем данные расчеты изобразить графически в тетради в удобном для работы масштабе. При построении графика по горизонтальной оси откладывать значения  $\Delta T$ , а по вертикальной — значения  $V_{\phi}$  и  $c_{ч. ф}$ .

4. На АКП провести ось маршрута, указанного преподавателем.

Маршрут разбить на участки и для каждого участка определить фактическую скорость полета, фактический расход топлива и фактическое время пролета.

Разбивку трассы на участки производить таким образом, чтобы на концах каждого участка разность температур составляла 2—3 °С. При выполнении расчетов средняя температура на участке принимается за фактическую  $T_{\phi}$ .

Полученные результаты расчета записать в табл. 3 следующего вида:

Таблица 3.2

Номер участка	$S_{уч}$ км	$T_{\phi}$ К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{СА}}}$	$V_{\phi}$ км/ч	$c_{ч. ф}$ кг/ч	$G_{\phi}$ кг	$t_{\phi}$ ч
1							
2							
3							

$S = \underline{\hspace{2cm}}$      $t_{\phi} = \underline{\hspace{2cm}}$      $G_{\phi} = \underline{\hspace{2cm}}$      $t_{СА} = \underline{\hspace{2cm}}$      $G_{СА}^* = \underline{\hspace{2cm}}$

Сравнить полученные результаты фактического времени полета и фактического расхода топлива со стандартными значениями. Стандартные значения указанных величин взять из условий предыдущей задачи.

Варианты для выполнения работы приведены в приложениях 3.1 и 3.2.

### Отчетный материал

1. Таблицы, заполненные по форме табл. 3.1 и 3.2.
2. График зависимости  $V_{\phi}$  и  $c_{\text{ч.ф}}$  от величин  $\Delta T$ , построенный на отдельном листе.
3. Построенная на АКП трасса полета с указанием номеров и границ участков.

#### Приложение 3.1

##### Исходные данные

Вариант 1

Ил-62;  $M = 0,75$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 8620$  кг/ч.

Вариант 2

Ил-62;  $M = 0,81$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 9020$  кг/ч.

Вариант 3

Ил-62;  $M = 0,84$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 9310$  кг/ч.

Вариант 4

Ту-154;  $M = 0,76$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 6370$  кг/ч.

Вариант 5

Ту-154;  $M = 0,80$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 6730$  кг/ч.

Вариант 6

Ту-154;  $M = 0,83$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 6950$  кг/ч.

Вариант 7

Ту-134;  $M = 0,71$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 3130$  кг/ч.

Вариант 8

Ту-134;  $M = 0,77$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 3440$  кг/ч.

Вариант 9

Ту-134;  $M = 0,82$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 3690$  кг/ч.

Вариант 10

Ил-86;  $M = 0,79$ ;  $c_{\text{ч.СА}} = 12400$  кг/ч.

14.09.86 г. [3 кл.] [Подпись]

## Приложение 3.2

**Варианты маршрутов полета по картам**АТ<sub>400</sub> за 3 ч

Ленинград—Краснодар, Архангельск—Астрахань, Сыктывкар—Красноводск, Самарово—Гурьев, Киров—Джезказган.

АТ<sub>300</sub> за 3 ч

Вологда—Ургенч, Ленинград—Баку, Уфа—Ташкент, Горький—Красноводск, Хельсинки—Ростов-на-Дону.

АТ<sub>200</sub> за 3 ч

Калининград—Синоп, Рига—Сухуми, Петрозаводск—Астрахань, Сыктывкар—Баку, Киров—Ургенч.

АТ<sub>400</sub> за 15 ч

Таллин—Тбилиси, Архангельск—Волгоград, Самарово—Астрахань, Свердловск—Красноводск, Новосибирск—Кзыл-Орда.

АТ<sub>300</sub> за 15 ч

Хельсинки—Краснодар, Вологда—Сухуми, Сыктывкар—Гурьев, Самарово—Оренбург, Киров—Кзыл-Орда.

АТ<sub>200</sub> за 15 ч

Горький—Симферополь, Москва—Тбилиси, Сыктывкар—Оренбург, Казань—Красноводск, Свердловск—Астрахань.

## Лабораторная работа 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОЛКА САМОЛЕТА

Цель работы: научиться определять высоту потолка самолета и оценивать степень влияния на нее отклонений температуры воздуха от стандартной.

#### Потолок самолета и его изменение в зависимости от параметров атмосферы

Для анализа результатов летных испытаний их необходимо привести к стандартным условиям, а точнее к стандартным высотам. Стандартная высота — это такая высота, на которой атмосферные условия, наблюдавшиеся во время испытаний, аналогичны условиям стандартной атмосферы. Стандартные высоты, определенные отдельно по различным параметрам атмосферы, будут различными. Поэтому для приведения условий к стандартным используются следующие характеристики: барометрическая высота  $z_p$ , высота по плотности воздуха  $z_\rho$  и высота по температуре  $z_T$ , т. е. те высоты в стандартной атмосфере, на которых давление  $p$ , плотность  $\rho$  и температура воздуха  $T$  равны фактическим (реальным) значениям на высоте полета. Выбор способа приведения высоты зависит от характера решаемой задачи.

Чаще всего высота определяется по барометрическому высотомеру, который градуируется для условий стандартной атмосферы по барометрической формуле

$$z_{CA} = 18\,400 \frac{T_{mCA}}{T_{0CA}} \lg \frac{p_{0CA}}{p}, \quad T_m = \frac{T_z + T_0}{2}, \quad (4.1)$$

где  $T_0$  и  $p_0$  — температура и давление воздуха на нижней границе слоя толщиной  $\Delta z$ ;  $T_z$  — температура воздуха на верхней границе этого слоя. В реальных условиях барометрическая формула имеет вид

$$z_\Phi = 18\,400 \frac{T_{m\Phi}}{T_{0CA}} \lg \frac{p_{0CA}}{p}. \quad (4.2)$$

Разделив (4.2) на (4.1), получим

$$z_\Phi = z_{CA} \frac{T_{m\Phi}}{T_{mCA}}. \quad (4.3)$$

Фактические условия погоды почти всегда отличаются от стандартных, т. е., строго говоря,  $p_0 \neq p_{0CA}$ , но ошибку легко устранить конструктивным способом в самом высотомере или поправкой, вычисляемой по соотношению

$$\Delta z = 10(p_0 - 760). \quad (4.4)$$



Поскольку давление измеряется на метеорологической станции, а взлет самолета осуществляется с взлетно-посадочной полосы (ВПП), то на борт самолета (вертолета) передается давление, приведенное к уровню ВПП с помощью барометрической ступени  $\Delta z$  (м/гПа). Величина  $\Delta z$  определяется по формуле

$$\Delta z = \frac{8000}{p} (1 + 0,004t), \quad (4.5)$$

где  $t$  — температура воздуха, °С. Барометрическая ступень показывает на сколько должна измениться высота, чтобы давление изменилось на единицу.

Высота полета может определяться над уровнем моря (абсолютная высота), либо относительно ВПП (относительная высота) или как расстояние до земной поверхности, над которой пролетает летательный аппарат (истинная высота). Для обеспечения безопасности полетов по воздушным трассам осуществляется вертикальное эшелонирование, т. е. полеты разрешается выполнять на строго определенных высотах (эшело́нах) по барометрическому высотометру относительно условного нулевого уровня ( $p_0 = 760$  мм рт. ст.). Эшелоны полета приведены в «Наставлении по производству полетов в гражданской авиации СССР» (НПП ГА—85).

Одной из важнейших летно-технических характеристик летательного аппарата, учитываемых при выборе эшелона, является его потолок. Потолок самолета (вертолета) — это наибольшая высота, на которую он может подняться при определенном режиме полета. Потолок зависит от физического состояния атмосферы. Полет самолета вблизи потолка является наиболее рентабельным, так как с высотой уменьшается расход топлива и повышается дальность полета.

По мере подъема на высоту избыток тяги уменьшается, т. е. одновременно уменьшается и вертикальная скорость набора высоты. Высота, на которой избыток тяги и вертикальная скорость равны нулю, называется теоретическим потолком. На этой высоте возможен только горизонтальный полет на наиболее выгоднейшей скорости.

Достигнуть теоретического потолка летательный аппарат практически не может, так как по мере приближения к нему избыток тяги становится все меньше и для набора оставшейся высоты потребуется затратить слишком много времени и топлива. Уменьшение полетной массы вследствие расхода топлива приводит к увеличению теоретического потолка. Поэтому введено понятие практического потолка, определяемого как высота полета, на которой максимальная вертикальная скорость равна 0,5 м/с для поршневых и 5 м/с для реактивных самолетов.

Вертикальная скорость  $V_y$  и время набора высоты 11 км  $\delta\tau$  (с) характеризуют скороподъемность самолета:

$$\delta\tau = \frac{H (11 \text{ км})}{V_y}. \quad (4.6)$$

Скороподъемность и потолок самолета обычно указываются для стандартных атмосферных условий. Температура воздуха может значительно отличаться от стандартной, что оказывает существенное влияние на располагаемую силу тяги. Скороподъемность и потолок при повышении температуры воздуха уменьшаются, а при понижении увеличиваются.

Так как потолок самолета в значительной степени зависит от метеорологических условий, то для обеспечения безопасности была уменьшена предельно допустимая высота полета. Однако оперативный учет влияния физического состояния атмосферы на летно-технические характеристики самолетов позволяет более рационально решить задачу обеспечения безопасности полетов.

Максимальную высоту полета следует определять исходя из учета отклонения фактической температуры воздуха от стандартной. Поэтому в прогнозах погоды, предназначенных для высотных полетов, прежде всего необходимо указывать положительные отклонения температуры воздуха.

#### *Контрольные вопросы*

1. Что влияет на отклонение фактической высоты полета, определяемой по барометрическому высотомеру, от стандартной?
2. Относительно чего может определяться высота полета?
3. Что называется потолком самолета?
4. В чем отличие теоретического, практического и динамического потолков?
5. Каким образом определяется фактическая высота потолка самолета?

#### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа.
2. Лист миллиметровой бумаги.

#### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М. Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 53—56.
2. Учебный авиационный метеорологический атлас.

*Порядок выполнения работы*

1. Для трассы, указанной преподавателем, определить фактический потолок самолета. Для этой цели использовать авиационную карту и приземную карту погоды за один и тот же срок наблюдения.
2. Построить график отклонения фактического потолка самолета от стандартного по всей трассе.
3. Проанализировать полученные результаты.

*Методические указания*

1. Для выполнения данной работы использовать трассу, которая была указана преподавателем при выполнении лабораторной работы 3. Расчет проводить для одного из четырех типов самолетов (Ту-134, Ту-154, Ил-62 или Ил-86), указанных преподавателем. Отклонение потолка самолета  $\Delta H_{пт}$  (м) от стандартного рассчитать по формулам

$$\Delta H_{пт} = H_{пт. ф} - H_{пт. СА} = (p_{0 ф} - p_{0 СА}) 8 - (T_{Н ф} - T_{Н СА}) 80, \quad (4.7)$$

$$\Delta H_{пт}^{\dot{}} = k \Delta T_{Н}, \quad (4.8)$$

где  $p_{0 ф}$ ,  $p_{0 СА}$  — фактическое и стандартное атмосферное давление у земли, гПа;  $T_{Н ф}$ ,  $T_{Н СА}$  — фактическая и стандартная температура воздуха на высоте потолка самолета, °С;  $k$  — коэффициент; для разных типов самолета этот коэффициент различен:

Тип самолета . . . . .	Ту-134	Ту-154	Ил-62	Ил-86
$k$ . . . . .	—40	—55	—100	—130

$\Delta T_{Н} = T_{Н ф} - T_{Н СА}$  — отклонение температуры воздуха от стандартной на высоте потолка самолета.

При выполнении расчетов по формулам (4.7) и (4.8) значения  $p_{0 ф}$  снимать с приземной синоптической карты, а за величины  $T_{Н ф}$  и  $T_{Н СА}$  принимать фактическую и стандартную температуру воздуха на том уровне, для которого построена АКП.

2. При построении графиков отклонений потолка самолета от стандартного следует выбрать масштаб: по вертикали 1 см — 250 м, а по горизонтали 1 см — 150 км.

3. При анализе построенных кривых сравнить результаты расчета по формулам (4.7) (более точной) и (4.8). Затем оценить отклонение потолка от стандартного и разность полученных результатов при использовании той или другой формулы.

## Отчетный материал

1. Таблица с результатами расчета следующего вида:

Таблица 4.1

Номер точки	$p_0$ гПа	$\Delta p_0$ гПа	$\Delta p \cdot 8$ гПа	$T_{НФК}$	$\Delta T_{НК}$	$\Delta T_{H^{80}}$	$\Delta H_{пт}^{(1)} = 8 \Delta p_0 + 80 \Delta T_{H M}$	$\Delta H_{пт}^{(2)} = k \Delta T_{H M}$

2. Построенный график отклонений самолета от стандартного, рассчитанных по формулам (4.7) и (4.8). Составленный на отдельном листе анализ полученных результатов, в котором должны быть отражены:

- участки с максимальным и минимальным отклонением потолка самолета от стандартного;
- перепад высот потолка по заданному маршруту;
- максимальная и минимальная разность при определении потолка самолета по формулам (4.7) и (4.8).

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕТРА НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНОГО СУДНА**

Цель работы: научиться оценивать влияние скорости и направления ветра на взлет, посадку и полет самолета.

**Влияние ветра на взлет, посадку и полет самолета**

Скорость и направление ветра оказывают значительное влияние на движение самолета.

Взлет и посадка самолета осуществляются против ветра. Это увеличивает устойчивость и управляемость самолета, снижает время и длину разбега (при взлете) и пробега (при посадке). Для оценки изменения времени и длины разбега (пробега) при встречном ветре по сравнению со штилевыми условиями используются соотношения

$$\frac{t}{t_0} = 1 - \frac{u}{V}, \quad (5.1)$$

$$\frac{L}{L_0} = \left(1 - \frac{u}{V}\right)^2, \quad (5.2)$$

где  $t$  и  $L$  — соответственно время и длина разбега (пробега) при встречном ветре  $u$ ;  $t_0$  и  $L_0$  — то же в штилевых условиях;  $V$  — скорость отрыва (посадки).

При попутном ветре ухудшаются взлетно-посадочные характеристики самолета, увеличиваются время и длина разбега и пробега. При этом самолет может выкатиться за пределы ВПП.

Сильный боковой ветер (или его боковая составляющая) может представлять большую опасность как для взлета, так и для посадки. Вследствие неравномерного обдува самолета при боковом ветре создаются кренящий и разворачивающий моменты, приводящие к опрокидыванию или развороту (сносу) самолета относительно оси ВПП. Поэтому для каждого типа самолета вводятся ограничения на допустимую величину бокового ветра или его боковой составляющей. Зная скорость ветра  $u$  и угол  $\beta$ , под которым он направлен к оси ВПП, можно по номограмме, представленной на рис. 19, определить боковую составляющую ветра  $u_{\text{БК}}$  и оценить возможность безопасного взлета и посадки самолета, сравнив боковую составляющую с ее допустимым значением.

Для экипажей самолетов и диспетчерского состава необходима информация о ветре на высоте круга. Эта высота составляет 300—600 м и определяется Инструкцией по проведению полетов на данном аэродроме. Скорость ветра  $u_{\text{КР}}$  на уровне круга можно оценить, зная скорость геострофического ветра  $u_g$ , определяемую по приземному полю давления. Для расчета скорости ветра на высоте

300 м при внутримассовых квазистационарных условиях в равнинных районах средних широт применяется предложенная Н. В. Петренко и В. Г. Глазуновым формула

$$u_{кр} = 0,52u_g + 1,3, \quad (5.3)$$

где  $u_{кр}$  — скорость ветра на уровне круга, м/с.

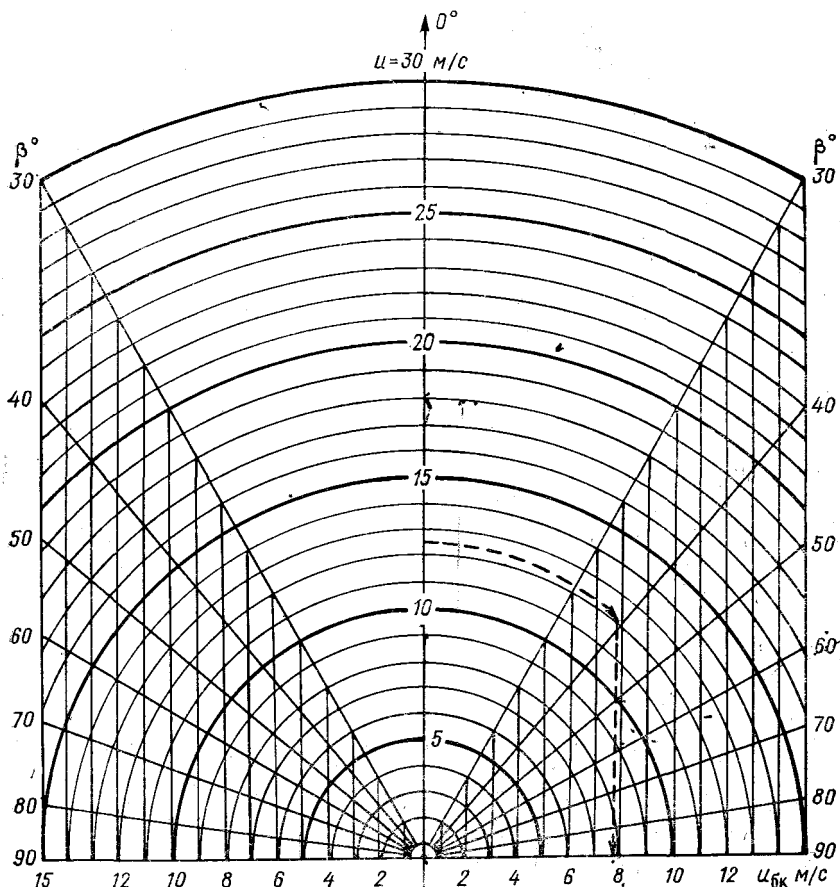


Рис. 19. Номограмма для определения бокового ветра (или боковой составляющей ветра) по скорости ветра  $u$  и углу  $\beta$  между направлением ветра и осью ВПП.

Направление ветра на уровне круга определяется по направлению геострофического ветра с учетом отклонения от него на  $20^\circ$  влево.

Построение подобных уравнений регрессии для прогноза ветра на высоте круга над данным аэродромом позволяет учесть мест-

ные особенности ветрового режима. Этот подход дает возможность прогнозировать ветер на высоте круга на ближайшие 3 ч, если не ожидается значительного изменения синоптической ситуации.

Как показал опыт эксплуатации современных лайнеров, для их взлета и посадки большую опасность может представлять сильный (более 4 м/с на 30 м высоты) вертикальный сдвиг ветра в самом нижнем слое атмосферы.

При резком увеличении ветра с высотой самолет «подбрасывает» при взлете со встречным ветром и, наоборот, он «проваливается» при посадке. Уменьшение встречного ветра с высотой приводит к «проваливанию» самолета при наборе высоты или к «подбрасыванию» при посадке. Эти эволюции самолета в вертикальной плоскости, неожиданные для экипажа, могут привести к летному происшествию вследствие столкновения с окружающими высокими естественными препятствиями и искусственными сооружениями, при нарушении коридоров набора высоты и снижения, а также вследствие приземления самолета вне ВПП или выкатывания за ее пределы.

Аэросиноптические условия, способствующие увеличению сдвига ветра, отмечаются при прохождении атмосферных фронтов, при развитии интенсивной конвекции (грозово-градовые облака), при формировании инверсионного распределения температуры с высотой. Образованию локальных зон сильных сдвигов ветра способствуют и особенности рельефа и застройки района аэродрома.

В случае прохождения холодного фронта, имеющего скорость перемещения  $V_f$  и температурный контраст  $\Delta T$ , А. А. Васильев рекомендует оценивать возможность умеренных и сильных вертикальных сдвигов ветра по графику, приведенному на рис. 20.

Ветер оказывает существенное влияние на характеристики крейсерского полета самолета. Их изменение под действием ветра можно оценить, если рассмотреть навигационный треугольник скоростей (рис. 21), образованный векторами воздушной скорости  $V$ , скорости ветра  $u$  и путевой скорости  $W$ . Последняя представляет собой векторную сумму  $V$  и  $u$ . Элементами навигационного треугольника скоростей являются также угол сноса  $\varphi$ , показывающий, насколько отличается путевой угол  $\alpha$  от курса самолета  $\gamma$  (т. е.  $\alpha = \gamma + \varphi$  с учетом знака угла сноса  $\varphi$ ), и угол ветра  $\varepsilon$ , определяемый по формуле

$$\varepsilon = \begin{cases} \delta - \alpha - 180^\circ, & \text{если } \delta > \alpha, \\ \delta - \alpha + 180^\circ, & \text{если } \delta < \alpha, \end{cases} \quad (5.4)$$

где  $\delta$  — направление ветра (метеорологическое).

На основании величин  $u$ ,  $V$  и  $\varepsilon$  можно рассчитать угол сноса

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{u}{V} \sin \varepsilon\right) \quad (5.5)$$

и определить курс  $\gamma$ , необходимый для того, чтобы выдерживать направление полета по заданному путевому углу  $\alpha$ :

$$\gamma = \alpha - \varphi. \quad (5.6)$$

Путевая скорость  $W$  (км/ч) определяется по формуле

$$W = u \cos \varepsilon + V \cos \varphi, \quad (5.7)$$

а продолжительность полета  $t$  (ч) на участке трассы длиной  $S$  (км) оценивается по соотношению

$$t = \frac{S}{W}. \quad (5.8)$$

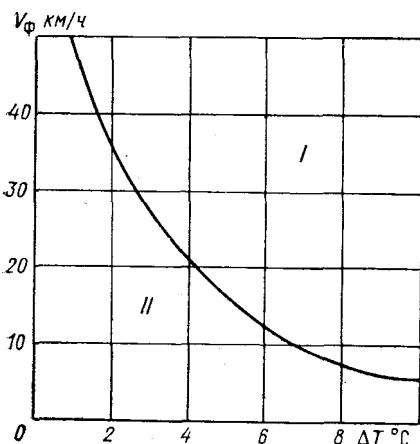


Рис. 20. График для определения возможности умеренного и сильного вертикального сдвига ветра в нижнем 100-метровом слое атмосферы в зоне холодного фронта (по методу А. А. Васильева).

I — зона умеренного и сильного сдвига ветра (более 2 м/с на 30 м); II — зона слабого сдвига ветра (менее 2 м/с на 30 м).

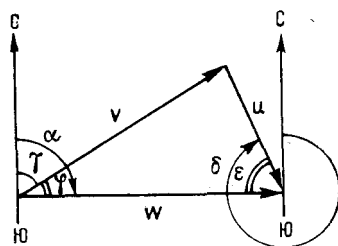


Рис. 21. Навигационный треугольник скоростей.

Таким образом, используя информацию о поле фактического или прогнозируемого ветра по трассе, можно охарактеризовать изменение продолжительности полета по сравнению со стандартными (штилевыми) условиями и дать рекомендации по оптимизации режима полета с учетом ветра или по выбору оптимальной траектории.

### Контрольные вопросы

1. Как изменяются взлетно-посадочные характеристики самолета под влиянием ветра?



2. В чем опасность сильного бокового ветра или боковой составляющей ветра?
3. Как прогнозируется ветер на высоте круга?
4. В чем заключается опасность сильных сдвигов ветра при взлете и посадке самолета?
5. Какие аэросиноптические условия благоприятны для возникновения сильных сдвигов ветра?
6. Как влияет ветер на скорость полета воздушного судна?
7. Как изменяется направление полета воздушного судна под действием ветра?
8. С помощью каких формул определяется путевая скорость и угол сноса самолета?
9. Как оценить изменение продолжительности полета под действием ветра?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного атласа (приземная и высотная карты, которые использовались в лабораторной работе 3).
2. Отчетные материалы лабораторной работы 3.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 57—81.
2. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 50—53, 59—67.
3. Глазунов В. Г. Оповещения о сильных сдвигах ветра в районе аэродрома. Методическое пособие для синоптиков АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ и ГАМЦ. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 29 с.
4. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА—82). — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 183 с.
5. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 5—52.

### *Порядок выполнения работы*

1. Для аэродрома взлета и посадки по трассе, указанной преподавателем, определить изменение времени и длины разбега (пробега) по сравнению со штилевыми условиями, если скорость отрыва самолета составляет 190 км/ч, а скорость посадки — 240 км/ч.
2. Для аэродрома взлета и посадки определить возможность безопасного взлета (посадки) при боковой составляющей ветра



4. Для указанного преподавателем участка холодного фронта определить скорость смещения фронта  $V_{\text{фр}}$  и температурный контраст  $\Delta T_{\text{фр}}$ . Последний определяется как разность температур в точках, находящихся на расстоянии 100 км по разные стороны от приземной линии фронта.

По графику рис. 20 определить возможность умеренного и сильного сдвига ветра.

5. Определить по карте АКП навигационные характеристики на участках трассы и характеристики ветра.

Для определения путевого угла и направления ветра воспользоваться транспортиром, скорость ветра осреднить по участкам трассы, а значения воздушной скорости  $V$  на участках взять из результатов расчетов, полученных при выполнении лабораторной работы 3.

Расчет параметров полета с учетом ветра проводить по формулам (5.4)—(5.8), вытекающим из решения навигационного треугольника скоростей.

Результаты расчетов записать в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Расчет продолжительности полета с учетом ветра**

Номер участка	$S$ км	$V_{\text{ф}}$ км/ч	$\alpha^\circ$	$\delta^\circ$	$u$ км/ч	$e^\circ$	$\varphi^\circ$	$\gamma^\circ$	$W$ км/ч	$t$ ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

При заполнении граф 1—3 табл. 5.2 значения взять из лабораторной работы 3, графы 4—6 заполнить по данным АКП, остальные характеристики рассчитать по формулам (5.4)—(5.8)

6. Под табл. 5.2 записать сведения о продолжительности полета по трассе в стандартных условиях  $t_{\text{СА}}$ , с учетом поля температуры  $t_{\text{ф}}$  и с учетом реального поля ветра и температуры  $t$ . Сравнить эти данные и оценить вклад полей температуры и ветра в изменение общей продолжительности полета по маршруту.

При анализе полученных результатов обратить внимание на отклонение скорости полета и изменение продолжительности полета по сравнению с условиями в стандартной атмосфере.

*Отчетный материал*

1. Заполненная табл. 5.1.
2. График, аналогичный рис. 21, с нанесенными фактическими данными.

3. Заполненная табл. 5.2 и составленный на отдельном листе анализ, в котором должно быть отражено:

— время полета в стандартных условиях и в реальном поле температуры и ветра;

— оценка вклада полей температуры и ветра в изменение общей продолжительности полета по трассе;

— оценка вклада поля ветра в изменение воздушной скорости.

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Цель работы: изучить методы диагноза и прогноза струйных течений.

### Влияние струйных течений на полет. Способы прогноза струйных течений

Для авиации струйные течения (СТ) имеют большое значение. При полете самолета в зоне струйного течения путевая скорость значительно отличается от воздушной, что обусловлено большой скоростью ветра, нередко достигающей на оси струи 200 км/ч. Самолет, пересекая область струйного течения, испытывает значительный снос. Так, при боковом ветре на оси СТ, скорость которого составляет 200 км/ч, максимальный угол сноса достигает 14°. Естественно, это приводит к необходимости внесения поправок в курс самолета.

Часто в зоне СТ отмечается интенсивная атмосферная турбулентность, которая может существенно осложнить полет.

При метеорологическом обеспечении полетов информация о местоположении и интенсивности струйного течения играет важную роль. Сведения о высоте оси струйного течения и скорости ветра на оси наносятся на авиационную прогностическую карту уровня 300 гПа, а также используются для уточнения прогноза на больших высотах (вблизи оси струйного течения).

Для диагноза и прогноза струйных течений применяются фактические и прогностические карты барической топографии уровней 400, 300 и 200 гПа, а также карты максимального ветра. Струйные течения обнаруживаются по сгущению изогипс в высотных фронтальных зонах.

Детальный анализ распределения ветра в струйных течениях основан на построении вертикальных профилей ветра по данным радиозондирования в зоне струи (рис. 22). Е. Рейтер предложил определять точку пересечения сглаженных участков профиля скорости ветра ниже и выше предполагаемого положения оси струйного течения (ОСТ), которая указывает высоту оси и скорость ветра. Затем на графике через точки, соответствующие скорости ветра 30 м/с, проводится вертикальная линия *DE*. Верхняя и нижняя границы слоя между точками *D* и *E* определяют по графику и позволяют оценить вертикальную мощность СТ. Эти данные позволяют выбрать наиболее выгодные эшелоны полета с учетом ветра.

Для оценки и прогноза поля ветра в заданном районе проводится вычисление горизонтальных смещений ОСТ с заблаговременностью 24 ч по методу Е. Рейтера, модифицированному для территории Европейской части СССР, Западной Сибири и Казахстана. С этой целью первоначально вычисляются меридиональная

(градусы широты) и зональная  $u_{\text{зон}}$  (градусы долготы) составляющие осредненного потока в точке 0 с координатами  $\varphi_0$  и  $\lambda_0$ , которая выбирается вдоль проекции струи на карте АТ<sub>300</sub>. Стро-

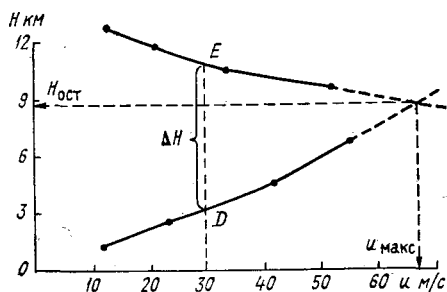


Рис. 22. Определение максимальной скорости ветра  $u_{\text{макс}}$ , высоты оси  $H_{\text{ост}}$  и мощности струйного течения  $\Delta H$  по методу Е. Рейтера.

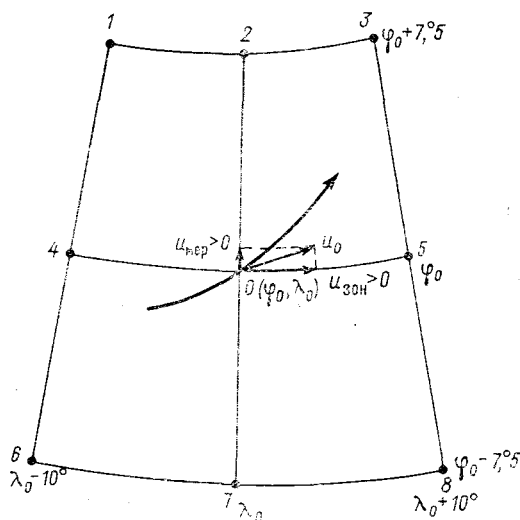


Рис. 23. Определение перемещения точки 0 на оси струйного течения по методу Е. Рейтера.

ится сетка с центром в точке 0, состоящая из отрезков меридианов с координатами  $\lambda_0 - 10^\circ$ ,  $\lambda_0$ ,  $\lambda_0 + 10^\circ$  и отрезков параллелей с координатами  $\varphi_0 - 7.5^\circ$ ,  $\varphi_0$ ,  $\varphi_0 + 7.5^\circ$  (рис. 23).

Составляющие осредненного потока в точке 0 рассчитываются по значениям геопотенциала  $H_i$  (гп дам) ( $i$  — номер соответствующего узла) по формулам

$$u_{\text{мер}} = 0,1 [(H_3 - H_1) + (H_5 - H_4) + (H_8 - H_6)], \quad (6.1)$$

$$u_{\text{зон}} = 0,1 [(H_6 - H_1) + (H_7 - H_2) + (H_8 - H_3)]. \quad (6.2)$$

Положительные значения  $u_{\text{мер}}$  и  $u_{\text{зон}}$  соответствуют направлению смещения ОСТ на север и восток, отрицательные — на юг

и запад. С учетом этого из точки 0 откладываются (в градусах) векторы зональной и меридиональной составляющих смещения ОСТ. Векторная сумма этих составляющих определяет прогнозируемое перемещение точки 0 за 24 ч. Прогнозируя перемещение совокупности точек, выбранных на оси в начальный момент, получим прогнозируемое положение ОСТ, которое позволяет оценить изменение условий полета на проходящих в этом районе трассах.

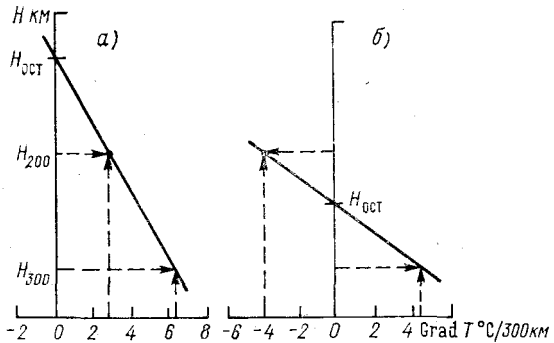


Рис. 24. Определение высоты ОСТ по методу Н. В. Петренко.

*а* — при положительных горизонтальных градиентах температуры на уровнях  $AT_{300}$  и  $AT_{200}$ ; *б* — при горизонтальных градиентах температуры на уровнях  $AT_{300}$  и  $AT_{200}$ , имеющих разные знаки.

В основу метода вычисления высоты ОСТ, разработанного Н. В. Петренко, положено предположение о соответствии уровня максимального ветра и уровня выравнивания температур теплой и холодной воздушных масс, или высоты, на которой горизонтальный градиент температуры становится равным нулю. Откладывая горизонтальные градиенты температуры (с учетом знаков) от вертикальной оси (шкалы высот) на уровнях 300 и 200 гПа, определяют высоту ОСТ как уровень пересечения линии, соединяющей полученные точки, с вертикальной осью (рис. 24). Для более точного расчета высоты ОСТ разработана схема предвычисления характеристик максимального ветра по численному прогнозу скорости ветра на двух стандартных изобарических поверхностях и геопотенциала этих поверхностей. Эта информация необходима экипажам и службе УВД для уточнения распределения ветра по высоте.

В области струйного течения на локальные изменения скорости ветра существенное влияние оказывают смещения вдоль ОСТ очагов повышенной скорости ветра, или областей максимального ветра (ОМВ). По карте максимального ветра можно оценить смещение ОМВ путем их переноса по потоку. Для учета адвективных изменений скорости ветра Э. С. Ильиной предложен способ прогноза скорости ветра во фронтальных зонах по картам  $AT_{300}$  или  $AT_{500}$ . Для прогноза используется номограмма, представленная на рис. 25, по горизонтальной оси которой отложено исходное значение скорости ветра  $u_1$  в пункте, по вертикальной оси — разность скоростей ветра  $u_1$  и  $u_2$  в точке, удаленной от пункта прогноза на

1000 км против потока. Наклонные линии представляют собой изолинии прогнозируемой скорости ветра. В малоподвижных фронтальных зонах прогноз может даваться по одной карте. В области

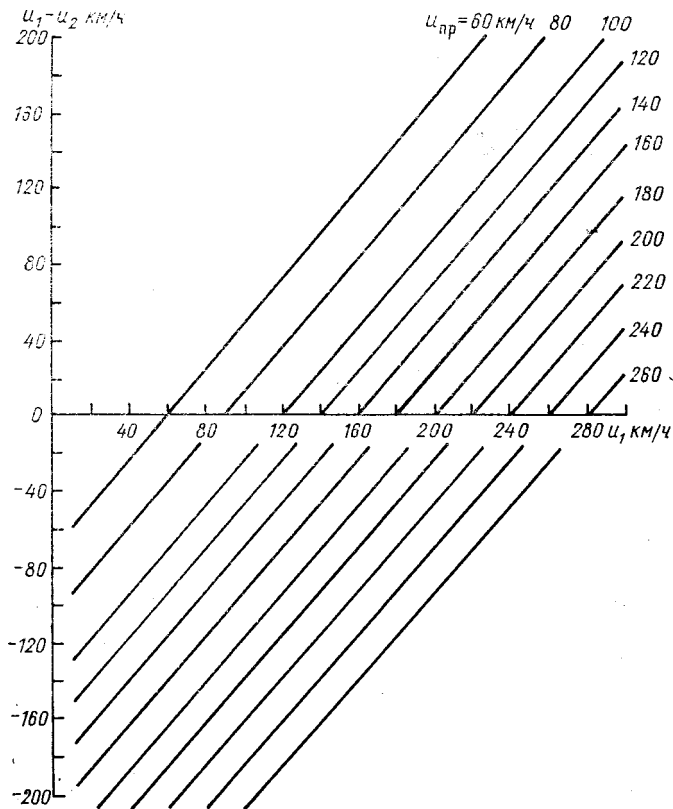


Рис. 25. Номограмма для прогноза скорости ветра в высотной фронтальной зоне на 24 ч (по методу Э. С. Ильиной).

перемещающихся высотных фронтальных зон используются исходная и прогностическая карты барической топографии. При этом по последней определяются координаты пересечения перпендикуляра к ОСТ, проведенного через пункт прогноза на исходной карте, с осью струйного течения на прогностической карте. Точка с этими координатами на исходной карте используется в качестве начальной для определения значений  $u_1$  и  $u_2$ .

Одновременный прогноз перемещения ОСТ и скорости ветра на ней необходим и для составления авиационной прогностической карты уровня 300 гПа.



### *Контрольные вопросы*

1. Как влияет струйное течение на снос и на путевую скорость самолета?
2. Как можно уточнить максимум скорости ветра и высоту ОСТ по данным радиозондирования?
3. Как определить изменение положения ОСТ?
4. Как прогнозируется скорость ветра в высотных фронтальных зонах?
5. Какая информация об ОСТ наносится на авиационные прогностические карты?

### *Материалы для работы*

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.
2. Карты АТ<sub>300</sub> и АТ<sub>200</sub> из Атласа.
3. Миллиметровая бумага.
4. Калька.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 67—76.
2. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 67—71.
3. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1957, с. 454—461.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 203—213.

### *Порядок выполнения работы*

1. Определить высоту оси струйного течения, максимальную скорость ветра и вертикальную мощность струи по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы. Указать, как изменится скорость полета и угол сноса на эшелонах, ближайших к ОСТ.
2. Определить высоту ОСТ по методу Н. В. Петренко (район указывается преподавателем). Оценить условия полета в указанном районе на высотах 8—11 км.
3. Дать прогноз перемещения ОСТ на 24 ч по методу Е. Рейтера (участок ОСТ указывается преподавателем). Нанести на карту уровня 300 гПа прогнозируемое положение ОСТ. Оценить условия полета на уровне 300 гПа в этом районе.
4. Решить задачи по суточному прогнозу скорости ветра.

### Методические указания

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы (приложение 6.1) раскодировать и записать по форме табл. 6.1.

Таблица 6.1

#### Данные температурно-ветрового зондирования

$H$ км	$p$ гПа	$T$ °C	$D$ °C	$dd^\circ$	$ff$ м/с

Вертикальный профиль скорости ветра построить на листе миллиметровой бумаги. При построении использовать масштаб: по вертикали 1 см — 1 км, по горизонтали 1 см — 5 м/с.

Для определения высоты оси струйного течения, максимальной скорости ветра и вертикальной мощности струи следует использовать метод Е. Рейтера.

На вертикальном профиле ветра (см. рис. 22) выделить 4 точки, в которых наблюдаются наибольшие значения скорости ветра. Эти точки попарно соединить отрезками прямых и продолжить их до пересечения. Координаты точки пересечения отрезков на графике укажут максимальную скорость ветра и высоту оси струйного течения, а разность высот при пересечении профиля скорости ветра и изотахи 30 м/с укажет вертикальную мощность струйного течения (слоя между точками  $D$  и  $E$ ).

Нанести на график высоты ближайших к ОСТ эшелонов и, пользуясь методикой определения путевой скорости  $W$  и угла сноса самолета  $\varphi$ , приведенной в лабораторной работе 5, определить значения  $W$  и  $\varphi$ , если истинный путевой угол составляет 130 и 250° (на разных эшелонах).

2. Для определения высоты ОСТ по методу Н. В. Петренко использовать карты АТ<sub>300</sub> и АТ<sub>200</sub> из Атласа, считая их прогностическими.

Определить горизонтальный градиент температуры на уровнях 200 и 300 гПа, используя снятые с карты значения температуры в точках справа и слева от ОСТ на расстоянии 150 км по нормали к ОСТ в заданной точке.

Отложить полученные величины с учетом знака горизонтального градиента температуры на графике (см. рис. 24). Соединяя получившиеся точки отрезком прямой линии, определить высоту ОСТ в точке пересечения вертикальной оси и построенного отрезка.

3. Скопировать на кальку участок карты АТ<sub>300</sub> вблизи одной или нескольких точек на оси СТ, указанных преподавателем. Для

прогноза перемещения ОСТ по методу Е. Рейтера построить сетку с центром в точке 0 (см. рис. 23).

Рассчитать зональные и меридиональные составляющие перемещения ОСТ по формулам (6.1) и (6.2); результаты представить в виде табл. 6.2, в которой  $u_0$  — абсолютная величина смещения

Таблица 6.2

**Расчет перемещения ОСТ по методу Е. Рейтера**

№ п/п	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$	$H_8$	$u_{\text{мер}}$ градус широты	$u_{\text{зон}}$ градус долготы	$u_0 = \sqrt{u_{\text{мер}}^2 + u_{\text{зон}}^2}$
1											
2											
3											
⋮											
⋮											

точки 0 на ОСТ за 24 ч. Направление смещения определить путем построения в точке 0 на карте АТ<sub>300</sub> векторной суммы векторов, соответствующих рассчитанным (в градусах с учетом знака) значениям  $u_{\text{зон}}$  и  $u_{\text{мер}}$ .

Нанести на кальку прогнозируемое положение ОСТ. Выделить направления полета в районе ОСТ, при которых самолет будет испытывать максимальный снос, а его путевая скорость значительно изменится.

4. Для прогноза скорости ветра следует определить разность между скоростью ветра  $u_1$  в пункте, для которого составляется прогноз и который расположен вблизи прогнозируемого положения ОСТ, и скоростью ветра  $u_2$  в точке, удаленной от этого пункта на 1000 км (против потока). Исходные данные снимаются с карты АТ<sub>300</sub>, использованной для прогноза перемещения ОСТ.

По полученной разности  $u_1 - u_2$  и фактической скорости  $u_1$  определить скорость ветра в одном или нескольких пунктах прогноза через сутки  $u_{\text{пр}}$ , используя график, приведенный на рис. 25.

Результаты расчетов  $u_{\text{пр}}$ , угла сноса  $\varphi$  и путевой скорости  $W$  при задаваемых преподавателем истинном путевом угле  $\alpha$  и воздушной скорости  $V$  оформить в виде табл. 6.3.

В качестве прогностического направления ветра  $\delta_{\text{пр}}$  взять направление ветра на ОСТ.

Провести анализ ожидаемого влияния струйного течения на полет в зоне струйного течения по данным табл. 6.3.

Таблица 6.3

**Определение влияния скорости ветра на полет в области струйного течения**

№ п/п	$u_1$ км/ч	$u_2$ км/ч	$u_1 - u_2$ км/ч	$u_{пр}$ км/ч	$\alpha^\circ$	$\delta_{пр}^\circ$	$\varphi^\circ$	$V$ км/ч	$W$ км/ч
1									
2									
3									
.									
.									

*Отчетный материал*

1. Построенный профиль скорости ветра с определенными значениями максимальной скорости ветра, высоты ОСТ и вертикальной мощности струйного течения, с нанесенными эшелонами полета и значениями  $\varphi$  и  $W$  для каждого эшелона.

2. График высоты ОСТ, определенной по методу Н. В. Петренко.

3. Копия на кальке участка карты АТ<sub>300</sub> с построенной сеткой параллелей и меридианов, центр которой помещен в точку 0; построения векторов  $u_{мер}$ ,  $u_{зон}$  и  $u_0$  и расчет прогностического положения ОСТ. Заполненная табл. 6.2. Анализ влияния ветра на полет в отдельных направлениях.

4. Заполненная табл. 6.3 с результатами прогноза скорости ветра на 24 ч, угла сноса и путевой скорости самолета. Анализ изменения скорости и направления полета в зоне ОСТ.

## Приложение 6.1

**Исходные данные***Вариант 1*

## Горький

ТГАА	15001	27553	99000	00057	21005	85359	02734	23008	70993
	07958	24013	50549	24760	24025	40711	34560	25034	30897
	51160	26041	25013	59360	26038	20151	59158	26027	15333
	57758	26020	10595	56360	26015	88231	61160	26033	

*Вариант 2*

## Куйбышев

ТГАА	15001	28900	99006	01057	21508	85498	03934	22510	70200
	08958	22012	50565	25960	22516	40720	33960	23041	30899
	52960	24049	25020	58160	25045	20160	58158	25530	15340
	57760	26020	10383	56160	26018	88205	58758	25530	

*Вариант 3*

Москва

ТГАА	15001	27617	99009	01257	21509	25460	02934	22510	70112
	07758	23012	50550	24960	23016	40715	34160	23528	30887
	51360	24040	25012	59160	25037	20152	59358	25529	15334
	57958	26015	10596	56160	26512	88232	61360	26025	

*Вариант 4*

Волгоград

ТГАА	15001	34560	99005	00657	21007	85465	03734	22009	70890
	08758	22011	50560	25760	22515	40716	35760	23030	30888
	52760	24050	25019	58360	25045	20159	58358	25530	15331
	58759	26512	10599	57760	26010	88339	60360	26535	

*Вариант 5*

Ленинград

ТГАА	15001	26063	99001	00857	21006	85480	02534	22008	70070
	07558	22510	50530	24560	23014	40717	34360	23525	30896
	51560	24042	25011	59560	25040	20153	59558	25525	15335
	57558	26015	10594	56560	26510	88233	61560	26028	

*Вариант 6*

Казань

ТГАА	15001	27595	99004	01857	20504	85506	03534	22506	70050
	08558	22008	50532	24160	22512	40714	35560	23024	30889
	52560	24040	25018	58560	25040	20158	58558	25525	15332
	58558	26015	10598	57560	26008	88238	60560	26534	

*Вариант 7*

Киев

ТГАА	15001	33345	99008	01657	20505	85468	02334	21507	70061
	07358	22009	50535	24360	22513	40719	34760	23023	30895
	51760	24040	25014	59760	25038	20155	59758	25524	15336
	57358	26515	10593	56760	26009	88234	61760	26525	

*Вариант 8*

Харьков

ТГАА	15001	34300	99007	01457	21505	85474	03134	22507	70115
	08158	23009	50555	25360	23013	40723	35160	24020	30893
	52160	24535	25016	58960	25035	20156	58958	25522	15338
	58158	26012	10591	57160	26010	88236	60960	26025	

*Вариант 9*

Таллин

ТГАА	15001	26048	99002	00457	21002	85389	02134	22005	70999
	07158	22007	50545	25160	22511	40721	34960	23020	30894
	51960	24038	25015	59960	25036	20154	59958	25522	15337
	57158	26512	10592	56960	26507	88235	61960	26532	

*Вариант 10*

Рига

ТГАА	15001	26422	99003	00257	21003	85500	03334	22008	70120
	08358	22010	50540	25560	22515	40712	35360	23026	30892
	52360	24041	25017	58760	25040	20157	58758	25528	15339
	58358	26515	10597	57360	26010	88236	60760	26028	

## **ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ВЫЗЫВАЮЩЕЙ БОЛТАНКУ САМОЛЕТОВ**

Цель работы: изучить методы определения зон интенсивной турбулентности, вызывающей болтанку самолета; приобрести практические навыки выявления зон болтанки по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы.

### **Влияние атмосферной турбулентности на полет воздушного судна**

{Среди метеорологических явлений, оказывающих влияние на полет воздушного судна, одним из наиболее опасных является атмосферная турбулентность, вызывающая интенсивную болтанку, под которой принимается резкое перемещение самолетов в вертикальной плоскости.} Болтанка, особенно сильная, — явление сравнительно редкое. Тем не менее, внезапное попадание самолета в зону интенсивной турбулентности может быть причиной серьезных летных происшествий. В связи с этим перед синоптиками метеорологических подразделений стоит сложная задача диагноза и прогноза болтанки самолетов. Трудности прогноза усугубляются большими погрешностями температурно-ветрового зондирования. Поэтому {добиться удовлетворительного качества прогнозов болтанки можно только путем изучения законов динамики атмосферы и комплексного учета особенностей атмосферных процессов.

{Атмосфера практически всегда находится в турбулентном состоянии. Основной причиной возмущения воздушных течений являются сдвиги ветра в атмосфере и контрасты температуры.} {Различные процессы порождают эти контрасты. К таким процессам следует отнести трение воздушного потока о поверхность земли и как следствие — большие вертикальные градиенты ветра в нижнем слое, деформация воздушных течений горами и неодинаковое нагревание различных участков подстилающей поверхности, что в свою очередь вызывает термическую конвекцию и обостряет процессы облакообразования.} При этом выделяется тепло конденсации и изменяется характер полей температуры и ветра, а также взаимодействие воздушных масс, различных по своим свойствам. На границе воздушных масс очень резко выражены горизонтальные градиенты температуры и ветра, а также имеются инверсионные слои, на которых могут возникать гравитационные волны, теряющие при определенных условиях устойчивость.

{Эти процессы могут действовать одновременно и тем самым усиливать или ослаблять возмущение атмосферы. При классификации турбулентности обычно во внимание принимаются не

причины ее возникновения, а особенности развития. Различают механическую (орографическую), термическую (конвективную) и динамическую турбулентность.

Механическая турбулентность является функцией скорости ветра у поверхности Земли, шероховатости земной поверхности, а также взаимного расположения направления ветра и направления хребта. В результате возмущений, возникающих за счет неровностей земной поверхности, образуются сильные восходящие и нисходящие потоки, которые и вызывают болтанку воздушного судна.

Термическая (конвективная) турбулентность образуется за счет неравномерного нагрева земной поверхности или при адвекции холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность.

Динамическая турбулентность возникает в атмосфере в слоях, где наблюдаются большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра и температуры. В результате имеющихся в атмосфере градиентов ветра и температуры образуются гравитационные и гравитационно-сдвиговые волны, которые при определенных условиях могут разрушаться и переходить в турбулентные вихри более мелкого масштаба.

Наиболее опасна для авиации турбулентность при ясном небе (ТЯН), так как она всегда оказывается внезапной для экипажа. Турбулентность при ясном небе — турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности и турбулентность в перистых облаках. В настоящее время нет строгого теоретического описания ТЯН. Трудности в изучении ТЯН усугубляются и недостатком фактических данных о турбулентности ясного неба. Предполагается, что возникновение ТЯН в свободной атмосфере обусловлено большой плотностью изобаро-изостерических соленидов, а в горных районах — орографическими волнами.

Дальнейшее накопление материала позволит уточнить теорию образования ТЯН, а следовательно, и решить проблему более точно ее прогноза.

Таким образом, в атмосфере на различных уровнях постоянно существуют турбулентные вихри разного масштаба. Эти вихри развиваются, исчезают, перемещаются и каждый по-разному оказывает влияние на самолет, пролетающий через него.

Однако (для того, чтобы атмосферные турбулентные вихри вызвали болтанку самолета, их размеры должны быть соизмеримы с размерами последних).

В авиационных прогнозах погоды указывается нижняя и верхняя границы зоны турбулентности и ее интенсивность. Для прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, используются как синоптические, так и расчетные методы.

Суть синоптических методов прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, заключается в комплекс-



ном анализе приземных карт погоды и карт барической топографии разных уровней.

Анализ синоптических и кольцевых карт погоды позволяет определить характер облачности в интересующем районе, наличие фронтальных разделов и их активность. По высотным картам определяется форма барического поля, скорость ветра на высоте полета, знак адвекции температуры и дивергенции потока.

Синоптико-статистический метод прогноза болтанки самолетов в вероятной форме предложен Н. И. Давыдовым и др. Суть его заключается в следующем. Для каждой синоптической ситуации определена вероятность появления болтанки любой интенсивности (группа I), а также умеренной и сильной болтанки (группа II).

Перечень основных простых признаков болтанки и ее вероятность приведены в табл. 7.1.

Различные сочетания простых признаков позволили получить комплексные признаки, с помощью которых можно определить вероятность возникновения болтанки в данном барическом поле на высоте полета. Эти комплексные признаки и вероятность болтанки представлены в табл. 7.2.

Синоптический метод прогноза болтанки самолетов является качественным, поэтому представляет практический интерес диагноз и прогноз болтанки самолетов путем одновременного учета нескольких количественных критериев на основе данных температурно-ветрового зондирования атмосферы. Подобный учет производится путем отыскания статистических связей между количественными критериями ТЯН и фактом наличия или отсутствия болтанки.

(Расчетные методы прогноза болтанки самолетов сводятся к определению числа Ричардсона ( $Ri$ ) или других критериев, характеризующих турбулентное состояние атмосферы.)

Рассмотрим два метода диагноза и прогноза болтанки самолета по данным температурно-ветрового зондирования: графический метод и метод комплекса критериев.

В основу графического метода диагноза и прогноза болтанки положено предположение, что турбулентность, вызывающая болтанку самолетов, обусловлена только вертикальными градиентами скорости, направления ветра и температуры воздуха.

Суть графического метода заключается в следующем. Если построить вертикальные профили скорости, направления ветра и температуры, то для каждого линейного участка профиля вертикальные градиенты соответствующих метеорологических величин будут характеризоваться наклоном рассматриваемого участка кривой распределения к горизонтальной оси. Чем меньше угол наклона между построенными кривыми и горизонтальной осью, тем больше вертикальный градиент данной метеорологической величины.

При диагнозе и прогнозе болтанки в качестве критериев использовано понятие критических вертикальных градиентов. По результатам экспериментальных исследований за критические значения вертикальных градиентов приняты (на 1 км высоты): для скорости ветра 10 м/с, для направления ветра  $15^\circ$  и для температуры воздуха  $-7^\circ\text{C}$ .

Методика выделения зон болтанки самолета сводится к тому, что по построенным профилям ветра и температуры воздуха для каждого линейного участка определяется угол наклона профиля к горизонтальной оси и сравнивается с его критическим значением.

Для удобства расчетов масштаб можно подобрать так, чтобы для всех трех величин критический угол оказался бы одинаковым. С этой целью необходимо, произвольно выбрав масштаб для высоты и одной из величин (например, для скорости ветра), для двух других зависимых величин (направление ветра и температура) подобрать масштаб таким образом, чтобы отрезку на оси скорости ветра, соответствующему 10 м/с, на оси направления ветра соответствовало  $15^\circ$ , а на оси температуры  $7^\circ\text{C}$ .

Если после этого на график нанести сетку линий, имеющих наклон, который соответствует критическим значениям вертикальных градиентов, то диагноз и прогноз болтанки самолетов будет сведен к сравнению наклона стандартных линий сетки и исследуемого участка профиля. Последнее осуществляется так же, как определение устойчивости стратификации по аэрологической диаграмме или определение знака адвекции по совмещенной карте  $AT_{700}$  и  $OT_{1000}^{500}$ . Однако в отличие от аэрологической диаграммы характер «устойчивости» в данном случае определяется отдельно по каждому вертикальному профилю.

Наличие «неустойчивости» по одному из вертикальных профилей является признаком существования турбулентности, благоприятной для возникновения болтанки. Если в каком-либо слое неустойчивость обнаруживается по вертикальным профилям двух величин, то это служит указанием на большую вероятность болтанки.

Основное достоинство графического метода — высокая оперативность. Его целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо получить картину вертикального распределения слоев повышенной турбулентности и болтанки самолетов для всех высот в определенном районе. Графический метод диагноза и прогноза болтанки самолетов по сути дела позволяет проследить за вертикальным распределением всех характеристик, которые входят в число Ричардсона. Получение непрерывной характеристики распределения зон болтанки самолетов для всех высот устраняет недостаток тех методов прогноза болтанки, которые основаны на определении числа  $Ri$ .

При графическом методе прогноза болтанки самолетов совершенно не учитываются горизонтальные градиенты температуры и ветра, что вносит ошибки в результаты прогнозирования.

Для определения возможности встречи с турбулентными зонами на заданном эшелоне полета целесообразно использовать другой метод — метод комплекса критериев. Этот метод заключается в следующем. (Если из шести критериев турбулентности, определить которые можно по данным температурно-ветрового зондирования (скорость ветра 25 м/с и более, вертикальный градиент скорости ветра  $\geq 10$  м/с на 1 км, горизонтальный градиент скорости ветра  $\geq 5$  м/с на 100 км, вертикальный сдвиг направления ветра  $\geq 15^\circ$  на 1 км, вертикальный градиент температуры  $\geq 7^\circ\text{C}$  на 1 км, горизонтальный градиент температуры воздуха  $\geq 2^\circ\text{C}$  на 100 км), одновременно выполняется не менее трех, то в этом районе следует указывать болтанку.)

Перед определением зон болтанки методом комплекса критериев необходимо разделить маршрут полета на участки длиной 300—400 км, приняв за узловые точки пункты, в которых производится температурно-ветровое зондирование атмосферы. Затем по данным зондирования рассчитать вертикальные и горизонтальные градиенты температуры и ветра для каждого участка трассы на эшелоне полета и оценить скорость ветра на заданной высоте.

В зависимости от числа параметров, значения которых превышают критические, дается прогноз болтанки самолетов на заданном уровне.

### *Контрольные вопросы*

1. Что называется болтанкой самолетов?
2. Какие причины приводятся к возмущению атмосферы, вызывающей болтанку самолетов?
3. В каких синоптических ситуациях болтанка самолетов наблюдается наиболее часто?
4. Какие критерии используются для диагноза и прогноза болтанки самолетов?
5. Какие методы прогноза болтанки самолетов используются в оперативной практике?

### *Материалы для работы*

1. Аэросиноптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа.
2. Лист миллиметровой бумаги.
3. Лист кальки.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981, с. 115—154.
2. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985, с. 72—89.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985, с. 213—256.

### *Порядок выполнения работы*

1. На лист кальки перенести барическое поле для маршрута полета (маршрут и эшелон полета указываются преподавателем; исходными данными служат карты погоды из Учебного атласа).
2. Маршрут полета разбить на участки протяженностью 300—400 км и для каждого участка определить возможность возникновения болтанки методом комплекса критериев и синоптико-статистическим методом Н. И. Давыдова.
3. Для начального и конечного участков маршрута (набор высоты и снижение) определить слои с возможной болтанкой самолетов графическим методом.
4. Проанализировать полученные результаты.

### *Методические указания*

1. Маршрут полета по трассе, указанной преподавателем, проложить по ломаной линии, соединяя пункты, близкие к маршруту, в которых на карте АТ нанесены данные температурно-ветрового зондирования.

Пронумеровать участки длиной 300—400 км от взлета до посадки.

2. Для каждого участка дать прогноз болтанки самолетов методом комплекса критериев.

Для этого на каждом участке по карте АТ определить скорость ветра, горизонтальные градиенты ветра и температуры воздуха, а по картам АТ<sub>400</sub>, АТ<sub>300</sub>, АТ<sub>200</sub> определить вертикальные градиенты температуры и ветра для этих же участков.

Вертикальные градиенты указанных величин определять в слоях 400—300 и 300—200 гПа для одних и тех же пунктов и в дальнейшем анализе использовать наибольшее из полученных значений вертикального градиента.

Полученные значения вертикальных градиентов записать в табл. 7.3 (форма указана в задании) и сравнить с критическими значениями: скорость ветра 25 м/с; вертикальный градиент ско-

рости ветра 10 м/с на 1 км; вертикальный градиент температуры 7 °С на 1 км; вертикальный градиент направления ветра 15° на 1 км; горизонтальный градиент скорости ветра 5 м/с на 100 км и горизонтальный градиент температуры 2 °С на 100 км.

Если на каком-либо участке одновременно выполняются условия трех и более критериев (фактические значения градиентов больше критических), то для этого участка на эшелоне полета следует указывать болтанку.

Для прогноза болтанки по синоптико-статистическому методу Н. И. Давыдова необходимо для каждого участка определить простые синоптические признаки той синоптической ситуации, в которой будет происходить полет на эшелоне (табл. 7.1), а по комплексу простых признаков определить вероятность болтанки любой интенсивности (группа I), а также умеренной и сильной болтанки (группа II). Вероятность болтанки представлена в табл. 7.2.

Результаты анализа занести в табл. 7.3.

Таблица 7.1

**Вероятность болтанки самолетов при различных синоптических ситуациях**

Номер признака	Тип синоптической ситуации	Болтанка любой интенсивности (группа I)	Умеренная и сильная болтанка (группа II)
1	А. Для скорости $\geq 90$ км/ч Циклоническая часть струи	0,54	0,26
		0,61	0,33
2	Антициклоническая часть струи	0,51	0,23
3	Осевая часть струи	0,28	0,07
4	Гребень в струе	0,75	0,41
5	Ложбина в струе	0,51	0,26
6	Прямолинейная струя	0,50	0,23
7	Б. Для скорости $< 90$ км/ч Гребень	0,35	0,12
		0,39	0,11
8	Ложбина	0,43	0,20
9	Прямолинейный поток	0,31	0,10
10	В. Для всех значений скорости Сходимость или расходимость изогипс	0,41	0,16
		0,51	0,21
11	Отсутствие сходимости или расходимости изогипс	0,37	0,15

3. На листе миллиметровой бумаги вычертить сетку, необходимую для прогноза болтанки самолетов графическим методом. Для этого использовать масштаб: по вертикали 1 см — 1 км, по горизонтали 1 см — 2 м/с — для скорости ветра; 3 °С — для направления ветра и 1,5 °С — для температуры воздуха. В случае очень больших изменений направления ветра и температуры в слое от земли до высоты полета горизонтальный масштаб можно

Таблица 7.2

**Вероятность болтанки самолетов (%) в зависимости от сочетания простых признаков**

Номер сложного признака	Сочетание простых признаков	Вероятность болтанки, %	Сочетание простых признаков	Вероятность болтанки, %
	Группа I		Группа II	
1	1, 4, 10	90	1, 4, 10	71
2	2, 4, 10	87	1, 4, 11	62
3	1, 4, 11	85	2, 4, 10	59
4	2, 4, 11	79	1, 5, 10	58
5	1, 5, 10	77	1, 6, 10	51
6	1, 6, 10	77	2, 4, 11	50
7	3, 4, 10	72	1, 5, 11	49
8	2, 5, 10	69	2, 5, 10	48
9	2, 6, 10	69	1, 6, 11	41
10	1, 5, 11	67	2, 5, 11	40
11	1, 6, 11	66	2, 6, 10	39
12	3, 4, 11	59	2, 6, 11	30
13	2, 5, 11	54	3, 4, 10	28
14	8, 10	53	8, 10	25
15	2, 6, 11	49	3, 5, 10	23
16	7, 10	48	3, 4, 11	20
17	3, 6, 10	45	8, 11	17
18	3, 5, 10	41	7, 10	15
19	9, 10	41	3, 5, 11	15
20	8, 11	37	3, 6, 10	14
21	7, 11	34	9, 10	13
22	3, 5, 11	33	7, 11	10
23	3, 6, 11	32	9, 11	9
24	9, 11	27	3, 6, 11	9

изменить, но соотношение масштабов должно оставаться постоянным. Наклонные линии сетки проводятся с таким расчетом, чтобы угол их наклона к горизонтальной оси составлял 10 м/с на 1 км; 15° на 1 км и 7°С на 1 км.

После вычерчивания сетки на этот же лист по данным приземной карты и карт барической топографии АТ<sub>850</sub>, АТ<sub>700</sub>, АТ<sub>500</sub>, АТ<sub>400</sub> и АТ<sub>300</sub> нанести вертикальные профили скорости ветра, направления ветра и температуры воздуха для пунктов вылета и посадки.

Сравнить угол наклона стандартных линий сетки и реальных профилей температуры и ветра и выделить слои возможной болтанки самолетов. Эти слои будут наблюдаться на тех высотах, на которых угол наклона фактического распределения параметров атмосферы с горизонтальной осью будет меньше угол наклона стандартных линий сетки.

На отдельном листе составить анализ полученных результатов.

Таблица 7.3

Маршрут \_\_\_\_\_ Карта АТ за \_\_\_\_\_

№ п/п	Параметры турбулентности	Номер участка маршрута		
		1	2	...
1	Скорость ветра, м/с			
2	Вертикальный градиент скорости ветра, м/с на 1 км			
3	Вертикальный градиент температуры, °С на 1 км			
4	Вертикальный градиент направления ветра, ...° на 1 км			
5	Горизонтальный градиент скорости ветра, м/с на 100 км			
6	Горизонтальный градиент температуры, °С на 100 км			
7	Прогноз болтанки методом комплекса критериев			
8	Простые признаки синоптической ситуации			
9	Вероятность болтанки: группы I группы II			

*Отчетный материал*

1. Выделенные на листе миллиметровой бумаги зоны болтанки самолетов для пункта взлета и пункта посадки.

2. Переснятые на кальку маршрут полета с указанием номеров отдельных его участков и барическое поле, в котором прогнозировалась болтанка.

3. Таблица 7.3 с результатами расчетов.

4. Составленный на отдельном листе (или под табл. 7.3) анализ результатов прогноза болтанки самолетов. В анализе указать:  
— вероятность болтанки на различных участках и наличие болтанки на участках при прогнозе ее методом комплекса критериев;

— признаки, обуславливающие болтанку.

При прогнозе болтанки графическим методом для участков взлета и посадки указать высоты, на которых болтанка возможна и по каким критериям.

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ОБЛАЧНОСТИ

Цель работы: изучить методику прогноза облачности, используемую на авиационных метеорологических станциях.

### Влияние низкой облачности на полеты воздушных судов

Условия полетов определяются пространственной структурой облачности (высотой верхней и нижней границ, вертикальной мощностью, горизонтальной протяженностью, расслоенностью, толщиной облачных слоев и безоблачных прослоек), ее микрофизическими характеристиками, температурным режимом, водностью и турбулентным состоянием. (Облачность существенно сказывается на самолетовождении, усложняет пилотирование, визуальное наблюдение и ориентировку) оказывает влияние на профиль полета и выбор маршрута, затрудняет выполнение маневров по высоте. (Основные затруднения для пилотов при посадке и взлете связаны с облачностью и условиями видимости, которая зависит от высоты облаков, влажности и скорости ветра. Ухудшение видимости у земной поверхности чаще всего происходит при наличии низкой облачности.) Под низкими облаками обычно понимают облака, высота нижней границы которых менее 600 м. (В 80 % случаев при высоте облачности около 100 м горизонтальная видимость у земли в светлое время суток составляет менее 4 км)

Охлаждение влажного воздуха является одной из основных причин образования низкой облачности. Оно может быть обусловлено разными причинами: адиабатическим расширением воздуха при его подъеме и радиационным выхолаживанием. Низкая облачность может встречаться на атмосферных фронтах всех типов, а также внутри однородных воздушных масс в антициклонах, сформированных в морском умеренном воздухе или в теплых секторах циклонов и барических седловинах.

Высота нижней границы низкой облачности довольно изменчива во времени и в пространстве. Эта характеристика чрезвычайно важна для оценки метеорологических условий взлета, посадки воздушных судов и полетов на малых высотах. Наибольшей изменчивостью высоты нижней границы характеризуются слоистые разорванные облака. Наиболее устойчивыми по высоте являются слоисто-кучевые облака. Пространственная изменчивость высоты нижней границы фронтальных облаков более значительная, чем внутримассовых, и зависит от типа атмосферного фронта и сезона года.

Слоистые облака чаще всего формируются в подынверсионном слое, когда воздух в нем достигает насыщения. Нижняя граница облаков, как правило, находится на высоте 100—300 м, но может



опускаться до 50 м, а в отдельных случаях и до земной поверхности. Колебания высоты нижней границы сильно осложняют полет на малых высотах. Горизонтальная протяженность облаков может достигать сотен и даже тысяч километров. Вертикальная протяженность слоистых облаков обычно не превышает 600 м.

Слоисто-кучевые облака могут быть плотными и просвечивающими. Высота нижней границы плотных облаков чаще всего 300—600 м, толщина — 600—1000 м и более. Высота нижней границы просвечивающих облаков составляет обычно 500—1000 м, толщина — 100—300 м. В зонах атмосферных фронтов облака бывают расслоенными.

Слоисто-дождевые облака типичны для фронтальных разделов. Высота их нижней границы и вертикальная мощность зависят от расстояния до приземной линии фронта, вблизи которой минимальная высота облаков (вместе с разорванными) составляет 100—200 м, а иногда и меньше. Толщина облаков изменяется от нескольких сотен метров до нескольких километров. Во все сезоны года при полете в слоисто-дождевых облаках на воздушных судах возможно образование значительных зарядов статического электричества.

В верхних слоях тропосферы и в нижней стратосфере в умеренных широтах метеорологические условия полета с точки зрения распределения облачности более благоприятны, чем в нижних слоях тропосферы, поскольку на высотах 10—11 км облака встречаются лишь в 25 % случаев.

В случае если полет самолета происходит в облаках вертикального развития, в которых обычно наблюдаются сильные нисходящие и восходящие потоки воздуха и другие опасные для авиации явления погоды, необходимо существенно изменить профиль полета.

Высота нижней границы кучевых облаков составляет 600—1200 м, а их вертикальная протяженность — несколько сотен метров. Полет в облаках осложняется ухудшением видимости (до 35—45 м) и турбулентностью, вызывающей болтанку самолета, нарушающей комфортность полета.

Высота нижней границы мощных кучевых облаков находится в пределах 600—1200 м, а их вертикальная мощность достигает 3—4 км и более, горизонтальная протяженность составляет несколько километров. При отрицательной температуре в облаках возникает обледенение. (Большие осложнения для полетов создает интенсивная турбулентность и плохая видимость в облаках.

Кучево-дождевые облака характеризуются наиболее опасными условиями для полетов. Высота верхней и нижней границ кучево-дождевых облаков над Европейской частью СССР имеет четко выраженный годовой ход, причем максимум высоты нижней границы отмечается летом (1,3 км), минимум — зимой (0,8 км). (Вершины наиболее развитых облаков могут достигать тропопаузы,

а в отдельных случаях даже проникать в стратосферу. Горизонтальная протяженность кучево-дождевых облаков колеблется от нескольких километров до десятков километров. В этих облаках наблюдаются зоны значительной неоднородности электрических зарядов, сильная турбулентность, обледенение и грозы. Полеты в кучево-дождевых облаках запрещаются. Визуально обходить облака необходимо на расстоянии не менее 10 км, по радиолокационным наблюдениям — на расстоянии 15 км.)

#### *Контрольные вопросы*

1. Как классифицируется облачность по высоте?
2. Как классифицируется облачность по морфологии?
3. Как можно выделить облачные слои по аэрологической диаграмме?
4. Какие характеристики облачности необходимо знать при обеспечении полетов?

#### *Материалы для работы*

1. Графики для прогноза облачности по методам А. К. Лугченко, Е. И. Гоголевой, М. В. Рубинштейна.
2. Исходные данные для выполнения работы (см. приложение).

#### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 155—212.
2. Баранов А. М. Облака и безопасность полетов. — Л.: Гидрометеиздат, 1983, с. 231.
3. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 107—121.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 53—93.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Определить возможность выполнения полетов на аэрофото съемку местности в 12 и 15 ч, если известно, что она проводится только при количестве облаков 4 балла и менее (приложение 8.1, задание 1).
2. Определить возможность вылета самолета санитарной авиации (минимум погоды  $100 \times 1000$ ), если с метеостанции района посадки поступили только данные приземных наблюдений о температуре воздуха, температуре точки росы и относительной влажности (задание 2).

3. Определить возможность выполнения полета по маршруту на самолете, экипаж которого имеет минимум  $200 \times 2000$  (задание 3).

4. Определить возможность визуального полета на высоте 100 м для выполнения авиационно-химических работ (задание 4).

5. Определить возможность посадки самолета на аэродроме через 2 ч, если экипаж самолета имеет минимум  $100 \times 1000$  (задание 5).

6. Определить нижний эшелон полета за облаками с курсом 90 и  $270^\circ$  для заданного маршрута (задание 6).

*Методические указания*

1. Для прогноза количества внутримассовых конвективных облаков необходимо по данным радиозондирования атмосферы оп-

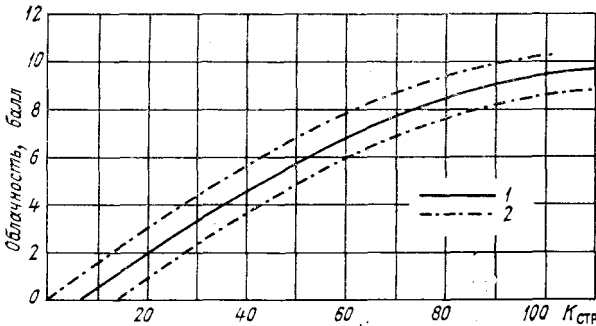


Рис. 26. К определению количества конвективной облачности.

1 — наиболее вероятное количество облаков, 2 — предельные значения.

ределить коэффициент стратификации, а затем, используя зависимость количества облаков от коэффициента стратификации (рис. 26), найти количество облаков. На графике рис. 26 по вертикали отложено количество ожидаемой облачности, по горизонтали — коэффициент стратификации  $K_{стр}$ . Линия 1 на рис. 26 обозначает наиболее вероятное количество облаков.

Коэффициент стратификации определяется по следующей эмпирической формуле:

$$K_{стр} = \frac{0,3 \Delta T R_{ср}}{(T - T_d)_{ср} + (1 - \gamma_{ср})}, \quad (8.1)$$

где  $\Delta T$  — разность между максимальной дневной температурой и температурой в период утреннего подъема радиозонда (0 ч сгв); максимальная температура воздуха на день прогнозируется общепринятым методом;  $R_{ср}$  — среднее значение относительной влажности в слое от верхней границы приземной инверсии (практически

от 300—500 м) до высоты 3000 м;  $(T - T_d)_{\text{ср}}$  — среднее значение разности между температурой и точкой росы в момент подъема радиозонда в слое от земли до 200—500 м. Средняя разность берется в слое от земли до 500 м, если разность  $T - T_d$  у земли меньше или равна  $1^\circ\text{C}$  или больше или равна  $4^\circ\text{C}$ , и в слое от земли до 200 м — в остальных случаях;  $(1 - \gamma_{\text{ср}})$  — разность сухоадиабатического градиента и среднего градиента температуры в слое от верхней границы приземной инверсии до высоты 3000 м.

Из приведенной формулы следует, что если известен суточный ход температуры, то можно оценить качество конвективных облаков в любое время суток. В этом случае вместо  $T$  берется ожидаемая температура в интересующий нас срок.

В соответствии с приведенной методикой, используя график рис. 26, определить количество конвективной облачности для примера, указанного в приложении 8.1 (задание 1).

2. При отсутствии хорошо выраженной адвекции тепла и в условиях развитого турбулентного обмена высота нижней границы облаков нижнего яруса за исключением кучевых и кучево-дождевых облаков может быть рассчитана по одной из следующих формул:

$$H = 122(T - T_d), \quad (8.2)$$

$$H = 5400(2 - \lg R), \quad (8.3)$$

$$H = 22(107 - R), \quad (8.4)$$

где  $H$  — высота облаков м;  $T$  — температура воздуха у земли;  $T_d$  — температура точки росы у земли,  $^\circ\text{C}$ ;  $R$  — относительная влажность у поверхности земли, %.

Если имеются данные зондирования атмосферы, то для определения высоты нижней границы облаков можно использовать следующее выражение:

$$H = \left(15,3 \frac{1 - R_0}{\gamma_{\text{ср}}} + 28\right) \pm 44. \quad (8.5)$$

Здесь  $R_0$  — относительная влажность у поверхности земли (в сотых долях единицы);  $\gamma_{\text{ср}}$  — средний вертикальный градиент температуры воздуха под слоем инверсии,  $^\circ\text{C}/1 \text{ м}$ .

Решить примеры, указанные в задании 2 приложения 8.1.

3. Низкая облачность чаще всего образуется в холодное время, когда температура подстилающей поверхности близка к  $0^\circ\text{C}$  или отрицательна. Повторяемость низкой облачности возрастает при адвекции влажного и теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью.

Вероятность появления низких облаков можно определить по прогнозу температуры воздуха у поверхности земли с помощью графика, предложенного А. К. Лугченко (рис. 27). По оси абсцисс

этого графика откладывается температура воздуха, а по оси ординат — прогнозируемая температура на сутки вперед. Кривые на этом графике обозначают вероятность (%) появления низких облаков высотой менее 200 м.

На основании такого графика, используя значения прогнозируемой температуры, можно предусмотреть возникновение или сохранение низких облаков или тумана в утренние часы следующих суток. Графиком пользуются следующим образом. Из точки, соответствующей фактической температуре, необходимо опуститься вертикально вниз, а из точки, соответствующей прогнозируемой температуре, сместиться влево параллельно оси абсцисс до пересечения с изолинией фактической температуры. По точке пересечения определяют вероятность (%) возникновения или сохранения низких облаков. Так, например, если в 6 ч фактическая температура равна  $-6,0^{\circ}\text{C}$ , а к 6 ч следующих суток ожидается ее повышение до  $0^{\circ}\text{C}$ , то вероятность появления низких облаков составит 80 %, при междусуточном повышении температуры от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  вероятность появления этих облаков составит лишь 20 %.

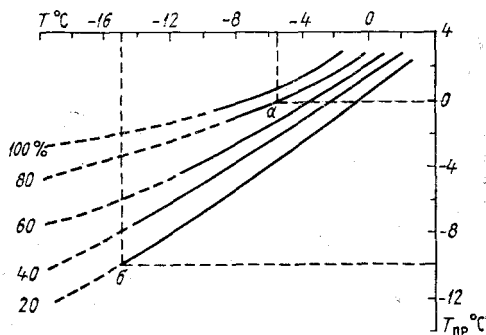


Рис. 27. График для определения вероятности появления облаков высотой менее 200 м (по методу А. К. Лугченко).

$T_{пр}$  — прогнозируемая температура воздуха на сутки вперед.

Решить примеры, указанные в задании 3 приложения 8.1.

4. В условиях медленно изменяющейся синоптической обстановки, когда прогноз низких облаков связан с хорошо выраженным переносом воздушных масс, для оценки высоты облаков используется график Е. И. Гоголевой (рис. 28). Этот график отражает зависимость высоты облаков от разности температуры воздуха в пункте прогноза  $T_0$  и температуры точки росы поступающего воздуха  $T_d$ .

В тех случаях, когда поступающая воздушная масса характеризуется более высокой температурой точки росы, чем температура подстилающей поверхности, будет происходить увеличение относительной влажности и понижение облачности или появление низких облаков. Наоборот, если температура точки росы поступающего воздуха ниже, чем температура воздуха в данном районе, следует ожидать уменьшение относительной влажности и повышение высоты облаков или их растекания. На графике рис. 28 по вертикальной оси отложено значение температуры в пункте, для

которого дается прогноз, а на горизонтальной оси — температура точки росы в начале траектории, т.е. температура воздушной массы, которая поступит в пункт прогноза через 12 ч. Наклонные сплошные линии ограничивают области с различной высотой об-

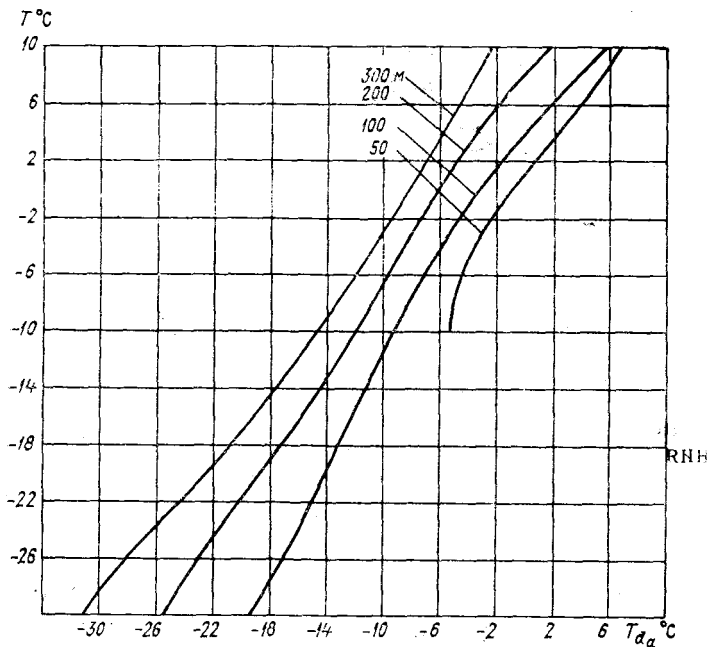


Рис. 28. График для прогноза нижней границы облачности (по методу Е. И. Гоголевой).

лаков. Например, верхняя линия ограничивает область с высотой облаков более 300 м (слева) и менее 300 м (справа).

Для прогноза нижней границы облачности по графику рис. 28 необходимо предварительно с помощью основных или кольцевых карт погоды определить район, откуда поступают воздушные массы. Достаточно точно это можно сделать на основании анализа карт  $AT_{850}$  или  $AT_{700}$ , приняв за траектории воздушных частиц изогипсы. При использовании карты  $AT_{700}$  скорость переноса рекомендуется принимать равной 0,7—0,8 от средней скорости, определяемой на этом уровне. Если карты барической топографии отсутствуют, то для расчета следует брать среднее значение скорости геострофического ветра.

Решить примеры, указанные в задании 4 приложения 8.1.

5. Оценить вероятность понижения облачности в ближайшие 2 ч по методу М. В. Рубинштейна для тех случаев, когда через интересующий нас район не проходят атмосферные фронты и не выпадают осадки.

По графику рис. 29 от значения фактической скорости ветра смещаемся вправо до исходной высоты нижней границы облаков, затем поднимаемся по вертикали вверх до пересечения с изоли-

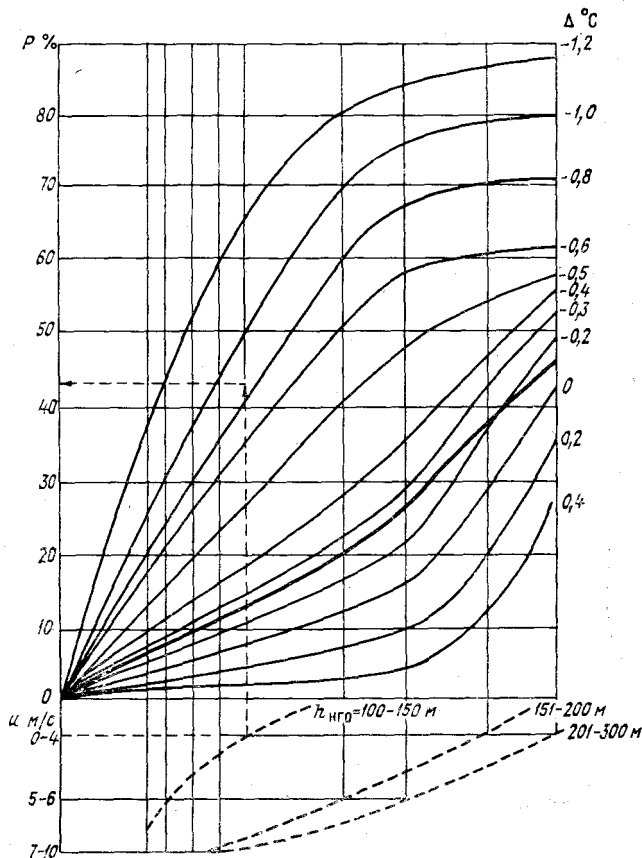


Рис. 29. К прогнозу низкой облачности (по методу М. В. Рубинштейна).

нией прогностического значения изменения дефицита точки росы  $\Delta = D_{пр} - D_{ф}$  (если этих данных нет — до жирной наклонной линии) и с вертикальной оси номограммы отсчитываем вероятность  $P$  (%) понижения облаков на ближайшие 2 ч. Используя полученное значение вероятности и данные табл. 8.1, определяем прогностическую высоту нижней границы облаков.

Решить примеры, указанные в задании 5 приложения 8.1.

6. Для прогноза верхней границы облачности используют сведения экипажей самолетов, находящихся в воздухе, данные радиолокационных наблюдений или температурно-ветрового зондирования атмосферы. При отсутствии этой информации высоту верхней

Таблица 8.1

**Прогнозируемая высота облаков (м) на ближайшие 2 ч  
(данные получены на основе метода М. В. Рубинштейна)**

Исходная высота облаков, м	$P < 35 \%$	$P \geq 35 \%$
100—150	100—150	100—150, временами 50—100
150—200	150—200	150—200, временами 100—150
200—300	200—300	200—300, временами 150—200

границы внутримассовой слоистой и слоисто-кучевой облачности можно оценить по формуле

$$H_B = 2(H_H + 100), \quad (8.6)$$

где  $H_B$  и  $H_H$  — соответственно верхняя и нижняя границы облачности, м.

Решить пример, указанный в задании 6 приложения 8.1.

#### Отчетный материал

1. Отдельный лист, на котором записан вариант задания, пронумерованы примеры и изложены ответы.

2. Решение первого примера записывается подробно с подстановкой всех значений, необходимых для определения величины  $K_{стр}$ .

#### Приложение 8.1

##### Примеры для диагноза и прогноза облачности

Задание 1. Определить возможность выполнения полета на аэрофото-съемку в 12 и 15 ч.

$H$ км	$p$ гПа	$T$ °C	$T_d$ °C	$R$ %
1	2	3	4	5
0	990	13,6	12,1	90
0,3	970	15,9	12,6	85
0,8	925	12,1	11,9	96
1,5	850	10,1	3,4	56
2,3	785	2,4	-1,0	63
3,0	700	2,3	-3,0	67
5,0	550	-2,6	-7,0	74

Вариант 1

Прогноз температуры:

$$T_{12 \text{ ч}} = 20,0 \text{ °C},$$

$$T_{15 \text{ ч}} = 24,5 \text{ °C}$$



*Вариант 2*

Прогноз температуры:

$T_{12 \text{ ч}} = 25,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

$T_{15 \text{ ч}} = 29,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

<i>H</i> км	<i>p</i> гПа	<i>T</i> °C	<i>T<sub>d</sub></i> °C	<i>R</i> %
1	2	3	4	5
0	999	14,1	12,6	90
0,25	975	16,4	13,6	90
0,76	929	12,9	12,6	95
1,46	850	9,3	3,0	60
2,60	780	3,4	0,0	63
3,50	700	1,8	-4,0	72
5,50	500	-3,6	-8,2	72

*Вариант 3*

Прогноз температуры:

$T_{12 \text{ ч}} = 17,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

$T_{15 \text{ ч}} = 21,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	991	13,3	11,8	90
0,34	965	15,5	11,8	81
0,85	920	13,1	12,7	94
1,55	850	11,1	4,0	53
2,00	789	1,6	-1,8	63
2,60	700	2,7	-2,2	63
4,65	590	-1,8	-6,0	76

*Вариант 4*

Прогноз температуры:

$T_{12 \text{ ч}} = 18,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

$T_{15 \text{ ч}} = 22,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	993	13,5	12,0	89
0,32	967	15,6	12,0	82
0,83	922	11,6	11,0	92
1,53	850	10,7	3,7	54
2,50	781	3,2	-0,2	63
3,40	700	1,9	-3,8	71
4,70	580	-2,0	-6,2	76

*Вариант 5*

Прогноз температуры:

$T_{12 \text{ ч}} = 21,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

$T_{15 \text{ ч}} = 25,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	996	13,8	12,3	90
0,28	972	16,1	13,0	87
0,78	926	12,3	12,1	96
1,49	850	9,9	3,3	57
2,10	788	1,8	-1,6	63
2,70	700	1,6	-2,4	70
5,40	510	-3,4	-8,0	72

*Вариант 6*

Прогноз температуры:

$T_{12 \text{ ч}} = 19,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

$T_{15 \text{ ч}} = 23,3 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	995	13,7	12,2	89
0,29	971	16,0	12,8	86
0,79	927	12,5	12,0	93
1,48	850	9,7	3,2	58
2,46	782	3,0	-0,4	63
3,30	700	2,0	-3,6	70
5,10	540	-2,8	-7,2	74

Вариант 7  
 Прогноз температуры:  
 $T_{12 \text{ ч}} = 16,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  
 $T_{15 \text{ ч}} = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C}$

$H$ км	$p$ гПа	$T$ $^\circ\text{C}$	$T_d$ $^\circ\text{C}$	$R$ %
1	2	3	4	5
0	994	13,2	11,7	90
0,31	968	15,7	12,2	83
0,82	923	11,7	11,5	96
1,52	850	10,5	3,6	64
2,20	787	2,0	-1,4	63
2,80	700	1,5	-2,4	69
4,75	570	-2,2	-6,6	74

Вариант 8  
 Прогноз температуры:  
 $T_{12 \text{ ч}} = 23,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  
 $T_{15 \text{ ч}} = 27,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	997	13,9	12,4	89
0,27	973	16,2	13,2	88
0,77	928	12,7	12,5	96
1,47	850	9,5	3,1	59
2,40	783	2,8	-0,6	63
3,20	700	2,1	-3,4	69
4,90	560	-2,4	-6,8	74

Вариант 9  
 Прогноз температуры:  
 $T_{12 \text{ ч}} = 22,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  
 $T_{15 \text{ ч}} = 26,7 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	992	13,4	11,9	90
0,33	966	15,8	12,4	84
0,84	921	11,5	11,0	93
1,54	850	10,9	3,8	53
2,25	786	2,2	-1,2	63
2,90	700	1,4	-2,8	71
5,20	530	-3,0	-7,5	73

Вариант 10  
 Прогноз температуры:  
 $T_{12 \text{ ч}} = 24,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  
 $T_{15 \text{ ч}} = 28,1 \text{ } ^\circ\text{C}$

0	998	14,0	12,5	89
0,26	974	16,3	13,4	89
0,81	924	12,0	11,8	96
1,51	850	10,3	3,5	55
2,35	784	2,6	-0,8	63
3,05	700	2,2	-3,2	68
5,30	520	-3,2	-7,7	73

Задание 2. Определить возможность вылета самолета санитарной авиации при установленном минимуме погоды  $100 \times 1000$ .

а)

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Пример 1

$T$ °C	11,8	15,9	12,0	13,0	14,7	15,0	13,6	12,4	11,5	16,4
$T_d$ °C	10,2	12,5	10,6	10,8	12,1	12,6	11,1	11,0	10,1	13,0

Пример 2

$T$ °C	16,4	11,5	12,4	15,0	13,6	11,8	14,7	15,9	13,0	12,0
$T_d$ °C	13,1	10,0	11,7	12,3	11,3	10,4	12,0	12,8	10,9	11,5

б)

Вариант . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_0$ % . . . .	88	96	86	92	89	91	90	87	94	85
$\gamma_{\text{ср}}$ °C/1 м .	0,0066	0,0060	0,0069	0,0062	0,0065	0,0067	0,0064	0,0063	0,0068	0,0061

Задание 3. Определить возможность выполнения полета по маршруту на самолете, экипаж которого имеет минимум  $200 \times 2000$ .

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Пример 1

$T_{\text{ф}}$ °C	-15,0	-5,5	-12,6	-9,2	-11,8	-6,4	-7,5	-8,0	-13,5	-14,4
$T_{\text{пр}}$ °C	-3,0	-2,0	0	-3,0	0	1,0	-1,0	0	-3,0	1,0

Пример 2

$T_{\text{ф}}$ °C	-7,1	-14,5	-5,6	-9,4	-10,0	-13,1	-12,0	-10,4	-7,2	-13,9
$T_{\text{пр}}$ °C	0	-1,0	1,0	-2,0	-2,0	0	-3,0	-2,0	-2,0	0

Пример 3

$T_{\text{ф}}$ °C	-11,2	-6,1	-10,8	-13,3	-6,6	-5,9	-6,3	-12,4	-6,2	-10,6
$T_{\text{пр}}$ °C	-3,0	0	-1,0	1,0	1,0	-1,0	-2,0	-3,0	-1,0	-3,0

Пример 4

$T_{\text{ф}}$ °C	-5,3	-14,0	-7,7	-11,5	-13,0	-6,8	-5,8	-10,2	-5,7	-8,1
$T_{\text{пр}}$ °C	1,0	-3,0	-2,0	-1,0	-3,0	-2,0	0	-1,0	1,0	-2,0

Задание 4. Определить возможность визуального полета на высоте 100 м для выполнения авиационно-химических работ.

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Пример 1

$T_{\phi}$ °C	-6,3	-5,4	-10,5	-5,9	-9,6	-7,8	-7,2	-7,9	-10,4	-9,6
$T_d$ (через 12 ч) °C	-4,2	-2,9	-10,0	-3,8	-8,6	-7,5	-5,3	-6,4	-9,7	-9,3

Пример 2

$T_{\phi}$ °C	-10,2	-9,0	-5,4	-10,2	-8,7	-9,1	-10,6	-5,9	-5,3	-8,8
$T_d$ (через 12 ч) °C	-9,3	-8,6	-3,8	-9,7	-6,4	-2,9	-10,0	-4,2	-5,3	-7,5

Задание 5. Определить возможность посадки самолета на аэродроме через 2 ч, если экипаж самолета имеет минимум  $100 \times 1000$ .

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Пример 1

$H_{нго. ф}$ м	140	170	90	165	185	250	100	150	240	130
$u_{\phi}$ м/с	3	4	2	6	8	9	3	7	5	1
$D_{пр} - D_{\phi}$ °C	-1,0	0,4	-1,0	-1,2	0,0	-0,3	—	0,2	-0,3	-0,8

Пример 2

$H_{нго. ф}$ м	180	210	225	190	120	145	200	195	215	205
$u_{\phi}$ м/с	2	10	8	7	5	1	6	3	4	7
$D_{пр} - D_{\phi}$ °C	—	-0,8	-1,2	-0,5	-1,2	0,4	-0,5	-1,0	-1,2	-1,0

Задание 6. Определить нижний эшелон полета за облаками с курсом 90 и 270° для заданного маршрута.

Исходные данные: высота нижней границы облаков  $H_{нго}$  (м)

Вариант	Пример				Вариант	Пример			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	630	470	260	110	6	600	500	290	170
2	580	420	210	190	7	660	230	140	440
3	670	510	300	150	8	450	160	240	620
4	590	430	220	180	9	490	650	130	280
5	640	480	270	120	10	250	460	610	100

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ТУМАНОВ

Цель работы: изучить методы диагноза и прогноза туманов, используемые на авиационных метеорологических станциях.

### Влияние туманов на полет воздушного судна

Процессы конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере происходят постоянно. При этом образуются мельчайшие капли или кристаллы льда, которые значительно ухудшают видимость.

Туман — это скопление в воздухе вблизи земли взвешенных капель воды или кристаллов льда, приводящее к ухудшению горизонтальной видимости (менее 1 км). Аналогичное явление с видимостью от 1 до 10 км называется дымкой. Туманы и густые дымки оказывают большое влияние на работу авиации. Они могут привести к закрытию аэропортов, возврату самолетов и вертолетов с маршрутов и даже к авиационным происшествиям. Поэтому прогнозу туманов на АМСГ уделяется большое внимание.

При одинаковых синоптических и метеорологических условиях в одних районах туман может наблюдаться, а в других — отсутствовать. Так, например, иногда туман возникает при относительной влажности около 90 %, т. е. при неполном насыщении воздуха, а в других случаях тумана не наблюдается при относительной влажности 100 %.

Важными микрофизическими характеристиками туманов являются агрегатное состояние частиц, преобладающие размеры капель и кристаллов, объемная концентрация частиц и содержание сконденсированной воды в единице объема (водность). Определение и количественный учет этих характеристик затруднен, поэтому прогноз туманов в настоящее время основывается на эмпирических данных.

В зависимости от степени ухудшения видимости туманы подразделяются на слабые (видимость 500—1000 м), умеренные (видимость 200—500 м), сильные (видимость 50—200 м) и очень сильные (видимость меньше 50 м).

По вертикальной мощности туманы также подразделяются на четыре группы: поземные (до 2 м), низкие (2—10 м), средние (10—100 м) и высокие (более 100 м) туманы.

Согласно существующей классификации, туманы, возникающие в однородной воздушной массе, относятся к внутримассовым, а туманы, образующиеся в зоне атмосферных фронтов, — к фронтальным туманам.

В зависимости от физических причин образования туманы условно подразделяются на туманы испарения, туманы смешения и туманы охлаждения.

К туманам и спарения относятся морские туманы и туманы, формирующиеся над реками и озерами. Туманы смешения возникают при смешении воздушных масс с различными температурно-влажностными характеристиками, а туманы охлаждения образуются вследствие понижения температуры воздуха. Температура воздуха может понизиться за счет ночного или круглосуточного (зимой) излучения земной поверхности, а также вследствие перемещения сравнительно теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью. В первом случае образуются радиационные туманы, во втором — адвективные. К туманам охлаждения относятся также адвективно-радиационные туманы и туманы склонов.

Исходными данными для прогноза туманов служат температура воздуха, температура точки росы, дефицит точки росы, вертикальные градиенты температуры и влажности в приземном слое, относительная влажность воздуха и другие характеристики. При этом рекомендуется учитывать и предыходные значения температуры, точки росы, адвекцию, а также облачность, скорость ветра, характер и состояние подстилающей поверхности.

Прогноз тумана сводится, в принципе, к прогнозу температуры туманообразования  $T_T$  и минимальной температуры воздуха  $T_{\min}$  и их сравнению. В тех случаях, когда температура туманообразования оказывается выше минимальной температуры, в прогнозах погоды необходимо указывать возможность возникновения тумана. Следовательно, если

$$T_T > T_{\min} \rightarrow \equiv. \quad (9.1)$$

Рассмотрим более подробно условия образования основных видов тумана.

Радиационный туман образуется над сушей при безоблачном небе и слабом ветре в результате ночного охлаждения воздуха, когда его температура оказывается ниже исходного значения температуры точки росы в вечерний срок.

Наиболее часто благоприятные условия для возникновения радиационного тумана создаются в антициклонах, гребнях, отрогах и барических седловинах, реже и главным образом летом — в поле пониженного давления с небольшими барическими градиентами.

Радиационный туман в большинстве случаев возникает при штиле у земли или скорости ветра 1—3 м/с. Благоприятным фактором для образования тумана является слабое увеличение скорости ветра с высотой. Такие условия способствуют турбулентному переносу продуктов конденсации от земной поверхности вверх и их поддержанию во взвешенном состоянии в приземном слое воздуха. В процессе перемешивания толщина слоя тумана увеличивается. Если воздух неподвижен, то перенос влаги обусловлен только молекулярными процессами, и туман может не возникнуть. Вертикальная мощность радиационных туманов обычно не

превышает 200—300 м. Радиационный туман образуется, как правило, в приземном подынверсионном слое.

Таким образом, при прогнозе радиационных туманов необходимо учитывать продолжительность ночного выхолаживания, характер облачного покрова, скорость и направление ветра, исходные значения температуры и влажности воздуха, характер подстилающей поверхности и стратификацию воздушной массы.

Как указывалось выше, для прогноза тумана необходимо определить по исходным данным с учетом всех факторов температуру туманообразования, минимальную температуру и сравнить их между собой. Если условие (9.1) выполняется, то в прогнозе погоды следует указывать туман, если оно не выполняется — туман маловероятен.

Адвективный туман образуется при охлаждении относительно теплой и влажной воздушной массы в процессе ее перемещения. Иными словами, адвективный туман следует ожидать в ближайшие часы или сутки, когда по прогнозу синоптического положения создаются условия для адвекции теплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность.

Адвективные туманы наблюдаются в любое время суток. При повышении скорости приземного ветра интенсивность адвективных туманов возрастает. Это справедливо для увеличения скорости ветра у земли до 12—15 м/с. Как правило, адвективные туманы возникают зимой и в переходные сезоны при заметном потеплении.

При прогнозе адвективных туманов следует учитывать перемещение уже имеющих зон тумана, адвективные изменения температуры и температуры точки росы в приземном слое, возможность снижения облаков до поверхности земли, а также охлаждение воздуха в процессе ночного радиационного выхолаживания.

#### *Контрольные вопросы*

1. Какое метеорологическое явление называется туманом?
2. Причины возникновения туманов.
3. Как подразделяются туманы в зависимости от их интенсивности и вертикальной мощности?

#### *Материалы для работы*

1. Примеры для прогноза туманов, указанные в приложении 9.1.
2. Миллиметровая бумага.

#### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 155—172.
2. Богатин О. Г. Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 89—107.



3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 106—115.

*Порядок выполнения работы*

1. Определить время закрытия аэропорта, если известно, что минимум аэродрома равен: по высоте облаков 100 м, по видимости на ВПП 1000 м ( $100 \times 1000$ ).

2. Определить возможность выполнения ночных полетов на аэродроме при установленном минимуме погоды для посадки  $100 \times 1000$ .

3. Определить возможность посадки самолетов на аэродроме, имеющем минимум  $50 \times 500$ .

4. Определить, будет ли закрыт аэропорт при установленном минимуме погоды  $60 \times 800$ .

5. Определить возможность выполнения визуальных полетов над морем и в прибрежной зоне по данным о температуре воздуха и температуре воды.

*Методические указания*

1. Для уточнения времени образования радиационного тумана рекомендуется составить график, учитывающий изменение температуры воздуха и температуры точки росы на станции. Исходными данными для составления графика служат значения температуры воздуха и точки росы за два-три срока наблюдений, близких ко времени захода солнца.

Для построения графика используется специальный бланк или миллиметровая бумага; на горизонтальной оси графика откладывается время, а на вертикальной — температура воздуха  $T$ , температура точки росы  $T_d$  и температура туманообразования  $T_T$ . Рекомендуемый масштаб графика: по вертикали 1 см —  $1^\circ\text{C}$ , по горизонтали 1 см — 1 ч. На графике в соответствующем масштабе по данным наблюдений отмечаются три указанные выше температуры. Температура туманообразования рассчитывается по одной из формул

$$\begin{aligned} T_T &= T_d - 1 \quad \text{при } T_d > 0^\circ\text{C}, \\ T_T &= T_d - 2 \quad \text{при } T_d < 0^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (9.2)$$

Нанесенные на график значения  $T$ ,  $T_d$  и  $T_T$  соединяются отрезками прямых и экстраполируются. При этом считается, что ход температуры воздуха и температуры точки росы будет аналогичен ходу этих величин между последними двумя сроками (на графике все три линии необходимо продлить по направлению отрезков, соединяющих два последних наблюдения). Если кривая температуры воздуха пересекает кривые точек росы и температуры туманообразования до момента восхода солнца, то в этих случаях следует ожидать образование дымки или тумана соответственно.

Время образования дымки или тумана определяется в точках пересечения кривых  $T$  и  $T_d$ , а также  $T$  и  $T_T$ . Использование данных наблюдений за последующие сроки позволяет уточнить возможность образования тумана и время его возникновения.

Для прогноза тумана методом экстраполяции выполнить один из вариантов задания 1 приложении 9.1.

2. Для определения возможности выполнения ночных полетов на аэродроме при установленном минимуме погоды  $100 \times 1000$  следует воспользоваться методом Н. В. Петренко для прогноза туманов. Н. В. Петренко для определения температуры туманообразования использовал приближенную зависимость между температурой точки росы во время захода солнца  $T_d$  и температурой воздуха при появлении тумана  $T_T$ . Им было установлено, что среднее понижение температуры точки росы от захода солнца до появления тумана составляет  $1^\circ\text{C}$  при положительных значениях температуры точки росы и  $2^\circ\text{C}$  при отрицательных значениях.

На основе приведенной выше зависимости был построен график для прогноза радиационного тумана (рис. 30). На горизонтальной шкале графика отложены значения температуры точки росы  $T_d$  в момент наблюдений при заходе солнца в интервале от  $30$  до  $-30^\circ\text{C}$ . На вертикальной шкале — температура туманообразования  $T_T$  и минимальная температура на ночь в интервале от  $25$  до  $-30^\circ\text{C}$ . Правый верхний квадрат охватывает область положительных значений температур воздуха и точки росы, левый нижний — область отрицательных значений этих величин.

Штриховая линия 1 является теоретической границей насыщения ( $T=T_d$ ) и называется линией дымки. Сплошная линия 2 является границей туманообразования или линией тумана. Расстояние по горизонтали между линиями 1 и 2 пропорционально величине охлаждения воздуха от температуры, равной данной температуре точки росы, до температуры туманообразования. Между линиями 1 и 2 заключена область дымки или слабого (умеренного) тумана.

График Н. В. Петренко позволяет:

1. Оценить возможность образования тумана по вечернему значению температуры точки росы и прогнозу минимальной температуры на ночь. Для этого на графике необходимо найти точку пересечения линий, проходящих через значение температуры точки росы и прогнозируемой минимальной температуры воздуха. Если эта точка будет лежать выше линии 1 (над границей насыщения), то тумана быть не может. Если точка пересечения указанных температур лежит между линиями 1 и 2 (граница тумана), то следует ожидать дымку, а ниже линии 2 — туман.

2. Определить температуру образования тумана. Для этого достаточно от данного значения температуры точки росы подняться вверх до линии тумана, затем сделать отсчет температуры туманообразования на вертикальной шкале.

Если по синоптическим условиям ожидается безоблачная погода или прояснение при слабом ветре у земли, а по прогнозу минимальная температура ниже температуры туманообразования, то следует прогнозировать туман. Если ожидается минимальная

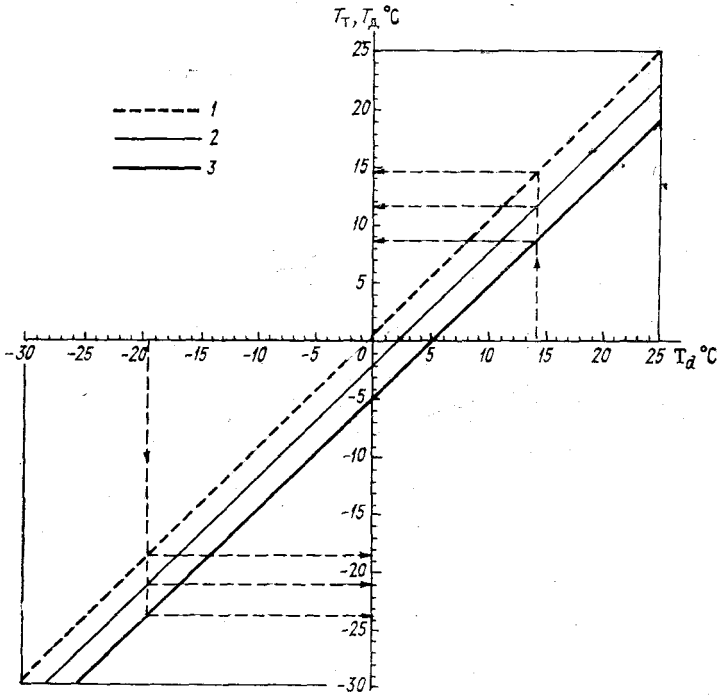


Рис. 30. График для прогноза радиационного тумана (по методу Н. В. Петренко).

1 — дымка, 2 — слабый туман, 3 — сильный туман.

температура воздуха выше температуры туманообразования и вечернего значения температуры точки росы, то не следует прогнозировать ни тумана, ни дымки. Если ожидается минимальная температура воздуха выше температуры туманообразования и ниже исходного значения точки росы и температуры образования дымки, то следует ожидать дымку.

Графический метод Н. В. Петренко дает положительные результаты при условии однородности воздушной массы, когда на ее влагосодержание не будет влиять испарение с подстилающей поверхности или осадки.

Для прогноза тумана по методу Н. В. Петренко выполнить один из вариантов задания 2 приложения 9.1.

3. Для определения возможности посадки самолетов на аэродроме, имеющем минимум  $50 \times 500$ , следует воспользоваться

номограммой, предложенной Б. В. Кирюхиным (рис. 31). Номограмма Б. В. Кирюхина позволяет найти по значению температуры и относительной влажности воздуха необходимое понижение тем-

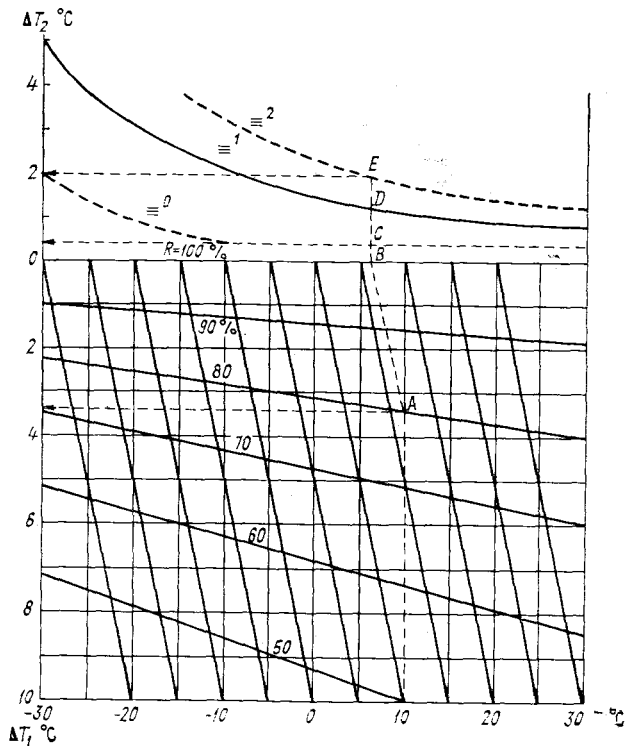


Рис. 31. Номограмма Б. В. Кирюхина для прогноза туманов.

пературы для достижения насыщения ( $\Delta T_1$ ) и дополнительное понижение температуры для возникновения тумана различной интенсивности ( $\Delta T_2$ ).

Общее понижение температуры, необходимое для образования тумана  $\Delta T_T$ , будет равно

$$\Delta T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2,$$

а следовательно,

$$T_T = T - \Delta T_T.$$

Величины  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$  определяются по номограмме рис. 31, затем вычисляется значение  $T_T$  и сравнивается с минимальной температурой воздуха. Порядок определения понижения температуры, необходимого для образования тумана, показан на рис. 31.

Для прогноза тумана по методу Б. В. Кирюхина выполнить один из вариантов задания 3 приложения 9.1.

4. Для определения возможности закрытия аэропорта при установленном минимуме погоды  $60 \times 800$  следует воспользоваться методикой, предложенной А. С. Зверевым. Эта задача по методу А. С. Зверева решается следующим образом:

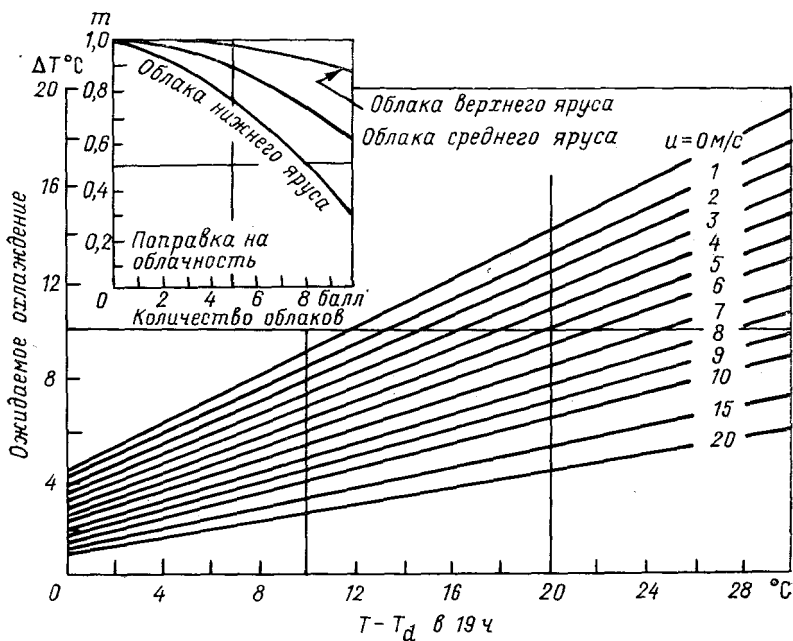


Рис. 32. График для определения ночного понижения температуры.

1. По графику рис. 32 в зависимости от дефицита точки росы у земли с учетом прогностической скорости ветра определяется ночное понижение температуры  $\Delta T$ .

2. Полученное значение  $\Delta T$  уточняется по результатам прогноза облачности (номограмма в верхней части рис. 32). С учетом прогноза облачности рассчитывается ночное понижение температуры  $\Delta T_1 = m \Delta T$  и  $T_{\min} = T - \Delta T_1$ .

3. По диаграмме рис. 33 определяется дополнительное понижение температуры ниже точки росы  $\Delta T_d$ , необходимое для возникновения тумана различной интенсивности, и рассчитывается температура туманообразования  $T_T = T_d - \Delta T_d$ .

4. Сравниваются значения минимальной температуры  $T_{\min}$  и температуры туманообразования  $T_T$  и делается заключение о возможности образования тумана: при  $T_T > T_{\min}$  в прогнозе следует указывать туман.

5. По значениям  $T_d$  и  $\delta T_d = T_d - T_{\min}$  с помощью графика рис. 34 определяется минимальная видимость в тумане. По верти-

кальной оси графика откладываются значения  $T_d$  в 18—20 ч, наклонные линии соответствуют величине  $\delta T_d$ , а горизонтальные — минимальной видимости в тумане.

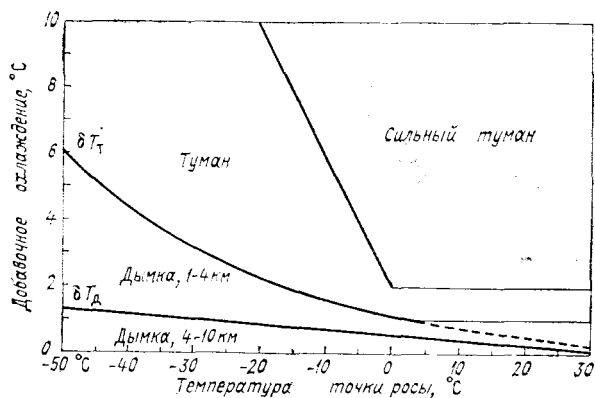


Рис. 33. График для вычисления температуры туманообразования.

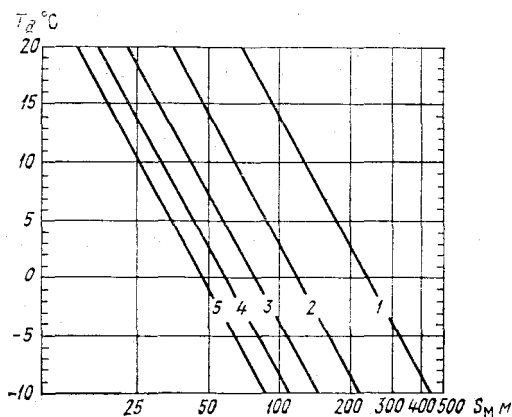


Рис. 34. График для определения минимальной видимости  $S_m$  в тумане.

Для прогноза тумана по методу А. С. Зверева выполнить один из вариантов задания 4 приложения 9.1.

5. Для определения возможности выполнения визуальных полетов над морем и в прибрежной зоне по данным о температуре воздуха и температуре воды следует воспользоваться методом Л. А. Ключниковой для прогноза адвективных туманов (рис. 35). По горизонтальной оси этого графика отложена водность в тумане и указана его интенсивность, по вертикальной — разность температур воды и суши; наклонные линии соответствуют температуре воды.

Температура водной поверхности для прогноза тумана по этому методу берется за утренний срок и обновляется по мере поступления новых данных (не реже одного раза в сутки). Под температурой суши понимается температура воздуха в психрометрической будке в срок, для которого разрабатывается прогноз тумана.

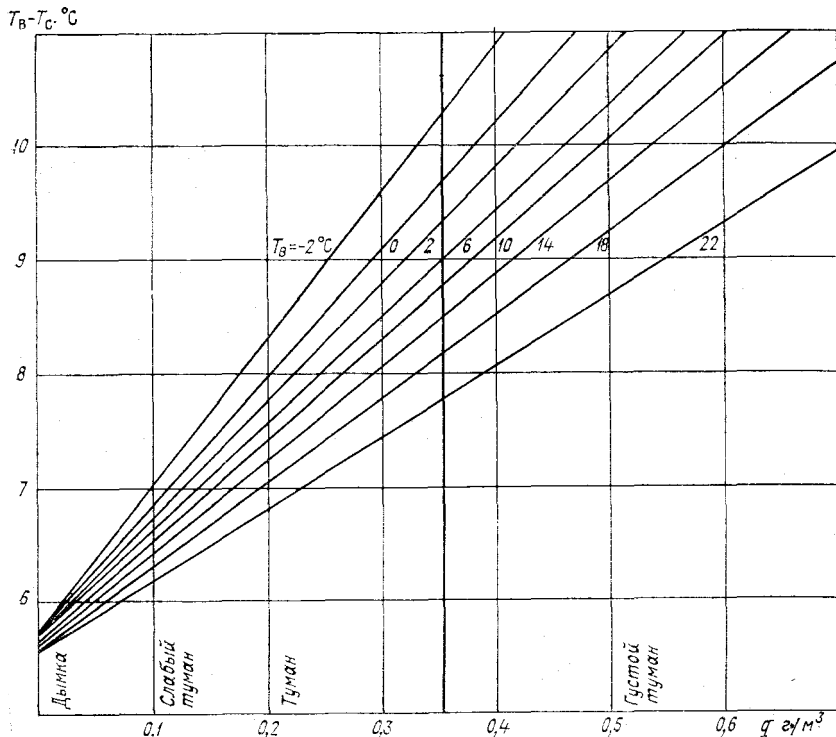


Рис. 35. Номограмма для прогноза тумана (по методу Л. А. Ключниковой).

Зная температуру воды и суши спрогнозировать туман достаточно просто. Метод дает хорошие результаты примерно в 100-километровой прибрежной зоне при направлении ветра с моря на сушу.

Для прогноза туманов по методу Л. А. Ключниковой выполнить один из вариантов задания 5 приложения 9.1.

### Отчетный материал

1. Результаты решения всех примеров одного из вариантов приложения 9.1, указанного преподавателем.
2. Ответы изложить письменно на отдельном листе.

## Приложение 9.1

**Задания и варианты примеров для определения возможности возникновения тумана**

**Задание 1.** Определить время закрытия аэропорта при минимуме аэродрома  $100 \times 1000$ .

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Срок наблюдения 19 ч										
$T$ °C	17,0	0,0	2,3	12,7	7,8	10,1	18,0	15,2	17,5	5,0
$T_d$ °C	12,1	-4,9	-3,2	7,6	2,8	5,0	12,9	-10,0	12,4	0,0
Срок наблюдения 19 ч 30 мин										
$T$ °C	16,0	-1,0	-1,2	11,6	6,9	9,0	17,0	14,1	16,4	3,9
$T_d$ °C	12,0	-5,0	-2,8	7,6	2,9	5,1	13,0	10,1	12,3	-0,1
Срок наблюдения 20 ч										
$T$ °C	15,1	-2,1	0,4	10,5	5,7	8,1	15,8	13,0	15,0	2,8
$T_d$ °C	11,9	-5,2	-2,7	7,6	3,0	5,2	12,9	10,1	12,1	-0,3

**Задание 2.** Определить возможность выполнения ночных полетов на аэродроме при минимуме погоды для посадки  $100 \times 1000$ .

Вариант	Исходные данные	Пример					
		1	2	3	4	5	6
1	$T_d$ (19 ч) °C	9,4	6,4	11,7	-10,3	-17,0	-7,2
	$T_{мин}$ °C	11,0	3,0	7,0	-11,0	-19,0	-12,0
2	$T_d$ (19 ч) °C	5,0	12,1	8,5	-6,1	-9,6	-17,4
	$T_{мин}$ °C	4,5	5,6	2,8	-9,9	-13,9	-20,6
3	$T_d$ (19 ч) °C	8,2	5,3	11,9	-9,0	-16,8	-7,8
	$T_{мин}$ °C	3,2	1,1	6,3	-15,5	-23,7	-14,9
4	$T_d$ (19 ч) °C	11,6	8,3	5,5	-15,2	-6,7	-10,3
	$T_{мин}$ °C	6,2	2,5	0,5	-22,7	-11,9	-17,0
5	$T_d$ (19 ч) °C	7,1	11,5	5,7	-8,0	-15,6	-9,9
	$T_{мин}$ °C	-1,9	6,0	-0,4	-14,3	-21,8	-16,9
6	$T_d$ (19 ч) °C	9,9	12,3	6,8	-12,1	-9,4	-7,4
	$T_{мин}$ °C	3,4	6,7	0,5	-19,3	-14,8	-12,9
7	$T_d$ (19 ч) °C	12,2	9,8	6,6	-18,1	-6,5	-10,5
	$T_{мин}$ °C	5,7	3,5	0,0	-25,2	-13,4	-16,5
8	$T_d$ (19 ч) °C	13,0	6,9	11,8	-6,3	-17,7	-10,7
	$T_{мин}$ °C	7,6	1,5	5,1	-11,4	-24,8	-17,5



Вариант	Исходные данные	Пример					
		1	2	3	4	5	6
9	$T_d$ (19 ч) °C	10,1	5,2	9,7	-9,2	-10,8	-7,6
	$T_{мин}$ °C	3,2	-1,2	6,3	-15,0	-17,1	-13,2
10	$T_d$ (19 ч) °C	11,4	8,0	9,6	-15,5	-7,9	-16,0
	$T_{мин}$ °C	4,7	1,9	4,0	-21,0	-14,1	-24,5

Задание 3. Определить возможность посадки самолетов при минимуме погоды 50×500.

Вариант	Исходные данные	Пример					
		1	2	3	4	5	6
1	$T$ °C	4,0	-0,3	-5,2	-7,9	-7,0	-2,1
	$R$ %	90	86	75	82	65	95
	$T_{мин. пр}$ °C	0	-5	-7	-12	-13	-6
2	$T$ °C	10,1	-1,6	-6,1	-8,0	-12,0	-18,5
	$R$ %	71	62	54	85	90	95
	$T_{мин. пр}$ °C	3,0	-10	-18,0	-13,0	-16,0	-22,0
3	$T$ °C	1,2	-1,4	-2,3	-10,5	-7,4	-20,4
	$R$ %	83	74	65	54	92	88
	$T_{мин. пр}$ °C	-3,0	-8,0	-11,0	-20,0	-12,0	-25,0
4	$T$ °C	9,3	-0,7	-7,8	-20,2	-12,8	-25,0
	$R$ %	91	80	74	68	57	85
	$T_{мин. пр}$ °C	5,0	-5,0	-15,0	-28,0	-22,0	-29,0
5	$T$ °C	8,4	-1,0	-6,9	-17,4	-11,7	-3,4
	$R$ %	74	65	90	58	82	95
	$T_{мин. пр}$ °C	2,0	-9,0	-11,0	-28,0	-18,0	-7,0
6	$T$ °C	2,8	-1,2	-7,5	-14,1	-10,3	-17,8
	$R$ %	65	88	72	91	59	85
	$T_{мин. пр}$ °C	-6,0	-5,0	-15,0	-20,0	-19,0	-22,0
7	$T$ °C	3,5	-0,7	-8,4	-13,8	-11,0	-19,2
	$R$ %	80	55	67	72	88	94
	$T_{мин. пр}$ °C	-2,0	-12,0	-15,0	-20,0	-15,0	-22,0
8	$T$ °C	5,4	-0,9	-9,2	-12,6	-16,4	-4,8
	$R$ %	78	74	58	63	84	90
	$T_{мин. пр}$ °C	1,0	-6,0	-18,0	-20,0	-22,0	-10,0
9	$T$ °C	6,5	-1,8	-10,1	-18,2	-15,0	-6,5
	$R$ %	98	59	75	61	82	68
	$T_{мин. пр}$ °C	3,0	-10,0	-16,0	-27,0	-20,0	-15,0
10	$T$ °C	7,7	-2,3	-16,0	-7,5	-5,6	-17,1
	$R$ %	81	64	72	56	94	78
	$T_{мин. пр}$ °C	3,0	-10,0	-25,0	-20,0	-9,0	-25,0

Задание 4. Определить, будет ли закрыт аэропорт при минимуме погоды 60×800.

Вариант	Исходные данные	Пример				
		1	2	3	4	5
1	$T$ (19 ч) °C	17,0	4,1	13,0	-9,7	-6,0
	$T_d$ (19 ч) °C	14,1	-0,5	10,9	-10,4	-7,7
	Прогноз облачности	Ясно	4 балла, средняя	5 баллов, верхняя	5 баллов, нижняя	Ясно
	Прогноз ветра, м/с	Штиль	3	1	2	2
2	$T$ (19 ч) °C	28,0	4,5	8,0	-11,4	-8,4
	$T_d$ (19 ч) °C	16,2	2,5	3,8	-13,4	-10,0
	Прогноз облачности	7 баллов, нижняя	4 балла, средняя	10 баллов, верхняя	2 балла, средняя	Ясно
	Прогноз ветра, м/с	5	3	штиль	2	1
3	$T$ (19 ч) °C	21,0	16,3	10,8	-1,4	-8,2
	$T_d$ (19 ч) °C	19,8	8,3	9,1	-2,8	-10,0
	Прогноз облачности	3 балла, средняя	7 баллов, верхняя	5 баллов, нижняя	Ясно	Ясно
	Прогноз ветра, м/с	0	6	4	2	Штиль
4	$T$ (19 ч) °C	5,0	-18,0	-8,5	-6,8	-1,7
	$T_d$ (19 ч) °C	-1,6	-20,0	-10,0	-8,5	-2,6
	Прогноз облачности	Ясно	2 балла, верхняя	5 баллов, средняя	4 балла, нижняя	Ясно
	Прогноз ветра, м/с	2	Штиль	Штиль	5	2
5	$T$ (19 ч) °C	14,6	-5,8	0,5	4,3	6,1
	$T_d$ (19 ч) °C	12,7	-8,0	-0,7	-2,4	1,5
	Прогноз облачности	Ясно	3 балла, средняя	9 баллов, верхняя	3 балла, средняя	Ясно
	Прогноз ветра, м/с	2	2	3	6	Штиль

Вариант	Исходные данные	Пример				
		1	2	3	4	5
6	$T$ (19 ч) °C	-9,4	12,8	-4,9	18,4	16,5
	$T_d$ (19 ч) °C	-10,8	9,7	-6,9	15,6	8,1
	Прогноз облачности	7 баллов, верхняя	Ясно	3 балла, средняя	8 баллов, верхняя	3 балла, нижняя
	Прогноз ветра, м/с	1	Штиль	5	2	2
7	$T$ (19 ч) °C	-1,5	8,6	17,5	25,0	-5,4
	$T_d$ (19 ч) °C	-2,5	3,1	14,5	21,0	-8,0
	Прогноз облачности	7 баллов, нижняя	8 баллов, нижняя	Ясно	Ясно	5 баллов, верхняя
	Прогноз ветра, м/с	1	4	2	Штиль	1
8	$T$ (19 ч) °C	14,7	12,4	-5,8	20,5	7,4
	$T_d$ (19 ч) °C	13,6	2,8	-7,9	16,2	5,2
	Прогноз облачности	4 балла, верхняя	6 баллов, средняя	Ясно	3 балла, нижняя	5 баллов, средняя
	Прогноз ветра, м/с	5	2	3	1	4
9	$T$ (19 ч) °C	-9,5	-8,4	-6,1	18,5	15,5
	$T_d$ (19 ч) °C	-10,9	-10,0	-7,8	8,0	14,5
	Прогноз облачности	7 баллов, верхняя	5 баллов, средняя	Ясно	3 балла, нижняя	Ясно
	Прогноз ветра, м/с	1	Штиль	2	2	Штиль
10	$T$ (19 ч) °C	12,8	19,4	-14,8	0,0	-4,4
	$T_d$ (19 ч) °C	3,8	17,2	-17,4	-2,6	-5,6
	Прогноз облачности	8 баллов, верхняя	2 балла, средняя	1 балл, верхняя	Ясно	5 баллов, верхняя
	Прогноз ветра, м/с	3	3	5	2	Штиль

Задание 5. Определить возможность выполнения визуальных полетов над морем и в прибрежной зоне по данным о температуре воздуха на суше и температуре водной поверхности.

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Пример 1									
$T_{\text{вод}} \text{ } ^\circ\text{C}$	7	-2	0	14	-1	17	13	8	1	16
$T_{\text{с}} \text{ } ^\circ\text{C}$	-3	-8	-9	5	-10	9	2	1	-7	9
	Пример 2									
$T_{\text{вод}} \text{ } ^\circ\text{C}$	2	20	10	1	5	1	22	15	11	4
$T_{\text{с}} \text{ } ^\circ\text{C}$	-5	12	-1	-7	-3	-7	15	5	3	-4
	Пример 3									
$T_{\text{вод}} \text{ } ^\circ\text{C}$	15	6	18	12	21	9	-2	0	21	19
$T_{\text{с}} \text{ } ^\circ\text{C}$	8	-3	9	3	12	0	-10	-7	12	12

## **ПРОГНОЗ ОПАСНЫХ ДЛЯ АВИАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ КОНВЕКЦИЕЙ**

Цель работы: научиться оценивать возможность возникновения гроз, града, шквалов, осложняющих полеты в районе аэродрома и по трассе, на основании синоптических материалов.

### **Явления погоды, связанные с конвективными облаками, и анализ условий их возникновения**

Развитие интенсивной конвекции и образование мощных кучевых и кучево-дождевых облаков приводит к возникновению таких опасных для авиации явлений, как грозы, град и шквалы.

Наибольшую опасность для полета представляют грозы. Преднамеренный заход в кучево-дождевые облака запрещается, так как в них отмечаются сильные восходящие движения, разряды молний, интенсивная турбулентность, обледенение самолета и т. д. При полете в зоне грозы (вне кучево-дождевых облаков) увеличивается вероятность поражения самолета молнией. Полет в этой зоне сопровождается неупорядоченными бросками самолета, обусловленными сильной турбулентностью. Самолет, пересекая «фронт порывистости», связанный с кучево-дождевым облаком, может попасть в область сильных сдвигов ветра.

Грозам обычно сопутствуют ливневые осадки, а нередко град и шквалы. Ливневые осадки также осложняют полет. При сильном ливне возможно значительное ухудшение видимости, иногда до полной потери визуальной ориентировки. Возникающие при ливне нисходящие потоки воздуха более холодного, чем окружающий облако воздух, могут иметь большую скорость (20 м/с и более) и привести к потере самолетом высоты. Это особенно опасно при взлете, посадке и полете на малых высотах. Град, как выпадающий на землю, так и находящийся во взвешенном состоянии в облаке или на его подветренной стороне, может причинить большой ущерб самолету: вследствие большой скорости движения градины диаметром более 1 см могут повредить обшивку самолета, остекление кабины, нарушить работу двигателя, радиосвязь (при повреждении антенны) и т. п.

Шквалы, обычно связанные с развитием мощных кучево-дождевых облаков, отличаются кратковременным резким усилением ветра, которое представляет опасность не только для летящего самолета, но и для воздушных судов, находящихся на земле.

Наиболее благоприятные условия для развития грозовых и градовых облаков, нередко сопровождающихся и шквалами, отмечаются летом в дневное время (с 12 до 20 ч) над сушей (равниной) в зонах быстродвижущегося холодного фронта, малоподвижного

фронта с волновыми возмущениями, а также в зоне фронта окклюзии, смещающегося со скоростью 30 км/ч и более, в неглубокой барической ложбине, в теплом секторе циклона или на периферии антициклона, в передней или центральной частях очага (ложбины) холода в тропосфере (на картах  $OT_{1000}^{500}$  и  $OT_{1000}^{300}$ ). В горных районах грозы и град отмечаются при перечисленных условиях в любое время суток.

Для развития гроз (без града и шквалов) над равниной и в горах в вечернее, ночное и утреннее время (с 21 до 9—10 ч) благоприятны теплые фронты и фронты окклюзии (по типу теплового), особенно их участки вблизи центра циклона (вершины волны) и у точки окклюзии, гребень тепла в тропосфере (на картах  $OT_{1000}^{500}$  и  $OT_{1000}^{300}$ ) в ночное время.

При наличии благоприятных синоптических условий для прогноза гроз используются количественные методы. По методике, разработанной в Гидрометцентре СССР, при горизонтальном градиенте температуры у земли в пункте (прогнозируемое значение)  $\text{grad } T < 5^\circ\text{C}$  на 600 км рекомендуется использовать метод Н. В. Лебедевой, при  $\text{grad } T \geq 5^\circ\text{C}$  на 600 км (бароклинность считается существенной) — метод Г. Д. Решетова.

Прогноз конвективных явлений производится на основании прогностических данных о давлении у земли, высоте стандартных изобарических поверхностей (до 100 гПа), температуре воздуха и температуре точки росы у земли и на указанных поверхностях.

Метод Н. В. Лебедевой включает построение кривой состояния (с учетом вида конвекции — термической, свободной или вынужденной), определение высоты уровня конвекции  $H_k$ , температуры воздуха на этом уровне  $T_k$  и толщины неустойчиво стратифицированного слоя воздуха  $\Delta H$ . Если  $H_k \geq 8000$  м,  $\Delta H \geq 7500$  м и  $T_k \leq -22,5^\circ\text{C}$ , то прогнозируются грозы с градом; если  $H_k \geq 8000$  м,  $7500 > \Delta H \geq 6500$  м и  $T_k \leq -22,5^\circ\text{C}$ , то в прогнозе указываются только грозы; при  $8000 > H_k > 5000$  м,  $6500 > \Delta H \geq 3500$  м и  $T_k \leq -10^\circ\text{C}$  прогнозируются ливни, при  $\Delta H < 3500$  м — конвективная облачность.

С. И. Пономаренко и С. А. Кузнецова уточнили параметры конвекции для прогноза гроз в районе Москвы по методу Н. В. Лебедевой.

Критические значения уточненных параметров приводятся в табл. 10.1. Если суммарный дефицит точки росы на главных изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа  $\sum_{850}^{500} (T - T_d)$  превышает  $25^\circ\text{C}$ , то увлажнение недостаточно, и дальнейшие расчеты не производятся. Если  $\sum_{850}^{500} (T - T_d) \leq 25^\circ\text{C}$ , то рассчитывается дефицит точки росы у поверхности земли при максимальных значениях  $T_{\text{макс}}$  и  $T_d$ :  $(T_{\text{макс}} - T_d)_z$ ; если  $(T_{\text{макс}} - T_d)_z > 20^\circ\text{C}$ , то уро-

Таблица 10.1

Критические значения параметров конвекции (по методу частицы), при которых наиболее вероятно развитие конвективных явлений

$\sum_{500}^{850} (T - T_p)$ °C	$(T_{\text{макс}} - T_{\text{мин}})_{\text{макс}}$ °C	$\Delta H_{\text{внс}}$ гПа	$H_{\text{конд}}$ , км $H_{\text{конд}}^{**}$ , км	$H_{\text{конв}}$ , км $H_{\text{конв}}^{**}$ , км $H_{\text{с.о}}$	$T_{\text{конв}}$ °C	$\Delta \bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - T)$ °C	$\Delta \bar{H}_{\text{к.о.}}$ , км $\Delta \bar{H}_{\text{к.о.}}^{**}$ , км $\Delta \bar{H}_{\text{с.о.}}^{**}$ , км	Конвективные явления
> 25	> 20	—	—	—	—	—	—	Развитие конвекции не ожидается
≤ 25	≤ 16	> 10	~ 1,5	> 6	< -22,5	> 4	~ 4,5	Слабый ливневый дождь, возможна гроза или сухая гроза
≤ 20	≤ 14 (≤ 10)	> 20	~ 1,5	> 5	-22,5 < $T_{\text{конв}}$ < -10	≥ 3 (≥ 1)	> 3,5	Ливневый дождь без грозы
≤ 20	≤ 14	> 30	~ 1,5	> 8	< -22,5	≥ 3	> 6,5	Ливневый дождь, местами грозы
≤ 16	~ 10	> 60 — 100	~ 1,5 > $H$ > $H$ > 1,0	> 8	< -22,5	≥ 3	> 7,5	Сильный ливневый дождь и гроза
~ 16	~ 10	—	1,5 > $H$ > 1,0	> 8	< -22,5	3, но $\Delta T_{\text{макс}} > 4$	≥ 7,5	Град

Примечание. Одной звездочкой (\*) отмечена величина, которая рассчитывается только в условиях свободной конвекции; двумя звездочками (\*\*) — только в условиях вынужденной конвекции.

вень конденсации лежит выше 2 км; в этом случае дальнейшие расчеты не производятся; при  $(T_{\text{макс}} - T_d)_z < 16^\circ\text{C}$  отмечаются благоприятные условия для развития конвекции и тогда рассчитываются остальные параметры: толщина конвективно-неустойчивого слоя  $\Delta H_{\text{кнс}}$ ; средний уровень конденсации  $\bar{H}_{\text{конд}}$  при термической и свободной конвекции или нижний уровень конденсации  $H_{\text{конд}}$  при вынужденной конвекции; средний уровень конвекции  $\bar{H}_{\text{конв}}$  (при вынужденной конвекции — уровень конвекции  $H_{\text{конв}}$  от нижнего уровня конденсации, а также верхняя граница слоистообразных облаков  $H_{\text{с.о}}$ ); температура на среднем уровне конвекции (при вынужденной конвекции — на уровне конвекции)  $T_{\text{конв}}$ ; средняя величина отклонения  $\overline{\Delta T}$  кривой состояния  $T'$  от кривой стратификации  $T$ :  $\Delta T = \frac{1}{n} \sum_1^n (T' - T)$ , где  $n$  — число целых слоев толщиной 100 гПа, начиная с уровня конденсации; средняя мощность конвективных облаков  $\overline{\Delta H_{\text{к.о}}}$  — разность между  $\bar{H}_{\text{конв}}$  и  $\bar{H}_{\text{конд}}$  (при вынужденной конвекции определяются мощность конвективных  $\overline{\Delta H_{\text{к.о}}}$  и слоистообразных облаков  $\overline{\Delta H_{\text{с.о}}}$ ).

Метод прогноза гроз и града, предложенный Г. Д. Решетовым, базируется на предположении о том, что эффект вовлечения при развитии мощных кучево-дождевых облаков несуществен и что частица, поднимаясь от уровня конденсации, будет достигать высоты, на которой положительная энергия неустойчивости будет уравновешена отрицательной энергией неустойчивости, т. е. частица будет подниматься выше уровня конвекции, определяемого без учета вовлечения как уровень, на котором пересекаются кривые состояния и стратификации. Уровень, ниже которого положительная и отрицательная энергии неустойчивости равны, принимается за верхнюю границу облака  $H_{\text{в}}$ . Далее определяется высота уровня нулевой изотермы в облаке  $h_0$  толщина слоя отрицательных температур в облаке  $\Delta h_0 = H_{\text{в}} - h_0$  и температура на верхней границе облака  $T_{\text{в}}$ . Рассчитываются дискриминантные функции

$$L_1 = 0,12 \Delta h_0^{\text{в}} - 0,22 T_{\text{в}} - 0,562, \quad (10.1)$$

$$L_2 = 0,36 H_{\text{в}} - 0,0753 T_{\text{в}} + 0,53 \Delta h_0^{\text{в}} - 3,36. \quad (10.2)$$

При  $L_1 < 0$  интенсивная конвекция в пункте не прогнозируется. Если  $L_1 \geq 0$  и  $L_2 < 0$ , то в прогнозе указывается гроза, а при  $L_1 \geq 0$  и  $L_2 \geq 0$  прогнозируется гроза с градом.

Расчеты дискриминантных функций (10.1) и (10.2) можно записать построениями на графиках рис. 36 и 37.

Для прогноза распределения в облаке града различных размеров Г. Д. Решетов предложил определять максимальную скорость восходящего потока в облаке  $W_{\text{макс}}$  по значениям суммы отклоне-

ний  $\sum \Delta T$  кривой состояния от кривой стратификации на уровнях 850, 700, 600, 500 и 400 гПа по формуле

$$W_{\text{макс}} = 0,9 \sum \Delta T \quad (10.3)$$

или по правой части номограммы, представленной на рис. 38, и на основании рассчитанного значения  $W_{\text{макс}}$  с помощью левой части

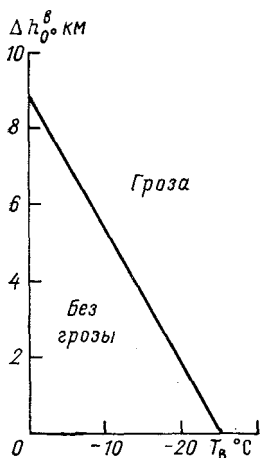


Рис. 36. График для прогноза гроз (по методу Г. Д. Решетова).

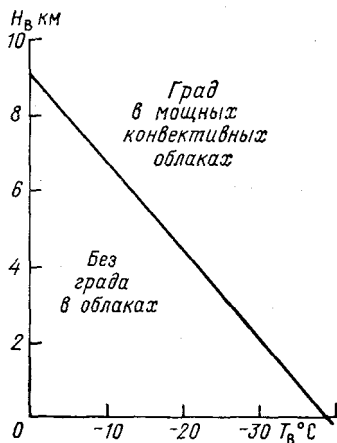


Рис. 37. График для определения возможности образования града (по методу Г. Д. Решетова).

номограммы рис. 38 оценивать высоты верхних границ града различных размеров  $H_{в. i}$ .

Для этой цели необходимо соединить точку  $M$  на вертикальной оси, соответствующую значению  $W_{\text{макс}}$ , с точкой  $K$  на горизонтальной оси слева. Точка  $K$  соответствует превышению  $\Delta h$  высоты вершины облака  $H_{в}$  над уровнем максимальной скорости конвективного потока в облаке  $H_{W_{\text{макс}}}$ :

$$\Delta h = H_{в} - H_{W_{\text{макс}}} \quad (10.4)$$

Высота  $H_{W_{\text{макс}}}$  может быть приближенно приравнена высоте, на которой отмечается максимум отклонения кривой состояния от кривой стратификации.

При полете на подветренной стороне облака возможна встреча самолета с градом разного размера, который выносится из облака под действием горизонтального потока воздуха. Этот поток в верхней тропосфере имеет большую скорость, чем скорость движения облака, а иногда отмечается разность направлений потока



выносимого воздуха и движения облака. Градины небольшого диаметра при падении с больших высот в ненасыщенном безоблачном воздухе земли не достигают, однако встреча с градом вне облака на эшелонах полета может представлять для самолета определенную опасность.

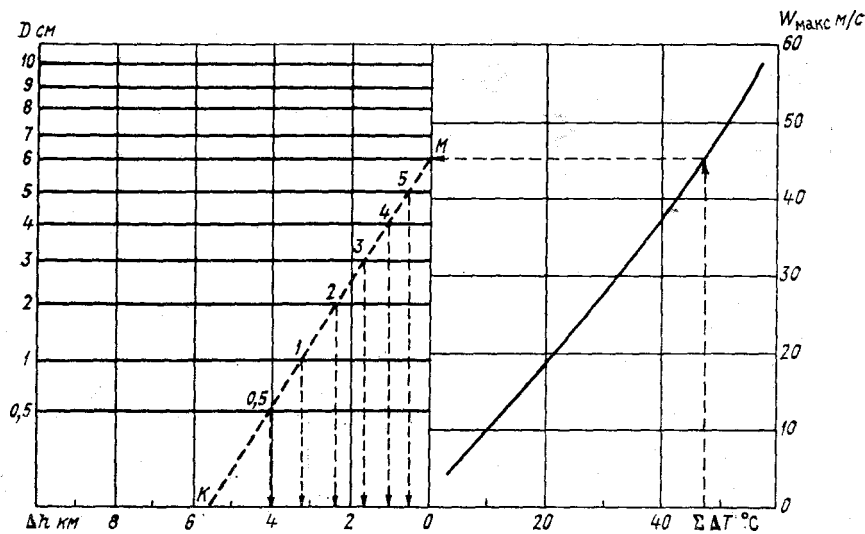


Рис. 38. График для прогноза максимальной скорости восходящего конвективного потока  $W_{\text{макс}}$  в грозовом (градовом) облаке, высоты верхней границы  $H_{\text{в}}$  града и диаметра градин  $D$  на эшелонах полета (по методу Г. Д. Решетова).

Номограмма, приведенная на рис. 39, позволяет определить расстояние от облака  $S$ , на которое могут быть вынесены градины диаметром  $D$ , в зависимости от превышения верхней границы града  $\Delta H$  над уровнем 700 гПа и от вертикального сдвига ветра  $\Delta v$  в слое от верхней границы града до уровня 700 гПа. Применение этой номограммы позволяет оценить возможность встречи самолета с градом вне облака.

Для прогноза возможности шквала и максимальной скорости ветра при шквале оцениваются следующие параметры:

- температура воздуха у земли непосредственно перед грозовым дождем и шквалом  $T_{\text{макс. з}}$ ;
- температура воздуха на уровне 500 гПа в это же время  $T_{500}$ ;
- разность температур в слое земля — уровень 500 гПа

$$T_{\text{з}}^{500} = T_{\text{макс. з}} - T_{500}. \quad (10.5)$$

— сумма отклонений кривой состояния от кривой стратификации на уровнях 850, 700, 600 и 500 гПа  $\sum_{850}^{500} \Delta T$ ;

— нулевая температура смоченного термометра, приведенная влажноадиабатически к давлению у поверхности земли  $T_3^0$  с. т.;

— разность температур

$$\Delta T_3^0 \text{ с. т.} = T_{\text{макс. в}} - T_3^0 \text{ с. т.}; \quad (10.6)$$

— ожидаемая средняя скорость ветра

$$\bar{u} = \frac{u_3 + u_{850} + u_{700} + u_{500}}{4}, \quad (10.7)$$

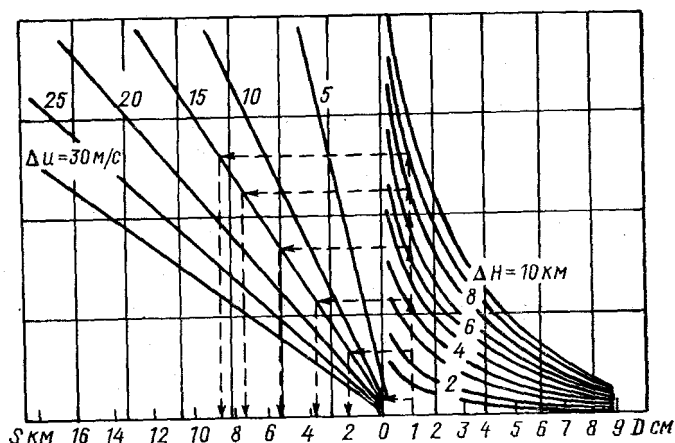


Рис. 39. Номограмма для прогноза расстояния града различного диаметра от грозового (градового) облака по значениям диаметра градин  $D$ , превышению  $\Delta H$  верхней границы града над уровнем 700 гПа и по модулю разности скорости ветра  $\Delta u$  в слое 700 гПа — верхняя граница града (по методу Г. Д. Решетова).

где  $u_3$ ,  $u_{850}$ ,  $u_{700}$  и  $u_{500}$  — соответственно ожидаемая скорость ветра у поверхности земли и на уровнях 850, 700 и 500 гПа в пункте прогноза во время прохождения через него быстродвижущегося волнового возмущения или холодного фронта.

Для прогноза возможности шквала при наличии благоприятных синоптических условий используется график рис. 40 или соответствующая ему дискриминантная функция

$$L_3 = 0,116 \sum_{850}^{500} \Delta T + 0,029 \Delta T_3^{500} - 1,597. \quad (10.8)$$

При значениях  $L_3 \geq 0$  в прогнозе следует указывать шквал, при  $L_3 < 0$  шквал не прогнозируется.

Максимально возможную скорость ветра при шквале можно оценить по графику рис. 41.

В оперативной практике используются также методы прогноза гроз, предложенные Уайтингом и Фаустом. Эти методы позволяют определить зоны грозовой деятельности на основании анализа специальных критериев.

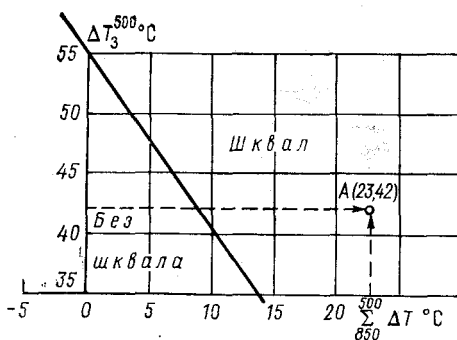


Рис. 40. График для прогноза возможности образования шквала (по методу Г. Д. Решетова).

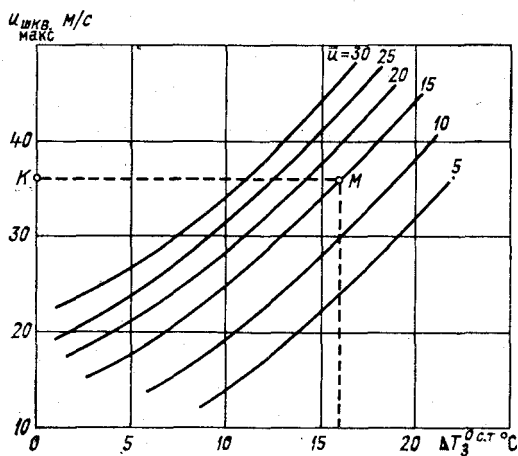


Рис. 41. График для прогноза максимальной скорости ветра при шквале (по методу Г. Д. Решетова).

Согласно методу Уайтинга, для ряда пунктов вычисляется коэффициент  $K$  по формуле

$$K = 2T_{850} - T_{500} - D_{850} - D_{700}, \quad (10.9)$$

где  $T_{850}$  и  $T_{500}$  — соответственно значения температуры воздуха на уровнях 850 и 500 гПа;  $D_{850}$  и  $D_{700}$  — значения дефицита точки росы на уровнях 850 и 700 гПа.

Статистически установлено, что для средних широт при  $K < 20$  гроз ожидать не следует, при  $20 \leq K < 25$  ожидаются отдельные грозы, при  $25 \leq K < 30$  следует прогнозировать многочисленные грозы и если  $K \geq 30$ , то ожидается повсеместное развитие гроз.

Коэффициенты  $K$ , рассчитанные по формуле (10.9), наносятся на бланк карты и проводятся изолинии значений  $K$ , кратных 5, начиная с  $K=20$ . Полученная область значений  $K \geq 20$  будет зоной возможной грозовой деятельности.

Согласно методу Фауста, рассчитывается критерий неустойчивости  $\Delta T_H$  по формуле

$$\Delta T_H = T_v - T_{500} + \Delta T_R, \quad (10.10)$$

где  $T_v$  — температура нулевого испарения, определяемая по графику рис. 42 с учетом температуры воздуха на уровне 850 гПа и среднего значения дефицитов точки росы на уровнях 850, 700 и 500 гПа:

$$\bar{D}_{850}^{500} = \frac{1}{3} (D_{850} + D_{700} + D_{500}).$$

$$(10.11)$$

Если  $\bar{D}_{850}^{500} \geq 14^\circ\text{C}$ , то гроз в пункте ожидать не следует.

В формуле (10.10) величина  $\Delta T_R$  представляет собой поправку на кривизну изобар. Эта величина определяется по данным табл. 10.2.

Таблица 10.2

**Поправка на кривизну изобар  $\Delta T_R$**

Тип кривизны	Радиус кривизны $R$ км			
	<250	250—500	500—1000	>1000
Циклоническая	2,0	1,4	1,0	0
Антициклоническая	-2,0	-1,4	-1,0	0

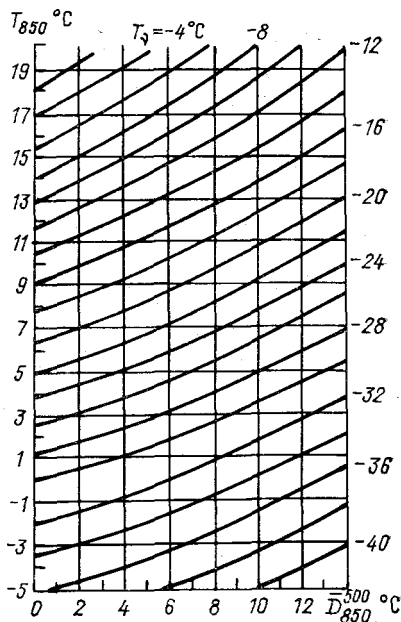


Рис. 42. Номограмма для определения температуры нулевого испарения  $T_v$  (по методу Фауста).

Значения  $\Delta T_n$  наносятся на карту и проводится изолиния  $\Delta T_n = 0$ . В области, где  $\Delta T_n > 0$ , следует ожидать грозы.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие опасные для авиации явления погоды связаны с конвективными облаками?
2. Какие причины приводят к возникновению гроз?
3. Какие синоптические условия благоприятны для возникновения гроз, града и шквалов?
4. В чем суть метода прогноза гроз, предложенного Н. В. Лебедевой?
5. Как осуществляется прогноз гроз по методу Г. Д. Решетова?
6. Какие параметры используются для прогноза града по методу Г. Д. Решетова?
7. Как прогнозируется возможность шквала?
8. Как определяются зоны возможной грозовой деятельности по методу Уайтинга?
9. Какие величины включаются в критерий неустойчивости, определяемый по методу Фауста?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного атласа.
2. Бланк синоптической карты.
3. Бланк аэрологической диаграммы.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981, с. 185—196.
2. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации.— Л.: Гидрометеоиздат, 1985, с. 54—59, 124—145, 159—163.
3. Зверев А. С. Синоптическая метеорология.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 434—445, 533—545.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.— Л.: Гидрометеоиздат, 1985, с. 132—161.

### *Порядок выполнения работы*

1. Определить возможность гроз, града и шквалов по синоптическим признакам в районе аэродрома, указанного преподавателем.
2. Определить возможность гроз и града по методу Н. В. Лебедевой для аэродрома, указанного преподавателем.

3. Рассчитать параметры конвекции для того же аэродрома, предложенные С. И. Пономаренко и С. А. Кузнецовой. Определить ожидаемые конвективные явления и возможность взлета и посадки самолетов.

4. Дать прогноз возможности грозы и града по методу Г. Д. Решетова.

5. Определить распределение града в кучево-дождевом облаке и на его подветренной стороне. Оценить возможность встречи самолета с градом вне облаков на заданном эшелоне полета и безопасное расстояние от облака.

6. Определить возможность шквала и максимальную скорость ветра при нем.

7. Определить зоны грозовой деятельности по методам Уайтинга и Фауста. Дать рекомендации по возможности обхода грозовых облаков на указанной преподавателем трассе полета.

### *Методические указания*

1. Используя приземные карты погоды и карты относительной топографии  $OT_{1000}^{500}$  и  $OT_{1000}^{300}$  охарактеризовать синоптические условия в районе аэродрома и оценить возможность развития интесивной конвекции.

2. Построить модель конвекции на бланке аэрологической диаграммы. Определить высоту уровня конвекции  $H_K$ , температуру воздуха на этом уровне  $T_K$  и толщину конвективно-неустойчивого слоя  $\Delta H_{Kнс}$ .

Используя предложенные Н. В. Лебедевой критические значения рассчитанных параметров, определить возможность возникновения конвективных явлений в районе аэродрома.

3. По построенной модели конвекции определить значения параметров, указанных в табл. 10.1. Сопоставить расчетные значения параметров с критическими, приведенными в табл. 10.1, и принять решение об ожидаемых явлениях погоды. Результаты расчетов параметров конвекции представить в виде таблицы, аналогичной табл. 10.1. Определить возможность взлета и посадки самолетов на данном аэродроме.

4. Для прогноза гроз и града по методу Г. Д. Решетова дать прогноз максимальной температуры воздуха и температуры точки росы у земли. Определить по карте  $AT_{700}$  за 3 ч предыдущих суток точку, в которой начинается 12- или 36-часовая (в зависимости от срока прогноза) траектория воздушной частицы, заканчивающаяся в пункте прогноза. Снять в этой точке на уровнях основных изобарических поверхностей значения температуры воздуха и температуры точки росы до уровня 100 гПа и на тропопаузе в 3 ч текущих суток. Нанести значения температуры и точки росы на бланк аэрологической диаграммы.

Определить уровень конденсации и построить кривую состояния (облачную адиабату) без учета вовлечения по влажной адиабате от значения температуры на уровне 850 гПа, так как уровень конденсации располагается в среднем на уровне 850 гПа.

Определить ожидаемую максимальную высоту верхней границы облака  $H_B$ . Уровень, принимаемый за верхнюю границу облака, приближенно можно определить двумя способами (по методу Г. Д. Решетова):

а. Подсчитывается сумма отклонений кривой состояния от кривой стратификации на изобарических поверхностях 800, 700, 600, 500, 440, 360, 280, 210, 150, 130 гПа (при необходимости и выше с шагом 20 гПа) и отмечается уровень  $H_{\Sigma \Delta T=0}$ , где эта сумма равна нулю. Считается, что верхняя граница облака располагается на 30 гПа выше уровня  $H_{\Sigma \Delta T=0}$ , если уровень  $H_{\Sigma \Delta T=0}$  не более 210 гПа, и на 10 гПа выше этого уровня, если  $H_{\Sigma \Delta T=0}$  более 210 гПа.

б. Верхняя граница облака определяется путем подбора для каждой элементарной площадки  $S_+$ , на которые разбивается область положительной энергии неустойчивости, соответствующей элементарной площадке  $S_-$  в области отрицательной энергии неустойчивости так, чтобы  $S_- \approx 3/4 S_+$ . Верхняя граница самой верхней площадки  $S_-$  принимается за ожидаемую максимальную высоту облака.

Определить температуру на высоте вершины облака  $T_B$ , высоту нулевой изотермы в облаке  $h_0$  и мощность облака в зоне отрицательных температур  $\Delta h_0^B = H_B - h_0$ .

По формулам (10.1) и (10.2) рассчитать значения дискриминантных функций  $L_1$  и  $L_2$  и определить возможность грозы и града. Результаты расчетов оформить в виде табл. 10.3.

Таблица 10.3

**Определение возможности гроз и града (по методу Г. Д. Решетова)**

$H_B$ км	$T_B$ °С	$h_0$ км	$\Delta h_0^B$ км	$L_1$	$L_2$	Прогнозируется (да, нет)	
						гроза	град

Провести построения на графиках рис. 36 и 37 и установить возможность грозы и града; результаты сопоставить с расчетами.

5. Для характеристики распределения града в кучево-дождевом облаке определить сумму отклонений  $\Sigma \Delta T$  кривой состояния от кривой стратификации на изобарических поверхностях 850, 700,

600, 500 и 400 гПа, уровень максимальной скорости конвективного потока  $H_{W_{\text{макс}}}$  (уровень, где отмечается максимальное отклонение  $\Delta T$ ) и разность  $\Delta h$  высот  $H_{\text{в}}$  и  $H_{W_{\text{макс}}}$  (по формуле (10.4)).

Перенести на кальку рис. 38 (без точек  $M$  и  $K$ ).

По правой части этой номограммы оценить максимальную скорость восходящего потока в облаке (снимается в точке  $M$  на вертикальной оси рис. 38) и отложить на горизонтальной оси слева точку  $K$ , соответствующую значению  $\Delta h$ . Соединить точки  $M$  и  $K$  и определить возможный диаметр града  $D_i$  по левой вертикальной оси, а также превышения  $\Delta h_i$  верхних границ града диаметра  $D_i$  над уровнем  $H_{W_{\text{макс}}}$  по левой стороне горизонтальной оси. Оценить высоту верхней границы града диаметром  $D_i$  в облаке по формуле

$$H_{\text{в}i} = H_{W_{\text{макс}}} + \Delta h_i. \quad (10.12)$$

В табл. 10.4 внести значения  $\sum \Delta T$ ,  $H_{W_{\text{макс}}}$ ,  $\Delta h$ ,  $D_i$ ,  $\Delta h_i$  и  $H_{\text{в}i}$ .

Таблица 10.4

**Распределение града разного диаметра в облаке и вне его на подветренной стороне**

$\sum \Delta T = \underline{\hspace{2cm}}$  °С,  $H_{W_{\text{макс}}} = \underline{\hspace{2cm}}$  км,  $\Delta h = \underline{\hspace{2cm}}$  км,  $W_{\text{макс}} = \underline{\hspace{2cm}}$  м/с

Параметр	Диаметр градин $D_i$ см							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	...	10,0
$\Delta h_i$ км								
$H_{\text{в}i}$ км								
$\Delta H_i$ км								
$\Delta u_i$ м/с								
$S_i$ км								

Пользуясь аэрологической диаграммой, рассчитать превышение  $\Delta H_i$  высоты верхней границы града  $i$ -го размера над уровнем 700 гПа по формуле

$$\Delta H_i = H_{\text{в}i} - H_{700}. \quad (10.13)$$

По данным о ветре на основных изобарических поверхностях определить модуль разности скорости ветра на уровне 700 гПа и на высоте верхней границы града размером  $D_i$ :  $\Delta H_i$ .

С помощью номограммы рис. 39 оценить расстояние от облака  $S_i$ , на котором может встретиться град  $i$ -го диаметра. Результаты записать в табл. 10.4.



Проанализировать данные табл. 10.4 и оценить возможность встречи самолета с градом вне облаков на эшелоне, указанном преподавателем. Рассчитать безопасное расстояние обхода облака.

6. Для определения возможности шквала оценить по формуле (10.5) разность температур в слое земля — уровень 500 гПа; рассчитать сумму отклонений кривой состояния от кривой стратификации на уровнях 850, 700, 600 и 500 гПа и вычислить значение дискриминантной функции  $L_3$ . Воспользоваться также графиком рис. 40.

Уровень, на котором температура смоченного термометра равна нулю, расположен примерно посередине между уровнями, где температура воздуха и температура точки росы равны нулю ( $T=0$  и  $T_d=0$ ). От этого уровня по влажной адиабате опуститься до уровня земли, снять значение температуры  $T_3^{0 \text{ с. т}}$  и оценить разность температур  $\Delta T_3^{0 \text{ с. т}}$  по формуле (10.6).

Определить ожидаемую среднюю скорость ветра  $\bar{v}$  по формуле (10.7) и оценить максимально возможную скорость ветра при шквалах. Результаты расчетов представить в виде табл. 10.5.

Таблица 10.5

**Определение возможности шквала и максимальной скорости ветра**

$T_{\text{макс. з}}$ °С	$T_{500}$ °С	$T_3^{500}$ °С	$\sum_{850}^{500} \Delta T$ °С	Шквал возможен (да, нет)	$T_3^{0 \text{ с. т}}$ °С	$\Delta T_3^{0 \text{ с. т}}$ °С	$\bar{v}$ м/с	$u_{\text{шкв. макс}}$ м/с

Для указанных преподавателем типов самолетов определить опасность шквала, учитывая ограничения на максимальную допустимую скорость взлета и посадки.

7. Для определения зон грозовой деятельности по методу Уайтинга значения  $K$  рассчитать по формуле (10.9) для пунктов Петрозаводск (метеорологический индекс 22820), Таллин (26038), Ленинград (26063), Рига (26422), Вильнюс (26730), Смоленск (26781), Минск (26850), Вологда (27037), Киров (27196), Горький (27553), Казань (27595), Москва (27617), Куйбышев (28900), Киев (33345), Кишинев (33815), Воронеж (34122), Саратов (34172), Харьков (34300), Волгоград (34560), Симферополь (34946). Результаты расчета записать в табл. 10.6.

Полученные значения  $K$  нанести на бланк синоптической карты и провести изолинии  $K$ , кратные 5, начиная со значения  $K=20$ . Полученная таким образом область повышенных значений  $K$  будет зоной возможной грозовой деятельности.

Таблица 10.6

Расчет параметров  $K$  и  $\Delta T_H$ 

№ п/п	Пункт	$T_{850}^{\circ\text{C}}$	$D_{850}^{\circ\text{C}}$	$D_{700}^{\circ\text{C}}$	$T_{500}^{\circ\text{C}}$	$K^{\circ\text{C}}$	$D_{500}^{\circ\text{C}}$	$\bar{D}_{850}^{500}^{\circ\text{C}}$	$T_v^{\circ\text{C}}$	$\Delta T_R^{\circ\text{C}}$	$\Delta T_H^{\circ\text{C}}$

8. Для определения зоны грозовой деятельности по методу Фауста расчеты произвести для тех же пунктов, что и при прогнозе гроз по методу Уайтинга (см. п. 7).

Рассчитать среднее значение дефицита  $\bar{D}_{850}^{500}$  по формуле (10.11). Если оказалось, что  $\bar{D}_{850}^{500} > 14^{\circ\text{C}}$ , то в этом пункте гроз ожидать не следует и дальнейшие вычисления для данного пункта не проводятся.

Если  $\bar{D}_{850}^{500} \leq 14^{\circ\text{C}}$ , то необходимо определить температуру на поверхности 850 гПа  $T_{850}$  и по графику рис. 42 оценить температуру нулевого испарения  $T_v$ , а по табл. 10.2 — значение поправки на кривизну изобар  $\Delta T_R$ .

Вычисленные по формуле (10.10) значения  $\Delta T_H$  записать в табл. 10.6, нанести их на карту (справа от значения  $K$ ) и провести изолинию  $\Delta T_H = 0$ . Грозы следует ожидать в области, где  $\Delta T_H > 0$ .

Сравнить положение областей возможной грозовой деятельности по методам Уайтинга и Фауста.

## Отчетный материал

1. Бланки аэрологической диаграммы, на которых построены в соответствии с методами Н. В. Лебедевой и Г. Д. Решетова кривые стратификации и кривые состояния, отмечены уровни конденсации, нулевой изотермы, максимальной скорости восходящего потока и ожидаемой максимальной высоты облака.

2. Заполненная таблица расчета параметров, аналогичная табл. 10.1.

3. Заполненная табл. 10.3.

4. Номограмма рис. 38 с построениями и заполненная табл. 10.4.

5. Бланк карты с нанесенными значениями  $K$  и  $\Delta T_H$  и проведенными изолиниями и заполненная табл. 10.6.

**ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ОБЛЕДЕНЕНИЯ**

Цель работы: изучить методы диагноза и прогноза обледенения самолетов.

**Оценка условий обледенения самолета с учетом скорости полета**

Обледенение самолета возникает вследствие осадения и замерзания на его поверхности переохлажденных капель и вмержания кристаллов льда. Этот процесс возможен только при наличии благоприятных атмосферных условий и при отрицательной температуре поверхности самолета. При полете с большой скоростью температура поверхности самолета повышается под влиянием кинетического нагрева, возникающего за счет сжатия воздуха.

Для анализа метеорологических условий обледенения самолета по данным радиозондирования на аэрологической диаграмме выявляются облачные слои. В тех слоях, где температура воздуха находится в пределах  $0 \dots -20^\circ\text{C}$ , возможно опасное для самолета обледенение. Условия для развития интенсивного обледенения особенно благоприятны в тех облачных слоях, где температура воздуха  $T$  ниже температуры насыщения над льдом  $T_{н.л.}$ , определяемой по формуле Годске

$$T_{н.л.} = -8(T - T_d), \quad (11.1)$$

т. е. там, где  $\Delta T_G = T - T_{н.л.} \leq 0$ .

Положительные значения  $\Delta T_G$  еще не позволяют сделать однозначного вывода об отсутствии обледенения. Для уточнения возможности обледенения в соответствии с методикой, разработанной под руководством К. Г. Абрамович, рассчитывается дискриминантная функция

$$L^* = -0,017H_{нго} - 0,488T_{нго} + 0,875, \quad (11.2)$$

где  $H_{нго}$  — высота нижней границы облаков, дам;  $T_{нго}$  — температура на нижней границе облаков,  $^\circ\text{C}$ . При  $L^* \geq 0$  указывается умеренное и сильное обледенение в облаках; при  $L^* < 0$  обледенение не возникает или возможно слабое обледенение.

На графике, представленном на рис. 43, наклонная линия, соответствующая уравнению  $L^* = 0$ , разделяет область умеренного и сильного обледенения (I) и область без обледенения (II) в облаках.

Если данные радиозондирования атмосферы отсутствуют, то диагноз и прогноз обледенения может быть проведен на основе анализа карт АТ<sub>850</sub>, АТ<sub>700</sub> и АТ<sub>500</sub> по методике, разработанной К. Г. Абрамович и И. А. Горлач. Возможность развития слоисто-

образной облачности (потенциальных зон обледенения) при выполнении условия  $-25^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}$  определяется с помощью дискриминантных функций

$$L_{850} = 0,239T + 1,701(T - T_d) - 2,046q - 1,751, \quad (11.3)$$

$$L_{700} = 0,091T + 0,654(T - T_d) - 1,313q - 1,011, \quad (11.4)$$

$$L_{500} = 0,102T + 0,675(T - T_d) - 2,301q - 0,256, \quad (11.5)$$

где  $T$  — температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_d$  — температура точки росы,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $q$  — массовая доля водяного пара на соответствующем уровне, г/кг.

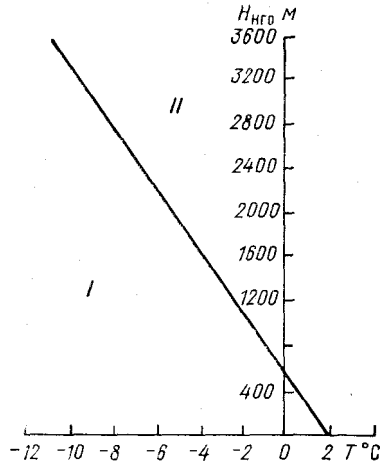


Рис. 43. График для прогноза условий умеренного и сильного обледенения (область I) и без обледенения (область II) в облаках (по методу К. Г. Абрамович).

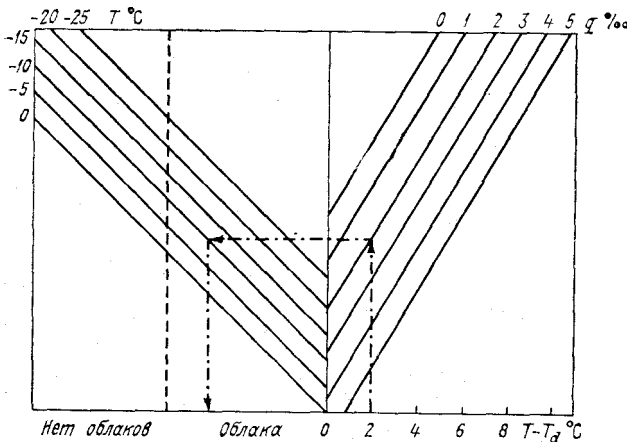


Рис. 44. Номограмма для прогноза наличия и отсутствия облаков (и соответственно условий обледенения) на изобарической поверхности 850 гПа по сочетанию параметров  $T - T_d$ ,  $q$  и  $T$  (по методу К. Г. Абрамович и И. А. Горлач).

На рис. 44 приведена номограмма, построенная по дискриминантной функции (11.3).

При положительных значениях дискриминантных функций (11.3)—(11.5) на соответствующих уровнях обледенение не

возникает (нет облаков), при отрицательных — указывается возможность обледенения (есть облака). Далее уточняется возможность умеренного и сильного обледенения по методу Годске и по дискриминантной функции (11.2). В этом случае  $H_{\text{нго}}$  и  $T_{\text{нго}}$  — соответствующие величины для нижней из изобарических поверхностей, на которых возможно обледенение. С учетом этого может быть использован и график, приведенный на рис. 43.

За счет кинетического нагрева, обусловленного скоростью полета самолета, температура поверхности самолета выше температуры окружающего воздуха.

Кинетический нагрев поверхности самолета  $\Delta T_{\text{кин}}^{\text{с}}$  определяется по формуле

$$\Delta T_{\text{кин}}^{\text{с}} = \frac{V^2}{2000} = 5 \left( \frac{V}{100} \right)^2, \quad (11.6)$$

где  $V$  — скорость полета самолета, м/с.

Полученные значения кинетического нагрева по формуле (11.6) справедливы для сухого воздуха. В облаках кинетический нагрев  $\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$  на 40—50 % меньше. Данные о кинетическом нагреве при различной скорости полета приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

**Значения кинетического нагрева поверхности самолета при различной скорости полета**

$V$ км/ч . . . . .	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
$\Delta T_{\text{кин}}^{\text{с}}$ °С . . . . .	2	4	6	10	14	19	25	31	38	47
$\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ °С . . . . .	—	2	4	6	8	11	15	19	23	28

Температуру поверхности самолета  $T_{\text{п}}$  можно определить по формуле

$$T_{\text{п}} = T + \Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}. \quad (11.7)$$

При полете со скоростью  $V$  обледенение возможно, если  $T_{\text{п}} < 0$ .

Для учета влияния скорости полета самолета можно использовать график, приведенный на рис. 45, по которому оценивается температура поверхности самолета при полете с заданной скоростью. При наличии данных температурно-ветрового зондирования на бланке аэрологической диаграммы целесообразно построить кривую, соответствующую значениям  $\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ . Эта кривая строится следующим образом (рис. 46). За вертикальную ось графика принимается нулевая изотерма на аэрологической диаграмме. Значения давления на этой оси численно приравниваются к значениям скорости полета (км/ч). Например, уровню 300 гПа соответствует скорость полета 300 км/ч, уровню 600 гПа — скорость 600 км/ч и т. д.

По данным табл. 11.1 влево от вертикальной оси (область отрицательных температур) откладываются значения  $-\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ , соответствующие скорости полета (а следовательно, и определенному

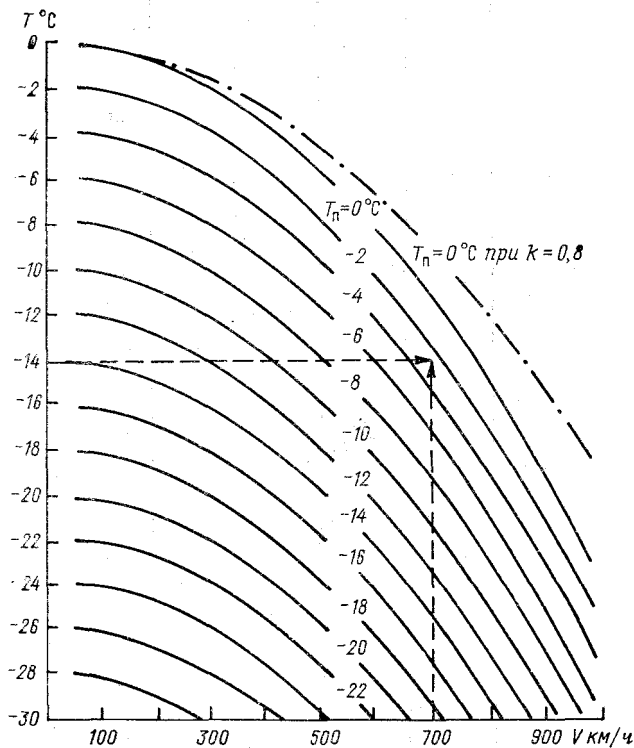


Рис. 45. График для определения температуры поверхности самолета при полете в облаках со скоростью  $V$  в зависимости от температуры окружающего воздуха  $T$  (по методу К. Г. Абрамович).

уровню), образующие кривую  $-\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ . Тогда, зная температурные условия на заданном уровне полета и кинетический нагрев  $\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ , необходимый для повышения температуры поверхности крыла до  $0^{\circ}\text{C}$  (расстояние ( $^{\circ}\text{C}$ ) между изотермой  $T$  и нулевой изотермой), можно определить скорость полета, соответствующую этому значению  $\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ , т. е. минимальную скорость, при превышении которой  $T_n > 0$  и обледенения не будет.

И наоборот, зная скорость полета и соответствующее значение  $\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$ , достаточно от точки на кривой  $-\Delta T_{\text{кин}}^{\text{обл}}$  переместиться по изотерме до кривой стратификации и определить уровень, выше

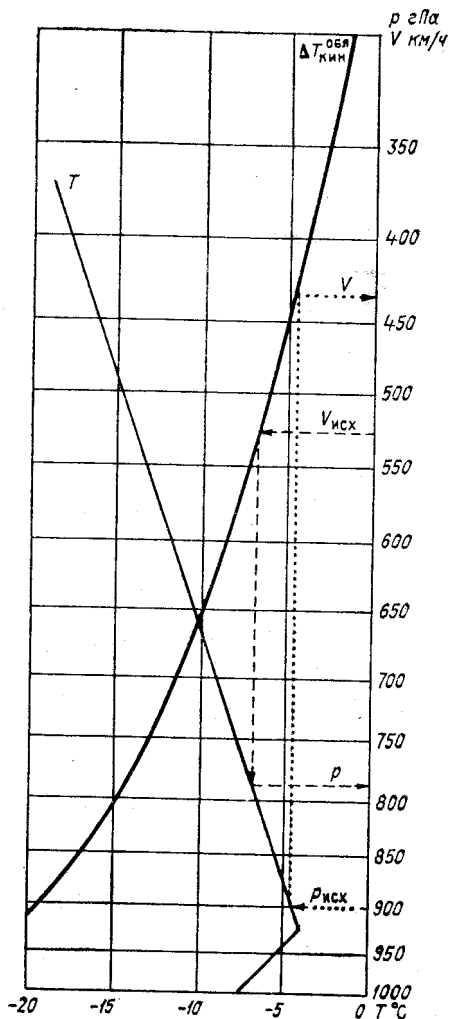


Рис. 46. Номограмма для определения по аэрологической диаграмме уровня, выше которого возможно обледенение при полете со скоростью  $V$ , и для определения минимальной скорости (полета, исключая обледенение (по методу О. Г. Богаткина).

Штриховые стрелки указывают порядок действий при определении значения  $p$  по  $V_{\text{исх}}$ ; пунктирные стрелки указывают порядок действий при определении значения  $V$  по  $p_{\text{исх}}$ .

которого температура поверхности самолета  $T_{\text{п}}$  будет отрицательной, несмотря на кинетический нагрев при полете со скоростью  $V$ .

Для определения интенсивности обледенения  $I$  (мм/мин) при пробивании слоистой облачности следует воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 47. Исходными данными являются

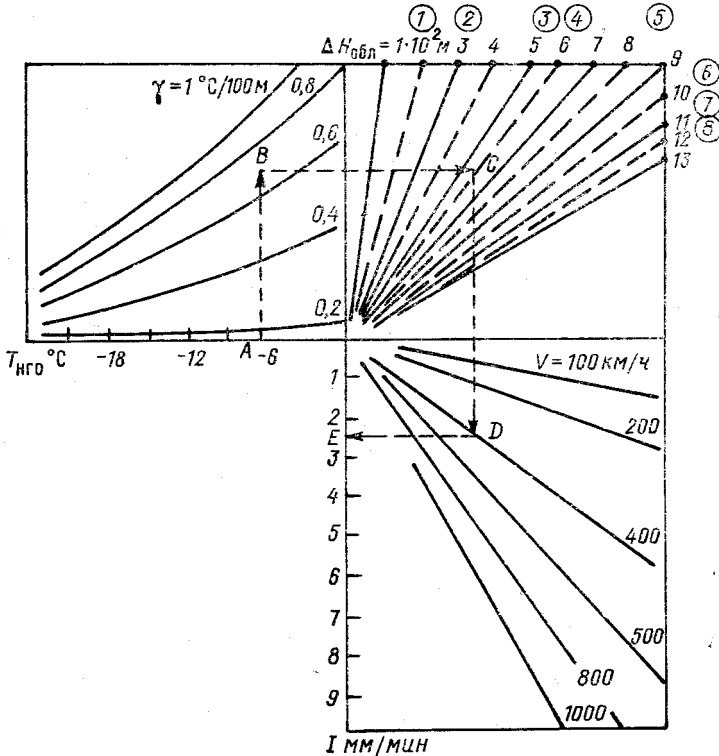


Рис. 47. Номограмма для оценки интенсивности обледенения при полете в облаках слоистых форм.

температура основания облака  $T_{\text{нго}}$  ( $^\circ\text{C}$ ), вертикальный градиент температуры в облаке  $\gamma$  ( $^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ ), толщина облачного слоя  $\Delta H_{\text{обл}}$  (сотни метров) и скорость полета самолета  $V$  (км/ч).

### Контрольные вопросы

1. Что называется обледенением?
2. Какие причины приводят к обледенению воздушного судна?
3. Как подразделяется обледенение по интенсивности?
4. Какие формы отложения льда могут наблюдаться в полете?



5. Какие методы борьбы с обледенением используются в настоящее время?
6. Как оценивается возможность обледенения по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы?
7. Перечислите порядок определения условий обледенения на основании метеорологической информации на уровнях 850, 700 и 500 гПа.
8. Как учитывается влияние кинетического нагрева при оценке условий обледенения?

#### *Материалы для работы*

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.
2. Бланк аэрологической диаграммы.
3. Карты АТ<sub>350</sub>, АТ<sub>700</sub> и АТ<sub>500</sub> из Учебного авиационного метеорологического атласа.

#### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология.— Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 213—248.
2. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации.— Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 184—203.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.— Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 161—203.

#### *Порядок выполнения работы*

1. По данным температурно-ветрового зондирования атмосферы (приложение 11.1) для указанного преподавателем варианта определить слои облачности и возможного обледенения самолетов синоптическим методом.
2. Определить слои возможного интенсивного обледенения самолетов по методу Годске.
3. Определить возможность умеренного и сильного обледенения с учетом высоты нижней границы облаков и температуры на уровне нижней границы.
4. На заданных преподавателем уровнях определить кинетический нагрев в облаках, температуру поверхности самолета и возможность его обледенения при полете в облаках со скоростью 300, 500, 600 и 900 км/ч.
5. По данным зондирования определить высоту, начиная с которой возможно обледенение при полете с заданной скоростью (приложение 11.2).

6. Определить минимальную скорость полета, исключаящую обледенение на заданном уровне (приложение 11.2).

7. Определить интенсивность обледенения при пробивании облачности.

8. Оценить возможность умеренного и сильного обледенения на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа, пользуясь картами АТ соответствующих уровней.

### Методические указания

1. Для выделения слоев обледенения синоптическим методом необходимо по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы, приведенным в приложении 11.1, на бланке аэрологической диаграммы построить кривые стратификации, точек росы и дефицитов точки росы. Затем на этой диаграмме выделить облачные слои и уровни изотерм 0,  $-10$  и  $-20$  °С. В слое между изотермами 0 и  $-20$  °С на высотах, где наблюдается облачность возможно опасное обледенение.

Все построения на аэрологической диаграмме выполнять согласно указаниям к лабораторной работе 2.

2. При диагнозе и прогнозе зон обледенения по методу Годске сначала по данным зондирования следует определить температуру насыщения надо льдом  $T_{н.л}$  по формуле (11.1). Затем на том же бланке диаграммы построить кривую насыщения надо льдом по полученным значениям  $T_{н.л}$  и сравнить температуру насыщения надо льдом  $T_{н.л}$  с фактической температурой  $T$  на том же уровне. В тех слоях, где  $T_{н.л} \geq T$ , следует указывать обледенение.

Построение кривой  $T_{н.л}$  производить до уровня 500 гПа, так как этот метод рекомендуется применять только до высот 700—500 гПа.

3. По аэрологической диаграмме определить высоту нижней границы облаков  $H_{пто}$ , в слое которых возможно обледенение по синоптическим признакам, и температуру  $T_{пто}$  на уровне нижней границы облаков.

Рассчитать дискриминантную функцию по формуле (11.2) и оценить возможность умеренного и сильного обледенения.

Определить возможность умеренного и сильного обледенения по графику рис. 43.

Результаты расчетов записать в графы 1—4 табл. 11.2.

4. По данной скорости полета  $V$  и температуре воздуха на указанном эшелоне  $T$  определить  $\Delta T_{кин}^{обл}$  (табл. 11.1) и температуру поверхности самолета  $T_{п}$  (по формуле (11.7)). Если  $T_{п} > 0$ , то обледенения не будет. По тем же исходным данным определить  $T_{п}$ , используя график рис. 45.

Результаты расчета записать в графы 5—10 табл. 11.2.

Провести анализ влияния скорости полета на условия обледенения.

5. Построить на бланке аэрологической диаграммы кривую —  $\Delta T_{\text{обл кин}}^{\text{обл}}$  (см. рис. 46).

Таблица 11.2

**Определение условий обледенения самолета**

$H_{\text{нго дам}}$	$T_{\text{нго}}^{\circ\text{C}}$	$L$	Возможность обледенения (да, нет)	$H_{\text{эш км}}$	$T^{\circ\text{C}}$	$V$ км/ч	$\Delta T_{\text{обл кин}}^{\circ\text{C}}$	$T_{\text{п}}^{\circ\text{C}}$	Возможность обледенения (да, нет)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						300			
						500			
						600			
						900			

При решении задачи определения высоты, начиная с которой возможно обледенение при заданной скорости полета  $V$  (приложение 11.2), необходимо от точки (на вертикальной оси), соответствующей заданной скорости полета, сместиться влево до построенной кривой, а затем опуститься (подняться) по изотерме до пересечения с кривой стратификации. Точка пересечения этих линий будет соответствовать той высоте, начиная с которой возможно обледенение (см. рис. 46).

6. При определении минимальной скорости полета, исключаяющей обледенение, следует от высоты заданного эшелона  $H_{\text{эш}}$  (приложение 11.2) сместиться по изобаре влево до пересечения с кривой стратификации, затем по изотерме опуститься (подняться) до построенной кривой и на этом уровне отсчитать (по шкале давления) минимальную скорость, исключаяющую обледенение (см. рис. 46).

7. По данным температурно-ветрового зондирования атмосферы определить для облачного слоя температуру на нижней границе облаков  $T_{\text{нго}}^{\circ\text{C}}$ , толщину слоя облаков  $\Delta H_{\text{обл}}$  (сотни м) и вертикальный градиент температуры в слое облаков  $\gamma^{\circ\text{C}/100 \text{ м}}$ .

От точки  $A$  номограммы рис. 47, соответствующей температуре основания облака  $T_{\text{нго}}$ , необходимо подняться вертикально вверх до рассчитанного значения вертикального градиента температуры в облаке  $\gamma$  (точка  $B$ ), а затем сместиться вправо до пересечения с наклонной линией, указывающей толщину облаков  $\Delta H_{\text{обл}}$  (точка  $C$ ). Цифры на графике у наклонных линий обозначают толщину облаков в сотнях метров. В тех случаях, когда опреде-

ляется максимальная возможная интенсивность обледенения, необходимо сместиться от точки  $B$  вправо до штриховых наклонных линий, обозначающих по верхней шкале (цифры в кружках) толщину облачности (в сотнях метров). Затем от точки  $C$  следует опуститься вниз (в точку  $D$ ) до пересечения с наклонной линией, соответствующей скорости полета  $V$ , и на вертикальной оси в точке  $E$  отсчитать интенсивность обледенения  $I$  (мм/мин).

8. По картам  $AT_{850}$ ,  $AT_{700}$  и  $AT_{500}$  в заданном пункте определить температуру воздуха  $T$ , температуру точки росы  $T_d$  и массовую долю водяного пара  $q$  (%).

Используя формулы (11.3) — (11.5), рассчитать значения дискриминантных функций  $L_{850}$ ,  $L_{700}$  и  $L_{500}$ . Если получено положительное значение дискриминантной функции, то обледенение на соответствующем уровне не ожидается; при отрицательных значениях дискриминантных функций обледенение возможно. Для изобарической поверхности 850 гПа можно воспользоваться номограммой рис. 44.

Для тех уровней, на которых дискриминантные функции отрицательны, рассчитать температуру насыщения надо льдом по формуле (11.1) и проверить условие  $\Delta T_G = T - T_{п. л.}$ , при выполнении которого возможно умеренное и сильное обледенение.

Если на каком-либо уровне  $\Delta T_G > 0$ , то дискриминантную функцию  $L^*$  рассчитать по формуле (11.2), приняв за величину высоту (дам) нижней из изобарических поверхностей, на которых возможно обледенение, а за величину  $H_{нго}$  — температуру на этой поверхности. При  $L^* \geq 0$  на уровне расчета и выше возможно обледенение, при  $L^* < 0$  обледенения не возникает или возможно слабое обледенение.

Результаты расчетов оформить в виде табл. 11.3.

### Отчетный материал

1. Аэрологическая диаграмма, на которой выделены слои обледенения синоптическим методом и по методу Годске и построена кривая —  $\Delta T_{кин}^{obl}$  с учетом кинетического нагрева.

2. Таблица 11.2 с результатами расчетов и анализом возможности обледенения с учетом скорости полета.

3. Записанные в рабочей тетради результаты оценки интенсивности обледенения.

4. Таблица 11.3 с результатами анализа условий обледенения по картам  $AT_{850}$ ,  $AT_{700}$  и  $AT_{500}$ .

Таблица 11.3

Оценка условий обледенения на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа

$P$ гПа	$T$ °C	$T - T_d$ °C	$q$ %	$L$	Возможность обледенения (да, нет)	$T_{н.л}$ °C	$G$	Возможность обледенения (да, нет)	$H$ дам	$L^*$	Возможность обледенения (да, нет)
850											
700											
500											

Приложение 11.1

Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы

Вариант 1

Вариант 2

Харьков

Минск

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1005	0,00	0,3	0,5
947	0,50	-1,6	0,1
931	0,70	-2,3	0,1
920	0,80	-3,3	0,4
905	0,90	-2,7	1,5
843	1,50	-4,4	2,2
784	2,10	-5,1	1,4
695	3,10	-9,3	2,1
680	3,90	-12,6	2,0
600	4,20	-15,9	2,3
560	4,60	-17,9	2,0
550	4,80	-18,3	2,8
540	5,10	-18,5	8,0
500	5,60	-20,5	9,0

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1000	0,00	1,0	0,1
940	0,70	-1,1	0,9
932	0,80	-2,4	0,3
921	0,85	-3,2	0,5
900	1,00	-2,6	1,8
848	1,45	-4,0	2,3
790	2,00	-5,8	1,5
700	3,00	-9,5	2,7
679	3,20	-12,3	2,3
601	4,20	-15,0	2,1
555	4,75	-17,1	2,7
545	4,90	-18,0	3,0
535	5,10	-18,8	8,4
499	5,55	-20,0	9,2

Вариант 3

Хабаровск

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1010	0,00	0,0	1,0
950	0,62	-2,1	0,5
937	0,75	-2,6	0,6
927	0,83	-3,1	0,1
909	0,95	-2,0	1,3
850	1,45	-4,9	2,0
786	2,12	-5,5	1,0
698	3,05	-10,0	2,0

Вариант 4

Новосибирск

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1001	0,00	0,9	0,2
941	0,69	-1,2	0,4
930	0,75	-3,0	1,0
924	0,84	-3,6	0,9
902	1,02	-3,0	1,0
840	1,55	-4,1	2,1
781	2,15	-5,0	1,1
690	3,10	-9,7	2,2

$\rho$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
684	3,19	-12,0	3,0
597	4,25	-15,1	2,2
564	4,64	-17,5	2,9
553	4,80	-18,1	3,2
536	5,06	-19,0	7,6
490	5,70	-20,1	8,5

Вариант 5

Львов

$\rho$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1009	0,00	0,1	0,9
949	0,65	-1,5	0,6
935	0,73	-2,5	0,2
918	0,90	-3,0	0,2
906	0,96	-2,5	1,9
841	1,55	-4,2	2,8
783	2,12	-5,2	1,7
691	3,10	-9,0	2,8
676	3,25	-13,0	2,2
595	4,25	-15,8	2,4
565	4,60	-17,2	2,1
554	4,80	-18,4	2,5
544	4,95	-18,6	7,7
497	5,55	-20,9	8,7

Вариант 7

Казань

$\rho$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1004	0,00	0,7	0,8
948	0,61	-2,0	1,0
929	0,74	-2,9	0,8
920	0,85	-4,0	0,6
908	0,96	-2,1	1,2
845	1,50	-4,3	2,7
788	2,04	-5,3	1,8
696	3,03	-9,9	2,5
677	3,20	-12,8	2,5
603	4,16	-15,6	2,5
557	4,76	-17,8	2,6
547	4,90	-18,5	2,7
538	5,04	-18,0	8,2
492	5,68	-20,7	9,4

$\rho$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
675	3,32	-12,7	2,9
604	4,11	-15,2	3,0
556	4,75	-17,0	2,0
551	4,84	-18,2	3,4
545	5,06	-18,7	8,1
498	5,53	-21,0	8,6

Вариант 6

Владивосток

$\rho$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1003	0,00	0,8	0,6
942	0,68	-1,7	0,7
936	0,75	-2,0	0,9
922	0,83	-3,9	1,0
910	0,91	-2,9	1,1
849	1,43	-5,0	2,9
789	2,05	-6,0	1,6
694	3,12	-9,8	2,9
681	3,21	-12,9	2,8
605	4,11	-16,0	2,8
559	4,69	-18,0	2,2
546	4,90	-19,0	2,6
537	5,04	-18,9	7,8
491	5,69	-20,8	8,6

Вариант 8

Ленинград

$\rho$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1008	0,00	0,2	0,4
943	0,65	-1,3	0,8
933	0,78	-2,1	0,7
919	0,85	-3,4	0,7
901	1,00	-2,8	1,6
846	1,54	-4,8	2,4
780	2,12	-5,9	1,9
692	3,08	-9,1	2,3
682	3,17	-12,1	2,4
596	4,25	-15,7	2,9
563	4,67	-17,3	2,3
549	4,85	-18,9	3,3
539	5,00	-18,4	7,9
496	5,65	-20,2	8,8

Вариант 9

Саратов

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1006	0,00	0,6	0,3
945	0,69	-1,4	0,2
938	0,72	-2,8	0,5
928	0,81	-3,5	0,3
903	0,97	-2,2	1,4
842	1,54	-4,7	2,6
785	2,08	-5,7	1,3
693	3,06	-9,2	2,4
678	3,25	-12,5	2,7
602	4,18	-15,3	2,6
558	4,72	-17,7	2,5
552	4,81	-18,8	2,9
544	4,94	-18,8	8,3
495	5,65	-20,6	9,3

Вариант 10

Одесса

$p$ гПа	$H$ км	$T$ °C	$D$ °C
1002	0,00	0,5	0,7
944	0,63	-1,9	0,3
934	0,75	-2,2	0,4
923	0,84	-3,8	0,8
907	0,96	-2,4	1,7
847	1,48	-4,5	2,5
782	2,11	-5,4	1,2
699	2,46	-9,6	2,6
683	3,15	-12,4	2,6
598	4,24	-15,4	2,7
562	4,68	-17,4	2,4
548	4,89	-18,7	3,1
541	5,00	-19,0	8,5
493	5,55	-20,3	8,9

## Приложение 11.2

Значения скорости полета  $V$  для определения высоты, с которой возможно обледенение, и высоты эшелона  $H_{\text{эш}}$  для определения минимальной скорости полета, исключающей обледенение

Вариант . . . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V$ км/ч . . . . .	400	300	250	350	280	320	500	540	380	450
$H_{\text{эш}}$ м . . . . .	600	1200	1800	2400	3000	900	1500	2100	4200	3300

## II. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Суть метеорологического обеспечения полетов заключается в своевременном доведении до руководящего, летного состава и работников службы движения необходимой метеорологической информации.

Естественно, что разные по назначению полеты требуют и различных данных о погоде. Поэтому очевидно, что метеорологическое обеспечение полета по трассе Москва—Хабаровск и полета самолета сельскохозяйственной авиации не будет одинаковым. Также ясно, что диспетчер руления в аэропорту и диспетчер гражданского сектора зонального (районного) центра Единой системы управления воздушным движением (ЕС УВД) нуждаются в различной метеорологической информации.

Метеорологическое обеспечение полетов должно быть своевременным, полным и качественным. Проводится оно по плану и дополнительным заявкам, которые поступают на авиационные метеорологические станции (АМСГ) или авиационные метеорологические центры (АМЦ) от диспетчерской службы.

В период предполетной подготовки (примерно за час до вылета) экипажи обеспечиваются следующей информацией:

1) данными о фактической погоде и прогнозами по аэродромам вылета, посадки и запасным аэродромам;

2) прогнозами погоды и штормовыми предупреждениями по маршрутам полетов;

3) данными бортовой погоды, а также приземными и высотными картами погоды;

4) данными радиолокационных наблюдений и спутниковыми данными;

5) устной метеорологической консультацией.

АМСГ обеспечивает экипажи информацией до первого пункта посадки, а по возможности — до конечного пункта маршрута. Дежурный синоптик аэродрома вылета разрабатывает самостоятельно все прогнозы за исключением прогнозов в пункте посадки. Прогнозы погоды по аэродрому посадки разрабатываются на АМСГ этого аэродрома и передаются по каналам связи на аэродром вылета. Сроки прогнозов должны превышать расчетное время полета по маршруту на 30 мин.

В прогнозы погоды включаются характеристики следующих метеорологических величин и явлений погоды: направление и скорость ветра, видимость, явления погоды, количество, форма, высота нижней и верхней границ облачности, обледенение и турбулентность, температура воздуха, высота изотермы 0 °С, а также закрытие облаками гор, сопок, перевалов и искусственных препятствий. Включение тех или иных элементов в различные виды



прогнозов регламентируется «Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации» (НМО ГА).

Остановимся более подробно на особенностях метеорологического обеспечения полетов различных видов и органов управления воздушным движением (УВД).

### Особенности метеорологического обеспечения полетов

**Метеорологическое обеспечение полетов продолжительностью до 2 ч.** Экипажи самолетов, совершающих полеты незначительной (до 2 ч) продолжительности, получают устную консультацию синоптика о фактической и ожидаемой погоде по маршрутам и районам полетов.

При устной консультации дежурный синоптик сообщает следующее:

- 1) фактическую авиапогоду аэропортов вылета, посадки и запасных;
- 2) аэросиноптическое положение по маршруту полета;
- 3) прогнозы погоды по аэродромам вылета, посадки, запасным аэродромам и прогноз погоды по маршруту полета;
- 4) распределение ветра, температуры и опасных явлений погоды по трассе, а также данные бортовой погоды.

При обеспечении полетов, выполняющихся по правилам визуального полета (ПВП), дополнительно указывается высота нижней границы облачности, видимость у земли, закрытие гор облаками и тенденция изменения давления.

Консультация сопровождается иллюстрацией приземных, высотных карт и прогностических авиационных карт погоды (АКП). Особое внимание обращается на те синоптические процессы, которые будут на том или ином участке маршрута (аэродрома, района полетов) вызывать ухудшение метеорологических условий.

**Метеорологическое обеспечение полетов продолжительностью более 5 ч.** Экипажи воздушных судов, выполняющие полеты по трассам продолжительностью более 5 ч, кроме устной консультации, получают:

- 1) авиационную прогностическую карту особых явлений погоды;
- 2) авиационную прогностическую карту барической топографии того уровня, который является ближайшим к заданному эшелону полета (или прогноз ветра и температуры на эшелоне полета, который выдается в виде таблицы);
- 3) бланк формы АВ-11 с прогнозами погоды по аэродрому посадки и запасным аэродромам, на котором записывается также значение атмосферного давления на аэродроме вылета за последний срок наблюдений;
- 4) бланк «Бортовая погода», который заполняется экипажем в полете.

При выполнении полетов по местным воздушным линиям продолжительностью более 5 ч, которые выполняются по правилам визуальных полетов, экипажи получают бюллетень погоды формы АВ-5. В этом бюллетене указываются:

- 1) краткая характеристика синоптической обстановки и прогноз погоды по маршруту полета;
- 2) прогноз ветра на высоте полета;
- 3) прогнозы погоды по аэродромам посадки и запасным аэродромам;
- 4) данные о фактической погоде аэропорта вылета за последний срок наблюдений;
- 5) значение минимального давления по маршруту (району) полета или высота ближайшей изобарической поверхности в районе максимального превышения на маршруте при визуальном полете.

**Метеорологическое обеспечение полетов продолжительностью 2—5 ч.** При продолжительности беспосадочного полета 2—5 ч экипаж воздушного судна, кроме устной консультации, получает бланк АВ-11, в котором даны прогнозы погоды на аэродроме посадки и на запасных аэродромах на срок, охватывающий время полета и превышающий его не менее чем на 30 мин.

**Метеорологическое обеспечение полетов АМСГ IV разряда.** Авиационные метеорологические станции IV разряда отличаются от АМСГ более высоких разрядов тем, что на этих станциях отсутствует синоптическая группа. Дежурный техник АМСГ IV разряда получает из прикрепленной к ней АМСГ высшего разряда или авиационного метеорологического центра (АМЦ) прогнозы погоды по своему аэродрому и использует их для консультации летного и диспетчерского состава.

Прогнозы погоды для метеорологического обеспечения полетов с аэродромов, которые обслуживаются АМСГ IV разряда, составляются в следующей последовательности: маршрут (район) полетов; время действия прогноза; характеристика синоптической обстановки; прогноз ветра (направление, скорость), видимости, явлений погоды, облачности (количество, форма, высота нижней границы), обледенения, турбулентности, верхней границы облаков, минимального давления по маршруту полета или высоты ближайшей изобарической поверхности в районе максимального превышения в горной местности.

Все прогнозы, составляемые для АМСГ IV разряда, подписываются синоптиком, разработавшим прогноз, и техник АМСГ не имеет права вносить в него какие-либо изменения.

**Метеорологическое обеспечение полетов сверхзвуковых транспортных самолетов (СТС).** Для метеообеспечения полетов СТС требуется более обширная, чем обычно, информация. Так, например, независимо от продолжительности полета для обеспечения полетов СТС разрабатывается маршрутный прогноз погоды.

в котором отдельно указываются ожидаемые условия погоды на этапах набора высоты, крейсерского полета и снижения. В этом прогнозе содержатся сведения о скорости и направлении ветра, температуре воздуха и ее отклонении от стандартной, об опасных для авиации явлениях погоды и о высоте вершин кучево-дождевой облачности.

На борту каждого СТС перед вылетом вручается следующая метеорологическая документация:

1) прогностическая карта АТ<sub>100</sub> или АТ<sub>70</sub> с указанием зон умеренной или сильной болтанки, обледенения, высот вершин кучево-дождевой облачности, температуры воздуха и ее отклонений от стандартной;

2) прогностический вертикальный разрез атмосферы от поверхности земли до высоты 16 000—20 000 м для начального и конечного участков трассы протяженностью по 300—500 км каждый;

3) таблица с указанием по участкам трассы прогностических значений скорости и направления ветра, температуры и ее отклонений от стандартной, интенсивности болтанки, обледенения и других опасных явлений погоды;

4) бланк АВ-11 с прогнозами погоды по аэродрому вылета, запасным аэродромам и аэродрому посадки.

**Метеорологическое обеспечение международных полетов.** При обеспечении международных полетов независимо от продолжительности рейса каждый экипаж или представитель авиакомпании получает следующую метеорологическую документацию:

1) авиационную прогностическую карту особых явлений погоды;

2) карту барической топографии или прогноз ветра и температуры на уровне полета;

3) бланк с текстовыми прогнозами погоды по аэродрому посадки и запасным аэродромам.

Кроме того, экипаж воздушного судна получает устную консультацию на русском или английском языке. Содержание устной консультации при метеорологическом обеспечении международных полетов аналогично содержанию устной консультации при обеспечении полетов над территорией СССР.

**Метеорологическое обеспечение органов управления воздушным движением (УВД).** В целях обеспечения безопасности полетов и качественного УВД перед заступлением смены на дежурство проводится инструктаж, во время которого заслушивается доклад инженера-синоптика. В доклад включается следующая информация: фактическая погода по району (аэродрому), прогноз синоптического положения и прогноз погоды по району (аэродрому). Особое внимание в докладе уделяется анализу возможностей возникновения опасных для авиации явлений погоды.

Содержание прогноза погоды при обеспечении органов УВД аналогично содержанию прогнозов при обеспечении летного состава.

Остальная метеорологическая информация доводится до органов УВД в текстовом или картографированном виде в соответствии с требованиями НМО ГА.

Данный раздел не претендует на полноту описания метеорологического обеспечения полетов в разных условиях. Он составлен применительно к тем задачам, которые решаются в объеме настоящего практикума. Для детального изучения вопросов метеорологического обеспечения полетов и органов УВД следует обращаться к действующим документам, регламентирующим деятельность гражданской авиации — «Наставлению по производству полетов гражданской авиации СССР» (НПП ГА—85), «Наставлению по метеорологическому обеспечению гражданской авиации СССР» (НМО ГА—82), «Наставлению по службе движения в гражданской авиации СССР» (НСД ГА—81) и др.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ АВИАЦИОННЫХ КОДОВ ПРИ ОБМЕНЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ**

Цель работы: изучить метеорологические авиационные коды ФАП, АПП, METAR, TAF, аэрологические коды КН-03, КН-04 и приобрести практические навыки в раскодировании телеграмм, закодированных указанными кодами.

### **Метеорологические авиационные коды**

Для метеорологического обеспечения полетов производится обмен метеорологической информацией между аэропортами вылета, первой посадки и запасными аэропортами. Детальный порядок сбора и распространения метеорологической информации определяется «Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации» (НМО ГА). Система сбора и распространения метеорологической информации дает возможность оперативным метеоподразделениям получать необходимые сведения о фактической и ожидаемой погоде в районах (на воздушных трассах) предстоящих полетов, в том числе сведения об опасных для авиации метеорологических явлениях. Схемами (графиками) предусматривается обмен данными о фактической и ожидаемой погоде, штормовыми оповещениями и предупреждениями, результатами аэрологических и радиолокационных наблюдений, данными разведки погоды и т. п.

Фактическая погода, прогноз и данные аэрологических наблюдений, как правило, передаются в закодированной форме. Для этой цели используются метеорологические авиационные коды для передачи фактической погоды по аэродрому (ФАП) и прогнозов по аэродрому (АПП), аэрологические коды для передачи результатов наблюдений за ветром (КН-03) и результатов температурно-ветрового зондирования атмосферы (КН-04) и некоторые другие коды.

Обмен информацией между аэропортами СССР и зарубежных стран чаще всего производится посредством международных метеорологических авиационных кодов: кода регулярных сообщений о погоде на аэродроме (METAR) и кода прогноза погоды на аэродроме (TAF). Содержание метеорологических авиационных кодов ФАП, АПП, METAR и TAF приведено в приложении 12.1. Дополнительные краткие пояснения к каждому из перечисленных кодов приводятся ниже.

**Авиационный метеорологический код для передачи фактической погоды по аэродрому (ФАП).** Группы кода содержат неодинаковое количество знаков. Количество групп в телеграммах также может быть различным. Отдельные группы кода в телеграммах могут повторяться несколько раз.

В начале текста телеграммы ставятся буквы **ФАП**. Если телеграммы объединяются в сводки, буквы **ФАП** ставятся только в начале сводки. Если в телеграмме сообщается о каком-либо штормовом явлении, после слова **ФАП** добавляются две буквы **ШТ**. Если аэропорту не присвоено условное четырехбуквенное обозначение, то вместо него указывается полное или сокращенное наименование аэропорта.

Если в телеграмме **ФАП** указывается истинное направление ветра, то буква **М** в группе ветра не используется. В аэропортах, где магнитное склонение составляет  $5^\circ$  и более, в направлении ветра у земли вводится поправка на магнитное склонение. При положительном магнитном склонении поправка из отсчета направления ветра вычитается, при отрицательном — прибавляется. Среднее направление и средняя скорость ветра указываются за двухминутный интервал времени. При порывистом ветре значение максимального порыва включается в телеграмму через дробную черту.

В группе, характеризующей явления погоды в момент наблюдения, указывается цифровое и буквенное выражение явления погоды (без пробела) согласно соответствующей таблицы. Группа может повторяться столько раз, сколько необходимо для кодирования всех наблюдавшихся явлений погоды. При отсутствии явлений погоды группа в телеграмме опускается.

Группы, характеризующие облачность, могут повторяться для сообщения о количестве отдельных слоев облаков. Число групп не должно превышать двух, а в случаях, когда наблюдаются кучево-дождевые облака может быть три группы. Группы должны включать сведения об облаках, начиная от нижнего уровня к более высокому. При отсутствии облаков группа не используется. С целью сокращения телеграммы в одной группе облачности могут указываться два вида облаков среднего и верхнего ярусов без указания их высот.

Если температура воздуха или точка росы наблюдается ниже  $0^\circ\text{C}$ , перед ее(их) значением(ями) ставится буква **М**.

Атмосферное давление на уровне рабочего старта **ВПП** аэродрома сообщается в миллиметрах ртутного столба с округлением в меньшую сторону до целых миллиметров.

Сведения о погоде, полученные от экипажей (бортовая погода), включаются в телеграмму, если их давность не превышает двух часов.

В конце телеграммы **ФАП** при наличии сведений открытым текстом с использованием принятых сокращений метеорологических терминов включается дополнительная информация о высоте изотермы  $0^\circ\text{C}$ , высотах обледенения и турбулентности, закрытии гор и высоких препятствий, сдвиге ветра, состоянии **ВПП** и о других важных для авиации сведениях (прогноз на посадку, прогноз тенденции погоды, прогноз изменения основных элементов погоды в ближайшие 2 ч).

Прогноз изменения основных элементов погоды составляется в телеграмме ФАП, если в ближайшие два часа, начиная со времени, на которое составлена сводка погоды, ожидаются существенные изменения погоды или какого-либо ее элемента, важного для работы авиации. Содержание сводки является одновременно и началом содержания прогноза. В прогнозе тенденции ожидаемые значения метеорологических элементов (горизонтальной видимости, высоты нижней границы облаков, скорости и направления ветра) необходимо понимать как наиболее вероятные средние значения с установленными (см. код) возможными отклонениями. Для указания характеристики ожидаемых изменений в прогнозах на ближайшие два часа вместо группы ТТТТТ используют сокращенные буквенные выражения — ПОСТ, БЫСТ, ВРЕМ, КРТК или ТЕНД. После сокращенного буквенного обозначения последовательность изложения ожидаемых значений метеоэлементов используется та же, что и в общей схеме кода ФАП. Однако в прогнозе тенденции включаются только те группы, в которые входят элементы погоды, по которым ожидаются существенные изменения величин.

**Авиационный метеорологический код для передачи прогноза погоды по аэродрому (АПП).** В начале текста телеграммы всегда ставятся буквы АПП. В тех случаях, когда несколько телеграмм объединено в общую сводку, буквы АПП ставятся только один раз в начале сводки. Если прогнозом предусматривается возникновение одного или нескольких опасных для авиации явлений погоды, то в начале телеграммы после букв АПП указываются две буквы ШТ. Если прогноз является коррективным, после букв АПП указываются буквы КОР. Количество групп в телеграмме может быть различным. Группы, характеризующие явления погоды и облачность, в телеграмму не включаются, если прогнозом не предусматриваются какие-либо явления погоды и не прогнозируется облачность. Ожидаемые в прогнозах значения элементов необходимо понимать как наиболее вероятные средние значения в диапазоне установленных колебаний (см. код).

В тех случаях, когда составляется корректировочный прогноз, действие которого начинается не с целого часа, необходимо указывать и минуты начала действия прогноза.

В прогнозе указывается истинное, а не магнитное направление ветра, округляемое до ближайшего десятка градусов. Если прогнозируется ветер неустойчивого направления, то его характеристика указывается тремя буквами НСТ, за которыми должна следовать его скорость. Использование такой буквенной характеристики допускается, если скорость ветра не превышает 3 м/с.

Значение видимости указывается в метрах. Видимость до 5 км указывается через каждые 100 м, а от 5 до 10 км — через каждые 1000 м.

В группе прогнозируемых явлений погоды указывается их цифровое и буквенное выражение (см. таблицы кода). Если в прогнозе предусматривается более чем одно явление погоды, то группа повторяется.

Группа кода, характеризующая облачность, может повторяться для сообщения прогноза количества отдельных слоев облаков, однако число групп не должно превышать двух. В случаях, когда ожидаются кучево-дождевые облака, число групп может быть увеличено до трех. Группы должны включать сведения об облачности, начиная от нижнего уровня к более высокому. С целью сокращения телеграммы в одной группе облачности могут указываться два вида прогнозируемых облаков среднего и верхнего ярусов, без указания их высот.

Группа ХОР используется в телеграмме как индикатор благоприятной погоды. Порядок применения группы ХОР изложен в пояснениях к коду.

Если обледенение, турбулентность и высота верхней границы облаков не прогнозируются, то группы, которые должны содержать эти сведения, в телеграмме опускаются.

В конце телеграммы открытым текстом в виде принятых сокращений (см. код) указываются дополнительные сведения о прогнозируемой температуре, высоте обледенения и турбулентности, о закрытии облаками высоких препятствий, находящихся вблизи аэродрома, и др.

Группа, характеризующая изменения погоды, должна использоваться, когда в течение периода, на который составлен прогноз, ожидается изменение одного или нескольких прогнозируемых элементов в некоторый момент времени или в течение определенного периода. Эта группа должна включаться в телеграмму после того, как будут даны все необходимые группы основного прогноза. За группой изменения погоды должны следовать описания всех метеозадач, изменение которых прогнозируется. При необходимости после одной группы изменения может использоваться следующая группа изменения, относящаяся к изменениям погоды в более поздний срок.

Порядок помещения изменяющихся элементов (явлений) погоды должен выдерживаться в соответствии с общей схемой кода АПП.

После группы изменения вместо характеристики явлений погоды можно использовать выражение ЯНЕТ для указания ожидаемого прекращения каких-либо явлений погоды, которые были предусмотрены в основном тексте прогноза.

**Международный метеорологический авиационный код METAR для передачи данных о погоде на аэродроме (регулярное сообщение).** Этот код во многом аналогичен авиационному метеорологическому коду для передачи фактической погоды по аэродрому (ФАП).



В начале телеграммы ставится название кода METAR. В тех случаях, когда эти телеграммы объединены в сводку, слово METAR ставится только в начале сводки. Группы содержат неодинаковое количество цифр. Если тот или иной элемент (явление) отсутствует, соответствующая группа или продолжение группы, содержащей более пяти цифр в данной телеграмме опускается. Группы или части их, заключенные в скобки (см. код), в соответствии с региональными соглашениями могут не использоваться. Группы могут в случае необходимости повторяться. Составление и включение в сводку METAR прогноза тенденции погоды на ближайшие два часа (прогнозы на посадку типа TREND) являются обязательными.

Срок наблюдения указывается в часах и минутах среднего гринвичского времени. Если время наблюдения какой-либо последующей телеграммы отличается более чем на 10 мин от времени, указанного в начале сводки, то группу времени наблюдения необходимо включать в каждую из таких телеграмм.

Направление ветра, осредненное за десятиминутный интервал, предшествующий сроку наблюдения, указывается по отношению к географическому, а не магнитному меридиану. Если в течение десятиминутного интервала были нарушения в измерении характеристик ветра (направление, скорость), то средние значения определяются только со времени конца нарушения измерения, т. е. интервал времени в связи с этим сокращается. В телеграммах, поступающих из заграницы, скорость ветра может даваться не в м/с, а в узлах.

Телеграмма METAR может включать одну или несколько групп, характеризующих визуальную дальность видимости на ВПП в метрах (RVR), т. е. максимальное расстояние в направлении взлета (посадки), в пределах которого пилот воздушного судна, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку ее поверхности или огни, которые ограничивают ВПП или обозначают ее осевую линию. В группе указывается номер ВПП, на которой определена видимость.

Группа, содержащая сообщение о текущей погоде, составляется в соответствии с принятой таблицей (см. код). Явления погоды, не предусмотренные этой таблицей, в телеграмму не включаются. Вместе с цифрами кода в телеграммах используются соответствующие буквенные выражения, предусмотренные таблицей для конкретного явления. При составлении телеграмм допускается более чем одно цифровое и буквенное выражение для обозначения особых явлений погоды.

Число групп, сообщающих сведения об облачности, обычно не превышает трех, однако может быть и четыре в случаях, когда наблюдаются кучево-дождевые облака. Высота нижней границы облаков кодируется согласно специальной таблицы (см. код). Группы включают сведения об облачности, начиная от нижнего

уровня к более высокому. При определении количества облаков для передачи отдельных слоев или облачных масс наблюдатель, принимая во внимание эволюцию облачности, должен указывать количество облаков каждого слоя на различных уровнях так, как если бы отсутствовали другие облака. Когда небо ясное, группа облачности не используется.

Группа CAVOK — индикатор благоприятной погоды включается в телеграмму вместо групп видимости, явлений погоды и облачности.

Давление (гПа), приведенное к уровню моря по стандартной атмосфере, всегда округляется до меньшего значения ближайшего гектопаскаля.

Дополнительная информация о турбулентности, обледенении самолета, важных явлениях, наблюдавшихся на аэродроме, сдвиг ветра в нижнем слое и т. п. добавляется в телеграмме словесным текстом. Если видимость в различных направлениях неодинакова, то в конце сообщения должны даваться дополнительные данные с указанием направления, в котором наблюдается ухудшение видимости. В случае необходимости в конце сообщения ставится кодовое слово DENEВ, указывающее, что проводятся работы по рассеиванию тумана.

После телеграммы METAR за группой давления или после дополнительной информации сообщается прогноз тенденции погоды для посадки самолетов на ближайшие 2 ч (прогноз типа TREND — см. код).

Некоторые страны в конце телеграммы сообщают особой шестизначной группой состоянием ВПП (см. код).

**Международный метеорологический авиационный код TAF для передачи прогноза погоды по аэродрому.** Этот код во многом совпадает с авиационным метеорологическим кодом для передачи прогнозов по аэродрому (АПП). В начале текста телеграммы всегда ставится слово TAF. В тех случаях, когда телеграммы объединены в общую сводку, слово TAF ставится только один раз в начале сводки. Группы с отличительной цифрой могут быть опущены из отдельной сводки, если в прогнозе не ожидается элементов, указываемых в группе, или если сведений о них не требуется. Отдельные группы кода могут повторяться в телеграмме несколько раз в зависимости от характера погодных условий.

Полное описание прогнозируемых условий должно включать информацию о ветре, видимости, погоде и облачности. Значения метеоэлементов в прогнозах необходимо понимать как приближенные, наиболее вероятные средние значения из тех колебаний, которые элемент может испытывать в течение периода прогноза над каким-либо районом или в рассматриваемом воздушном пространстве. Кроме того, если в прогнозе дается время возникновения или изменения элементов, то это время должно рассматриваться как наиболее вероятное среднее время.

Если ожидается, что прогнозируемая максимальная скорость ветра будет превышать среднюю скорость более чем на 5 м/с (10 узлов), то она кодируется сразу же после прогноза среднего направления и скорости ветра.

Если в прогнозе ожидается, что горизонтальная видимость не будет одинакова в различных направлениях, то должен быть указан прогноз минимального ее значения.

Если ожидается в прогнозе, что условия погоды, выраженные с помощью кодовой таблицы особых явлений, закончатся, то после группы изменения используется сокращение WXNIL.

Если прогнозируется ясное небо, то группа, характеризующая облачность, не используется, кроме случая, когда она следует за группой изменения и когда используется сокращение SKC.

Группы, заключенные в схеме кода в скобки, не всегда используются в телеграммах TAF. Группа PROB сообщает вероятность возникновения явления, которая не может превышать 50 %. Если вероятность появления элемента превышает 50 %, то указание о нем должно составлять основное содержание прогноза. Группа вероятности в телеграмме помещается непосредственно перед группой(ами), в которую(ые) входит(ят) элемент(ы) или явление(я) погоды, вероятность которого(ых) указывается.

Уточненный прогноз по аэродрому в кодовой форме обозначается словами TAF AMD и охватывает весь оставшийся срок действия прогноза, указанный в первоначальном сообщении TAF. В некоторых странах используют выражение TAF COR.

### *Контрольные вопросы*

1. Каким образом кодируются данные о ветре на различных уровнях с помощью кода KN-03?
2. Каким образом кодируются данные о температуре, влажности и ветре на основных изобарических поверхностях с помощью кода KN-04?
3. В чем состоит основное назначение метеорологических авиационных кодов ФАП и АПП, METAR и TAF?

### *Материалы для работы*

Телеграммы с данными о погоде и аэрологических наблюдениях, закодированные кодами ФАП, АПП, METAR, TAF, KN-03 и KN-04.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981, с. 328—353.

2. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации СССР (НМО ГА—82).— Л.: Гидрометеониздат. 1982. с. 37—80, 120—124.

3. Коды ФАП, АПП, METAR, TAF, КН-03, КН-04.

### *Порядок выполнения работы*

1. Разобрать вместе с преподавателем порядок кодирования данных каждым кодом.

2. Самостоятельно раскодировать телеграммы одного из вариантов приложения, указанного преподавателем.

### *Методические указания*

1. Телеграммы, закодированные кодами ФАП, АПП, METAR и TAF, раскодировать, и данные о фактической погоде и прогнозах погоды записать в раскодированном виде на отдельном листе или на бланке.

2. Телеграммы, закодированные кодом КН-03, раскодировать, и данные ветрового зондирования записать в таблицу вида

<i>H</i> км	<i>p</i> гПа	<i>dd</i> °	<i>ff</i> м/с

3. Телеграммы, закодированные кодом КН-04, раскодировать, и данные температурно-ветрового зондирования записать в таблицу вида

<i>H</i> м	<i>p</i> гПа	<i>T</i> °C	<i>D</i> °C	<i>T<sub>d</sub></i> °C	<i>dd</i> °	<i>ff</i> м/с

### *Отчетный материал*

Раскодированные телеграммы с данными о погоде одного из вариантов приложения 12.1.

## Приложение 12.1

## Телеграммы со сведениями о погоде

## Вариант 1

- I. ФАП УКЛЛ 1155 М33006 4000 10ДК 8СЛ018 02/М03 754 СЦ07 ПОСТ 3000 10ДК  
 ФАП УЛТТ 1150 М02004 9999 70СН 8СД054 М00/М06 772 СЦ051 БИЗМ  
 ФАП УУЫЫ 1250 М05006 9999 70СН 8СР/// М15/М20 758 СЦ051 БИЗМ  
 ФАП УКСС 1650 М01007/12 1600 75МТ 70СН 10ДК 8СККДРД024 М10/М12 741 СЦ045 ВРЕМ 1000 75МТ 70СН 8РД015  
 ФАП УИИИ 1150 00000 3000 04ДМ 6ВХ/// М32/М35 766 СЦ040 ПОСТ 1150 3000 04ДМ
- II. АПП УССС 0416 35004/07 3000 85ЛС 75МТ 8КДРД020 ВГ200 КРУГ 36008 ПОСТ 0608 35009/12 КРАТ 0616 1200 85ЛС 75МТ 5РД018 ТЕНД 0410 680205  
 АПП УХХО 0416 32007 7000 70СН 5СКРС020 650200 ВГ120 ПОСТ 0406 5СК045 ВРЕМ 0410 2000 70СН  
 АПП УТСТ 0110 НСТ03 5000 10ДК 8СК030 ВГ100 ПОСТ 0507 3000 10ДК
- III. METAR ELLX 1015 VRB01 9999 10BR 8SC015 00/M01 1034 NOSIG  
 METAR ETLC 0825 13002 CAVOK M02/M03 1034  
 METAR LKPP 1215 32006 6000 80RASH 2CU013 3SC033 7AS080 10/09 1011 NOSIG  
 METAR EDBB 0915 19002 2500 04FU 2C1200 M03/M05 1034  
 METAR LEMD 1515 00000 9000 11MIFG 2ST008 M03/M03 1034 GRADU 7ST006 221015
- IV. TAF UHWW 1503 VRB03 CAVOK GRADU 1820 1500 10BR 04FU GRADU 0103 9999 5SC020 8AC100  
 TAF UWWW 0315 18006 CAVOK 9999 GRADU 0911 4000 10BR 04FU 5SC020 8AC100  
 TAF LHBR 0918 VRB05 CAVOK TEMPO 0912 0500 44FG 5ST002
- V. PPAА 10083 26063 55585 26008 28507 36008 27508 19508 77999  
 PPBB 10083 26063 90123 26013 31005 29007 80248 29007 27509 29509 21212 00986 30006 11/// 25516 22/// 30505 33/// 25006 44/// 28507 55/// 32008 66/// 19008 77/// 22511 88/// 20513
- PPAA 30083 27612 55585 12011 14512 16520 17025 18025 77999  
 PPBB 30083 27612 90123 /////  
 16017 21212 00013 11003 11/// 11014 12012 80248 11015 11512 15011 44/// 17019 55/// 17020 66/// 18020 77/// 17025 88/// 17015 99/// 17025
- VI. TТАА 26001 27196 99016 07126 00000 00290 07718 01508 85534 17317 35503 70991 18960 34008 50540 37926 31515 40692 45944 31019 30875 55746 32019 25990 59745 32016 20131 56348 32011 15314 54950 32009 10571 57556 33508 88256 59945 32016 77999

ТТВВ	2600/	27196	00016	07126	11846	17717	22836	15118	33799
	15523	44756	15757	55699	18960	66678	19958	77610	26318
	88489	39129	99365	49149	11285	57145	22269	57145	33256
	59945	44188	55350	55113	55756	21212	00016	00000	11003
	01008	22959	06504	33905	34502	44882	36001	55790	34505
	66759	35506	77365	31021	88208	32511	99188	31510	11113
	34007	41414	85611						

## Вариант 2

- I. ФАП УУЫЫ 1220 M05005/08 5000 70CH 8CP///  
 ФАП УУОО 1150 M36004 9999 8СК031 M18/M20 750 СЦ032 БИЗМ  
 ФАП УҚЛЛ 1355 00000 0388 42ТМ 9//006 M01/M01 749 СЦ07 БИЗМ  
 ФАП УЛАК 1350 M13002 ХОР M28/M33 777 СЦ06  
 ФАП УКХХ 1320 33006/09 9999 8СК044 65/130
- II. АПП УЛОЛ 0009 НСТ03 9999 8СК030 ВГ150 ВРЕМ 0609 2000 10ДК  
 4РС020 ВГ050  
 АПП УВПП 0312 36009 3000 10ДК 85ЛС 8СККД030 ВГ300  
 АПП УННН 0009 18006 6000 70CH 8СК040 ВГ200 8СРВХ ПОСТ 0608  
 3000 70CH 8СД025 ВГ200 ПОСТ 0608 18006/9
- III. METAR LFPB 1515 16004 9999 2SC015 M05/M06 1033 NOSIG  
 METAR UWVW 1445 00000 8000 11MIFG 2ST008 M02/M02 1033  
 GRADU 7ST006 221015  
 METAR LKPP 1230 19003 CAVOK M04/M05 1033  
 METAR UKBB 0910 16002 5000 10BR 7ST004 M03/M04 1031 NOSIG  
 METAR URMH 1415 36001 8000 70SN 2ST008 M02/M03 1034 GRADU  
 5ST008
- IV. TAF UMWW 0918 VRB05 CAVOK TEMPO 0912 0500 44FG 5ST002  
 TAF LKIB 1524 12005 9000 04FU 8SC030 GRADU 1824 3000 58RA  
 7SC010  
 TAF LFPG 1322 25010 5000 7SC025 GRADU 1317 4000 10BR
- V. PRAA 03093 26038 55785 22018 25508 29512 31014 01520  
 32034 31518 77058 32036 41105
- PPBB 03093 26038 90123 20516 21008 20013 80248 22013  
 22516 24513 821// 32034 21212 00013 21002 11//  
 18022 22// 20519 33// 20505 44// 21520 55//  
 20014 66// 24024 77// 22019 88// 23012 99//  
 26510 11// 24510 22// 24008 33// 32014 44//  
 31520 55// 01520 66// 32534 77// 31530 88//  
 31516
- PRAA 01083 23804 55885 06008 10009 13527 14045 14053 14038  
 14013 15010 70890 14053 40120 70800 14053 40902 71060  
 14035
- PPBB 01083 23804 90123 02007 11508 09504 80248 07006 06510  
 12521 821// 14018 21212 00012 11004 11// 08007 22//  
 13507 33// 09504 44// 05008 55// 09507 66// 10523  
 77// 12532 88// 13527 99// 14053 11// 14053 22//  
 11548 33// 14035 44// 14525 55// 14512 66// 14510
- VI. TAA 25231 26063 99025 13345 16003 00266 07758 18007 85540  
 08570 16508 70020 16967 15505 50547 33758 24502 40700  
 43758 29002 30889 56957 30504 25003 62358 30005 20142  
 59959 33005 15323 57560 31502 10577 59960 27502 88251  
 62358 30005 77999

ТТВВ	2523/	26063	00025	13345	11990	05959	22975	06562	33947
	04172	44922	05184	55807	10763	66794	11363	77697	17167
	88582	24964	99463	37557	11306	54758	22232	62358	33152
	57560	21212	00025	16003	11005	18507	22979	18006	33959
	14508	44804	17509	55593	13503	66546	17003	77454	31002
	88411	28502	99372	30502	11234	30005	22204	33005	33177
	34003	44109	28001	41414	00900				

## Вариант 3

- I. ФАП УКОО 1350 М33006 ХОР 02/М02 770 СЦ065 БИЗМ  
 ФАП УУЫЫ 1350 М07005/08 9999 36ПЗ 2СР/// М24/М29 760 СЦ06 БИЗМ  
 ФАП УАИИ 1355 М09010/13 5000 38МН 8СД061 М15/М17 751 СЦ054  
 ПОСТ 2000 38МН 8СД020  
 ФАП УМИИ 1340 25003 6000 10ДК 8СК062 06/04 774 0ТН86 СЦ07 БИЗМ  
 ФАП УЛАК 1220 М04006 9999 70СН 36ПЗ 8СР/// М16/М20 758 СЦ051 БИЗМ
- II. АПП УВВВ 1703 01008/13 3000 70СН 75МТ 8КДРД020 8СР/// ВГ300  
 560005 650200 ВРЕМ 1722 1000 70СН 75МТ 7РД015  
 АПП УАТР 0413 26012 3000 71СН 8СКСД030 ВГ300 ПОСТ 0507  
 8СДРД020 650200 ВРЕМ 0613 1500 71СЗ  
 АПП УМММ 0616 33006 5000 50МР 10ДК 8СЛ015 8СРВХ/ ВГ050  
 ПОСТ 1016 7000 10ДК 8СКСЛ022
- III. МЕТАР ЕРGD 1415 36001 8000 11МIFG 2ST008 М02/М03 1034  
 GRADU 5ST008 221015  
 МЕТАР ЕРWA 1720 18003 CAVOK М04/М05 1033  
 МЕТАР LKPP 0912 31009/15 9999 1CU017 4SC040 7AC083 16/10 1008  
 NOSIG  
 МЕТАР ULLL 0655 06005 CAVOK 16/07 1017 NOSIG  
 МЕТАР LBBG 1115 VRB01 9999 3SC015 01/М00 1034 NOSIG 221015
- IV. TAF ULLL 1117 28009/14 9000 80RASH 5CB030 PROB30 95TS TEMPO  
 1315 1500 82XXSH  
 TAF UKBB 0918 19010 9999 2CU035 5SC040 TEMPO 1317 8000  
 80RASH 5CU030  
 TAF EDDM 1221 20012 9999 3CU040 GRADU 1518 20006 CAVOK
- V. PPAА 16093 22113 55485 20004 17502 20508 19508 77999  
 PPBB 16093 22113 90123 13506 13505 13004 80248 14504 11501  
 12003 21212 00993 14002 11/// 17007 22/// 13506 33///  
 13004 44/// 15004 55/// 15006 66/// 24002 77/// 22501  
 88/// 22001 99/// 17502 11/// 18502 22/// 21506 33///  
 20010
- PPAA 11083 27037 55685 29508 29508 24013 23514 22512  
 22013 77999
- PPBB 11083 27037 90123 28513 31013 30515 80248 30015  
 30516 27004 821// 22013 21212 00092 31006 11///  
 26512 22/// 31014 33/// 30015 44/// 29506 55///  
 31009 66/// 29010 77/// 27004 88/// 22515 99///  
 22012 11/// 19010
- VI. TТАА 15001 33345 99003 05130 13505 00189 05328 // 85450  
 06123 13509 70970 11159 14011 50549 25766 14007 40708  
 37158 23005 30900 52956 31009 25016 61950 29510 20154  
 61750 25010 15335 57356 28510 10591 58357 29011 88218  
 65349 26010 77999

ТТВВ	1500/	33345	00003	05130	11902	10902	22894	11309	33850
	06123	44744	08957	55640	13762	66500	25766	77432	32761
	88329	48156	99243	63150	11218	65349	22191	59950	33158
	57356	21212	00003	13505	11487	14005	22294	31510	33192
	25010	44150	28510	55128	27010	41414	8072/		

## Вариант 4

- I. ФАП УЛАК 1250 М04006 9999 2СК060 8СР/// М14/М17 760 ОТН75  
 СЦ035 БИЗМ  
 ФАП УНKK 1310 27003 6000 10ДК 8СК060 М09/М12 757 СЦ06 БИЗМ  
 ФАП УРСС 0630 НСТ02 800 42ТМ 50МР 9//020 05/03 741-Г/3 [КРТК  
 0400 42ТМ 9//010  
 ФАП УЛЛЛ 1255 М02007 ХОР 15/06 761 СЦ072 БИЗМ  
 ФАП УАФФ 1150 М20003 8000 70СН 8СД018 М02/М03 753 СЦ031 БИЗМ
- II. АПП УУЫЫ 0312 02005 4000 70СН 8КДСК030 8СРВХ/ ВГ300 [КРТК  
 0312 1000 74СС 04ДМ  
 АПП УНКВ 0312 НСТ02 1800 04ДМ 10ДК 8КДРД020 ВГ300  
 8СРВХ/650200 ВРЕМ 0312 1000 85ЛС 6РД010 ПОСТ 0507 1300 04ДМ  
 10ДК  
 АПП УХХО 0012 02004 ХОР ВРЕМ 0512 1000 10ДК 04ДМ ПОСТ 1012  
 НСТ03
- III. METAR ULLL 0855 03007 CAVOK 15/06 1017 NOSIG  
 METAR EPWA 1855 18002 CAVOK 22/17 1019 NOSIG  
 METAR ENFB 1115 VRB01 9999 4SC015 01/М00 1034 NOSIG 221015  
 METAR ETLC 1345 26002 2000 22RESN 5ST008 М01/М02 1033 GRADU  
 8ST008 221015  
 METAR ОРКС 1020 21003 0900 R0850/1 R0900/2 17TS 81XXSH 8CU005  
 15/08 1013
- IV. TAF EDDL 1221 20012 9999 3CU040 GRADU 1518 20006 CAVOK  
 TAF EFHK 1524 29007 9999 5CU020 3SC033 TEMPO 1518 29007/15  
 6000 80RASH 3CB015 6CU018 GRADU 1821 27004 9999 3SC033  
 TAF LIRF 1524 VRB03 8000 10BR 5ST006 GRADU 1518 3000 7ST004  
 GRADU 1821 0500 45FG 9//002
- V. PPAА 03003 23820 55885 13004 29003 25013 26023 26030 26027  
 26513 26020 77999
- PPAA 03003 23820 90123 17007 17004 15005 80248 15005 11002  
 26506 821/// 26027 21212 00003 13502 11/// 16511 22///  
 17005 33/// 17504 44/// 11002 55/// 06501 66/// 08502  
 77/// 29002 88/// 25507 99/// 24513 11/// 25530 22///  
 26030 33/// 26515 44/// 26025 55/// 26010
- PPAA 20122 28698 55785 04510 01019 01518 01023 00024 35018  
 35016 77999
- PPBB 20122 28698 90123 03505 04005 04506 80248 07506 02511  
 01515 821/// 35018 21212 00012 04505 11/// 03505 22///  
 04605 33/// 04509 44/// 02510 55/// 01020 66/// 01015  
 77/// 02020 88/// 01015 99/// 01525 11/// 00522 22///  
 34020 33/// 35515
- VI. ТТАА 26001 34731 99014 06329 07018 00189 07329 /////  
 06117 09006 70956 13725 15007 50543 28360 33007 40700  
 37361 31521 30892 53259 30526 25009 59958 29523 20147  
 59958 28519 15328 58959 28018 10582 60159 28014 88237  
 61558 29019 77999



ТТВВ	2600/	34731	00014	06329	11971	09321	22948	04119	33892
	08115	44877	05916	55855	05917	66694	14126	77620	21723
	88613	22325	99583	22357	11563	23558	22292	55159	33237
	61558	44212	61558	55196	59158	41414	854//		

## Вариант 5

- I. ФАП УУБП 1250 М33004/07 9999 4СК074 М06/М10 769 СЦ07 БИЗМ  
 ФАП УКББ 1150 33007/10 8000 68ДС 8СК049 М00/М02 759 655130  
 СЦ07 ПОСТ 33012 ТЕНД 650 04  
 ФАП УУБР 2350 М09005/08 9999 36ПЗ 8СР/// М23/М27 752 СЦ055  
 БИЗМ  
 ФАП УЛВВ 1155 М02005 ХОР 15/05 772 СЦ072 БИЗМ  
 ФАП УВПИ 0650 13004 9999 5СК100 8СР/// 18/12 746
- II. АПП УХББ 0009 НСТ03 1500 10ДК 04ДМ 8СРВХ ВРЕМ 0009 700  
 04ДМ  
 АПП УЛММ 0212 13004 6000 10ДК 85ЛС 8КДРД030 ВГ100 650300  
 ВРЕМ 0209 1000 10ДК 85ЛС 8РД015  
 АПП УННН 2309 18006/09 3000 57ГЛ 83СД 8КДРД030 ВГ200 650270  
 ВРЕМ 2309 0800 83СД ПОСТ 0507 24007/11
- III. METAR UWPP 1115 21003 CAVOK M07/M12 1033  
 METAR EKCH 1220 VRB01 9999 8SC015 01/M01 1033 NOSIG 221015  
 METAR EIDN 0845 17002 1000 11MIFG 3CI200 M01/M01 1034 NOSIG  
 METAR EBBR 2000 24001 2100 10BR 5SC018 7AC100 M00/M01 1035  
 ТЕМПО 1600 33005  
 METAR LIBC 2200 06004 7000 04FU 7SC026 05/01 1026 NOSIG
- IV. TAF EDDH 1322 24012 9999 3CU030 4AC090 TEMPO 1318 25015/27  
 7000 80RASH 95TS 1CB015 6CU020  
 TAF ULLL 1221 VRB02 9999 6CB020 PROB30 95TS GRADU 1920 4000  
 10BR 2SC020  
 TAF ENAM 1019 25012 8000 5CU020 TEMPO 1016 24015/25 3500  
 80RASH 4ST007 2CB012 PROB20 95TS
- V. PRAA 25123 22550 55685 02006 01006 34506 34506 32005  
 30504 77999
- PPBB 25123 22550 90123 33504 34506 34005 80248 35005  
 01005 35006 21212 00998 35004 11/// 30511 22///  
 33504 33/// 34505 44/// 01005 55/// 02505 66///  
 00505 77/// 07503 88/// 35006 99/// 36006 11///  
 35506 22/// 36006 33/// 29504 44/// 32505 55///  
 30505 66/// 32005
- PRAA 21243 28225 55885 29511 29010 30023 31029 31045  
 31040 30045 29549 77172 35080 44240
- PPBB 21243 28225 90123 30008 31003 30013 80248 30014  
 28516 30519 821// 31045 21212 00994 24004 11///  
 30008 22/// 31010 33/// 28517 44/// 28506 55///  
 30021 66/// 31020 77/// 31030 88/// 30020 99///  
 31525 11/// 31045 22/// 30045 33/// 30035 44///  
 30030 55/// 29030
- VI. TAA 26001 34880 99033 10305 11007 00232 07328 11516 85501  
 07162 12011 70004 13328 13509 50549 27500 19007 40706  
 38905 22005 30898 52109 20507 25016 58912 23508 20156  
 59112 28011 15338 57518 28510 10591 59922 27512 88239  
 59912 25008 77999

ТТВВ	2600/	34880	00033	10305	11985	05745	22944	05358	33907
	05362	44788	09364	55623	17105	66516	17904	77535	24300
	88462	31100	99287	54910	11239	59912	22145	57518	21212
	00033	11007	11995	12016	22957	11014	33916	13916	44818
	12014	55779	14009	66684	13510	77579	19005	88387	23006
	99348	21519	11316	17508	22289	22506	33261	22008	44207
	28010	41414	00900						

## Вариант 6

- I. ФАП УКЛЛ 1420 00000 0300 42ГМ 9//006 М01/М01 746  
 ФАП УУБЫ 2350 М11002 3000 70СН 4СК050 4СР/// М14/М18 750  
 СЦ041 БИЗМ  
 ФАП УХБМ 2150 М01004 ХОР М22/М26 764 СЦ051 БИЗМ  
 ФАП УТТГ 1555 09008/15 4000 72МС 4СД050 М01/М03 743 600300  
 БИЗМ  
 ФАП УККК 2125 28003 1900 10ДК 8СЛ014 650/// ПОСТ 1500 10ДК  
 8СЛ010
- II. АПП УЛЛЛ 0817 НСТ02 9999 4КД080 7СРВХ ВГ900 ТЕНД 1017 95ГЗ  
 ВРТН 40  
 АПП УННН 1503 25009 9999 5КД100 ВГ800 ТЕНД 1521 95ГЗ ВРТН 40  
 АПП УКФФ 1219 20006/10 8000 10ДК 80ЛД 6КДСК060 8СРВХ 560003  
 ВГ700 ТЕНД 1418 95ГЗ ВРТН 30
- III. METAR UUWW 0755 03005 CAVOK 15/05 1019 NOSIG  
 METAR ETBS 1215 29009 9999 1CU016 6AC100 13/07 1010  
 METAR DDDD 2000 08005 6000 10BR 04FU 7SC025 04/02 1026 NOSIG  
 METAR EHAM 1400 10003 3900 10BR 8SC022 01/01 1025  
 METAR COOP 1520 05002 9999 3SC033 8AS100 09/06 1030 NOSIG
- IV. TAF ULLL 1524 28008 9000 5CU030 GRADU 1718 28004 5000 10BR  
 5SC030 GRADU 2122 2000 10BR  
 TAF EDDH 1322 23010 9999 4CU025 6AC100 TEMPO 1618 5000  
 80RASH 5CB015 PROB 20 95TS  
 TAF UUEE 1221 VRB02 9999 6CB020 PROB30 95TS GRADU 1920 4000  
 10BR 2SC020
- V. PPAА 08113 20744 55885 22003 19506 23505 23505 25016 23016  
 18014 15010 77999
- PPBB 08113 20744 90123 26507 25001 22502 80248 22502 23003  
 22004 821// 23016 21212 00998 27003 11/// 26506 22///  
 24501 33/// 25503 44/// 20501 55/// 20001 66/// 24004  
 77/// 10007 88/// 22504 99/// 24504 11/// 23006 22///  
 25506 33/// 25022 44/// 17514 55/// 19515 66/// 14510  
 77/// 18008
- PPAA 18123 23274 55785 21513 21014 23017 24014 22516  
 24015 25517 77999
- PPBB 18123 23274 90123 21007 20510 21014 80248 21014  
 21513 22014 821// 24015 21212 00985 20504 11///  
 22506 22/// 18510 33/// 20517 44/// 21514 55///  
 21014 66/// 23514 77/// 21514 88/// 23516 99///  
 22520 11/// 24015 22/// 22016 33/// 25518
- VI. ТТАА 26001 34560 99014 14528 09010 00245 10331 10509 85500  
 09564 11517 70991 14960 12005 50545 30724 18004 40700  
 41523 16509 30890 53123 22006 25006 56524 25007 20147  
 57125 30007 15329 58128 28009 88268 56924 25007 77999

ТТВВ	2600/	34560	00014	14528	11985	06341	22884		
	08566	33828	09966	44781	11357	55757	11758	66694	15360
	77618	20531	88511	31524	99501	30524	11268	56924	22217
	59124	33188	56125	44106	21212	00014	09010	41414	30930

## Вариант 7

- I. ФАП УРРР 2250 М31006 9999 8СККД090 М03/М07 743 СЦ05 БИЗМ  
 ФАП УЛВВ 1520 М01008/13 9999 85ЛС 75МГ 6СККД079 01/М03 770  
 СЦ065 БИЗМ  
 ФАП УЛЛЛ 1255 М02005 ХОР 14/03 790 СЦ075 БИЗМ  
 ФАП УМВВ 0650 13004 9999 5СК100 8СР// 18/12 746  
 ФАП УЛОЛ 1650 М01002 4000 10ДК 8СК062 М01/М04 773 СЦ05  
 БИЗМ
- II. АПП УИИИ 1121 НСТ02 9999 95ГЗ ВРТН 40 6КД080 4СРВХ ВГ700  
 АПП УЛАК 1221 26007/12 7000 80ЛД 5КД090 ВГ500 ПОСТ 1820 28009  
 АПП УКЛЛ 1116 26005 9999 6МККД080 ТЕНД 1316 95ГЗ ВРТН 40
- III. METAR LTAC 1400 06003 CAVOK 09/01 1029 NOSIG  
 METAR EHAM 2000 12004 2900 10BR 8SC020 01/01 1027 GRADU 2200  
 1000 11MIFG  
 METAR EDBB 1750 17002 4800 05HZ 5SC035 05/04 1026 NOSIG  
 METAR ESSA 1950 09001 3000 12MIFG 4CI200 01/01 1030 RAPID 2100  
 1000 12MIFG  
 METAR LOWW 1600 31001 4000 40 BCFG 2ST002 7CI200 M01/M02  
 1032 TEMPO 1000
- IV. TAF ULLL 0918 29010 9000 80RASH 6CB025 PROB30 95TS  
 TAF EGLL 1221 20012/18 9999 3CU040 GRADU 1518 20006 CAVOK  
 TAF EDDD 1322 25010 9999 2CU035 5SC040 TEMPO 1218 80RASH  
 3CB025 GRADU 1821 VRB05 CAVOK
- V. ПРАА 01123 23330 55785 00507 02508 03007 03512 02513 02015  
 03012 77999
- РРВВ 01123 23330 90123 02506 01506 01006 80248 00506 03006  
 03010 821// 02015 21212 00003 04505 11/// 01510 22///  
 03008 33/// 01006 44/// 01005 55/// 04504 66/// 02508  
 77/// 02511 88/// 03006 99/// 04014 11/// 02012 22///  
 03012 33/// 02016 44/// 03009
- ПРАА 09182 27612 55785 04509 03013 03021 03031 02530 02536  
 01524 71063 02545 40522 70970 02040 41508
- РРВВ 09182 27612 90123 02505 04009 01509 80248 02009 02011  
 03016 821// 02534 21212 00006 13503 11/// 08504 22///  
 11502 33/// 03506 44/// 05506 77/// 01014 88/// 04012  
 99/// 03510 11/// 03018 22/// 03032 33/// 03025 44///  
 02545 55/// 01520 66/// 01525 77/// 02020
- VI. ТТАА 26001 33815 99007 03318 07004 00015 03716 09010 85420  
 06112 12511 70940 09512 16510 50548 23140 23008 40708  
 35550 23010 30901 52748 22516 25016 61946 22020 20156  
 62146 23012 15337 57550 26012 10592 58350 27013 88234  
 62946 21520 77999

ТТВВ	2600/	33815	00007	03318	11932	07510	22897	04311	33855
	06312	44818	04314	55755	08311	66670	09714	77657	18514
	88653	18513	99641	18517	11386	38156	22255	61346	33234
	62946	44220	59546	55199	62546	66143	56342	21212	00007
	07004	11916	10518	22821	14505	33784	16506	44723	14509
	55696	17010	66608	17003	77521	22505	88482	23010	99443
	22513	11374	23009	22269	23516	33240	21522	44216	23012
	55161	25512	66132	25512	41414	8732/			

**Вариант 8**

- I. ФАП УЛЛЛ 1055 М05005 ХОР 16/07 761 СЦ072 БИЗМ  
 ФАП УЛММ 1650 М32007/10 9999 7СК078 М00/М05 772 СЦ05 БИЗМ  
 ФАП УУЫЫ 1620 М05006 8000 70СН 36ПЗ 8СР///  
 ФАП УССИ 1350 00000 4000 04ДМ 6ВХ///  
 М32/М35 768 СЦ040 БИЗМ  
 ФАП УКОО 2020 М34001 9999 6СК056 8СР///  
 М00/М01 771 СЦ065 БИЗМ
- II. АПП УЛОЛ 1322 28008/14 5000 80ЛД 4КД090 ВГ400 ПОСТ 1821 28009  
 АПП УКХХ 0510 15005/20 6000 80ЛД 99ГФ 8КДРД020 КРТК 0510 500 80ЛД  
 АПП УЛВВ 1521 28009/14 9000 80ЛД 5КД090 ВГ500 ТЕНД 1521 95ГЗ ВРН30 2109 28005 5000 10ДК 5СРВХ ПОСТ 0204 2000 10ДК 0915 НСТ 04 9000 3КД090 ВГ400
- III. METAR LYDU 1600 11007 CAVOK 03/02 1026 NOSIG  
 METAR EKCH 1250 20005 0600 R090/01 45FG 7SC015 M00/M00 1032 GRADU 2000  
 METAR KIAD 1900 09002 3000 10BR 3AC100 02/02 1030 TEMPO 2000  
 METAR URMH 1800 14003 3800 05HZ 8SC016 05/03 1025 GRADU 8SC014  
 METAR EDDD 1420 VRB01 2100 10BR 7SC015 M00/M01 1033 TEMPO 1600 33005
- IV. TAF ULLL 1806 28005 5000 10BR 5AC100 5C1200 GRADU 2224 2000 10BR  
 TAF LFML 1524 VRB02 9999 2ST004 GRADU 1518 5000 10BR 8ST005 TEMPO 1824 0500 45FG 9//002  
 TAF LSGG 2106 08002 6000 10BR 4ST005 6SC050 02104 02204 00103 00302 GRADU 0003 4000 10BR 6ST004 7SC040 PROB10 TEMPO 0406 0800 41BCFG 7ST002
- V. PPAА 17003 35361 55685 27506 27008 28005 31505 30509 22508 77999  
 PPBB 17003 35361 90123 27006 28009 27504 80248 27508 27005 27008 821// 22508 21212 00990 24503 11/// 28006 22/// 27008 38/// 32005 44/// 30509 55/// 21507 66/// 23511 77/// 22012 88/// 23510 99/// 22511  
 PPAА 05003 20046 55885 34012 31013 28014 25514 23520 23515 23510 23514 77999  
 PPBB 05003 20046 90123 32012 33512 33514 80248 33511 33512 30014 821// 23515 21212 00999 29002 11/// 33508 22 33013 33/// 25013 44/// 23520 55/// 23015 66/// 23515 77/// 23510 88/// 26015 99/// 23013 11/// 26010

VI. ТТАА	26002	27553	99018	12524	00000	00294	11526	36003	85553
	09758	31004	70041	16563	30504	50549	32957	31006	40703
	43739	30509	30891	56125	31507	25005	60526	31010	20145
	581//	30506	88225	631//	31008	77999			
ТТВВ	26001	27553	00018	12524	11913	07750	22840	10559	33802
	10162	44778	11564	55625	21162	66578	25362	77364	48528
	88333	52926	99225	631//	11204	585//	22190	571//	21212
	00018	00000	11985	09502	22945	07304	33905	32007	44806
	30003	55778	28003	66752	30503	78664	30203	88615	33004
	99392	30009	11282	32007	22199	30506	41414	00900	

## Вариант 9

- I. ФАП УЛТТ 1550 М36006/9 9999 8СК067 М00/М04 772 БИЗМ  
 ФАП УМИИ 1540 27003 6000 10ДК 8СК060 06/04 774 ОТН 85 СЦ07  
 БИЗМ  
 ФАП УВПП 1955 М02009/12 3500 85ЛС 75МТ 4КДРД 026 8СР///  
 М12/М13 743 СЦ045 ВРЕМ 2000 85ЛС 75МТ  
 ФАП УАТА 1550 М35003 85ЛС 8КДСК092 М15/М17 753 СЦ032 БИЗМ  
 ФАП УЛАК 1950 М0200 ХОР М17/М21 766 СЦ035 БИЗМ
- II. АПП УКОО 1319 15007/10 6000 10ДК 99ГФ 6КДМК040 ВГ900 КРПК  
 1316 3000 80ЛД ПОСТ 1319 22010/13  
 АПП УКББ 0713 14010 4000 10ДК 04ДМ 6СК060 ВГ250 ПОСТ 1113  
 8КДМК080 ВГ600  
 АПП УМММ 0616 33006 5000 50МР 10ДК 8СЛО15 8СРВХ ВГ050  
 ПОСТ 1016 7000 10ДК 8СКСЛО22
- III. METAR EIDN 1300 00000 0900 R0930/06 41BCFG 9//002 M01/M01  
 1033 TEMPO 0400 42FG  
 METAR EBBR 1420 08012 CAVOK 11/04 1027 NOSIG  
 METAR EHAM 1150 VRB01 4200 10BR 8SC020 01/01 1026 NOSIG  
 METAR EDBT 1315 26002 9999 2ST008 M01/M02 1034 GRADU 5ST008  
 METAR LBBG 1700 02001 9999 3SC033 5AC100 07/05 1030 NOSIG
- IV. TAF LBSF 2106 07006 2500 10BR 5ST007 8SC020 TEMPO 2106 2000  
 50DZ GRADU 0306 1500 10BR 7ST006  
 TAF WSSS 0006 VRB05 1200 50DZ 7ST008 GRADU 0104 10BR 7ST005  
 TEMPO 0406 0500 44FG 8ST002  
 TAF UUEE 2311 02010 9999 6SC010 8AS080 TEMPO 2311 1500 71SH  
 10BR 4ST005
- V. PRAA 13233 01384 55785 02503 35503 28008 25003 08502 08001  
 27503 77999  
 PPBB 13233 01384 90123 01004 04006 05505 80248 00005 04001 28006  
 821// 08004 21212 00995 02002 11/// 00508 22/// 05506 33///  
 00502 44/// 04502 55/// 00501 66/// 02506 77/// 27007 88///  
 28509 99/// 23501 11/// 08502 22/// 05508 33/// 09504 44///  
 26502  
 PRAA 29173 07145 55885 35006 35010 35010 35510 34510 32509 23507  
 28507 77999  
 PPBB 29173 07145 90123 01007 36006 35007 80248 35007 35008 35011  
 821// 32509 21212 00004 00003 11/// 01009 22/// 01006 33///  
 35007 44/// 35506 55/// 35012 66/// 35512 77/// 34512 88///  
 33508 99/// 28507
- VI. ТТАА 26001 26422 99024 06322 11004 00199 07520 05511 85467 07300  
 15009 70960 13700 14004 50544 27344 22009 40701 38320 23009  
 30893 54116 21010 25008 59316 22508 20148 58720 22505 15330  
 56125 28004 10587 57532 30505 88238 60517 22509 77999

TTBB	2600/	26422	00024	06322	11967	09312	22943	04111	33891	06500
	44874	07300	55850	07300	66800	10300	77755	10300	88503	21700
	99588	20900	11580	20305	22500	27344	33285	55316	44238	60517
	55220	61119	66184	57522	41414	874//				

## Вариант 10

- I. ФАП УУОО 0250 М34006/10 8000 6СР/// М02/// 761 БИЗМ  
 ФАП УМРР 0255 М24002 ХОР М05/М06 756 СЦ037 БИЗМ  
 ФАП УНББ 0155 М29004 4000 70СН 8РД020 8СД/// М01/М02 737  
 ИПЗ СЦ045 ПОСТ 0155 1500 70СН 8РД015 ТЕНД 650150  
 ФАП УУВВ 0220 М03004 3000 70СН 5СК044 3СР///  
 ФАП УЛЛЛ 0155 М25005/08 9999 85ЛС 8КД044 М06/М08 753 СЦ07  
 БИЗМ
- II. АПП УРВВ 0719 НСТ03 4000 10ДК 6СК060 ВГ200 8СР/// ПОСТ 1012  
 16009 3000 70СН 8СД030 КРТК 1219 1500 70СН 650000  
 АПП УКХХ 0719 19007/10 2000 10ДК 04ДМ 70СН 8СК020 ВГ200  
 650000 ПОСТ 1214 8СД012 ВГ200 ВРЕМ 1215 1000 70СН  
 АПП УРММ 0716 12006/11 6000 60ДЖ 8СККД030 8СРВХ/ 560005  
 ВГ400 ПОСТ 1012 17006/11 9999 ПОСТ 1315 22008/11
- III. METAR ETBS 0900 11003 5000 11MIFG 3AC063 09/08 993 GRADU  
 1100 6000  
 METAR LKIB 0830 09005 8000 68RASH 7ST011 M01/M02 1000 NOSIG  
 METAR EKCH 0920 02011 0400 R0350/04 R0450/12 R0400/14 47FG  
 9//001 08/07 999 RAPID 1000 12003 0900  
 METAR ENFB 0630 03007 9999 5SC020 M01/M03 1004 INTER 0730  
 4000  
 METAR EFHK 0700 08009 1000 74XXSN 9//004 M01/M01 1003 GRADU  
 0730 2000
- IV. TAF LKPP 1524 29005 3000 72SN 8NS006 GRADU 1824 8NS003 02205  
 620701  
 TAF EGLL 0918 29012 9000 5SC025 4AC058 PROB30 TEMPO 1418  
 7000 60RA  
 TAF LKIB 0009 00000 9000 2SC028 1AC060 PROB20 GRADU 0609  
 11MIFG
- V. PPAА 18093 26063 55685 25508 28014 27518 26520 24017  
 22521 77999  
 PPBB 18093 26063 90123 25509 25019 24509 80248 25009 24508  
 27516 821// 22521  
 PPAА 15083 29634 55785 19005 17502 17508 14516 13016  
 17508 21509 77999  
 PPBB 15083 29634 90123 26005 29005 25007  
 80248 24508 16003 16503 821// 17508
- VI. TТАА 26001 34300 99009 07156 09008 00218 07356 09010 85475  
 09706 /////  
 70974 13158 13505 50547 27766 00504 40704  
 38563 33510 30895 54359 31513 25010 61958 32012 20148  
 60359 29020 15328 58759 29013 10582 59359 29512 88237  
 63958 32013 77999

## СОСТАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗРЕЗА АТМОСФЕРЫ

Цель работы: научиться правильно составлять и обрабатывать вертикальные разрезы атмосферы.

### Вертикальные разрезы атмосферы и их использование для метеорологического обеспечения полетов

Вертикальные разрезы атмосферы предназначаются для более наглядного представления условий погоды по какому-либо маршруту или району. При метеорологическом обеспечении полетов сверхзвуковых транспортных самолетов (СТС) вертикальные разрезы составляются всегда. В отдельных случаях они могут составляться также при обеспечении полетов по трассам большой протяженности и полетов по международным трассам, а также при обеспечении полетов в определенном районе.

На крупных АМСГ вертикальные разрезы иногда составляются по постоянным направлениям (например, южное, восточное и т. д.). Различают три типа вертикальных разрезов: пространственные, временные и пространственно-временные разрезы.

Пространственные разрезы строятся по результатам температурно-ветрового зондирования атмосферы, а также по данным инструментальных и визуальных наблюдений в один и тот же момент времени в нескольких пунктах. Временные разрезы составляются по данным наблюдений и измерений в одном пункте. Пространственно-временные разрезы представляют собой графическое изображение авиационных прогнозов погоды по маршрутам полетов.

В данной работе рассматриваются правила построения и анализ только пространственных вертикальных разрезов, так как временные и пространственно-временные разрезы при метеорологическом обеспечении авиации используются крайне редко.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие виды вертикальных разрезов атмосферы составляются на АМСГ?
2. Для каких целей составляются на АМСГ вертикальные разрезы?

### *Материалы для работы*

1. Бланк вертикального разреза или лист миллиметровой бумаги.
2. Аэросиноптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа.

*Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеониздат, 1985, с. 47—49.
2. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 711 с.

*Порядок выполнения работы*

1. Нанести данные на бланк вертикального разреза (трасса указывается преподавателем).
2. Обработать данные построенного вертикального разреза.
3. Проанализировать условия полетов по маршруту по данным вертикального разреза.

*Методические указания*

1. Выбрать горизонтальный и вертикальный масштабы для построения вертикального разреза. Масштабы выбираются произвольно, но с таким расчетом, чтобы использовалась практически вся площадь бланка. При проведении всех построений ограничиться уровнем 200 гПа (около 12 000 м).

По маршруту наметить и отложить в масштабе по горизонтали не менее трех промежуточных пунктов. Из каждого пункта, включая начальный и конечный, провести вертикальную линию черным цветом.

С учетом масштаба по высоте, используя приземную карту и карты барической топографии АТ<sub>850</sub>, АТ<sub>700</sub>, АТ<sub>500</sub>, АТ<sub>400</sub>, АТ<sub>300</sub> и АТ<sub>200</sub>, на вертикальные линии нанести следующую информацию:

- температуру воздуха (слева от вертикальной линии красным цветом);
- дефицит температуры точки росы (под значением температуры черным цветом);
- высоту изобарической поверхности (черным цветом справа от вертикальной линии);
- направление и скорость ветра (черным цветом стрелкой с оперением по стандартным правилам).

Под названием каждого пункта символами кода КН-01 нанести (снимается с приземной карты) фактическую погоду.

2. Перенести на бланк вертикального разреза положение атмосферных фронтов. Для этого в масштабе разреза отметить положение фронтов у земной поверхности по синоптической карте и на различных уровнях — по картам барической топографии. В тех случаях, когда положение фронта по картам барической топографии определить трудно или невозможно, необходимо воспользоваться известными средними характеристиками: наклон теплого фронта примерно равен  $1/100$ , наклон холодного фронта  $1/50$ . Линия фронтальной поверхности на разрезе проводится до



тех высот, на которых она прослеживается по картам барической топографии в полях облачности, температуры или ветра. Если на высотах фронтальная поверхность выражена недостаточно четко, то линии основных фронтальных разделов проводятся до уровня 500 или 400 гПа, а вторичных — до уровня 850 гПа. Фронтальная зона выделяется двойной линией (цвет линии определяется видом фронта), а пространство между ними закрашивается тем же цветом.

Провести (красным цветом) изотермы, кратные  $10^{\circ}\text{C}$ , до температуры  $-50^{\circ}\text{C}$ . В области тропопаузы, начиная с температуры  $-50^{\circ}\text{C}$  и ниже, изотермы проводятся через  $5^{\circ}\text{C}$ .

Провести изотахи, начиная со скорости ветра 100 км/ч, через 40 км/ч. В очаге наибольших значений надписывается (красным цветом) максимальная скорость ветра; изотахи проводятся сплошными зелеными линиями.

Провести линию тропопаузы. На вертикальных разрезах тропопауза выделяется сплошной коричневой линией, выше которой надписывается «Тропопауза».

3. Выделить облачные слои у каждого пункта. Расслоенность облаков над пунктом выделяется по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы, т. е. по значениям дефицита температуры точки росы, нанесенным на карты барической топографии.

Верхняя и нижняя границы облачных слоев отмечаются волнистой синей линией; зона облачности закрашивается синим цветом. На уровне каждого слоя надписывается (черным цветом) латинское название облаков.

Выделить опасные явления на высотах. Для этого определить возможность возникновения на высотах над всеми пунктами обледенения и болтанки. Слой с опасными явлениями выделить волнистой сплошной красной линией, и в каждом слое символом указать вид явления.

Выделить около каждого пункта опасные явления у земли. На вертикальных разрезах определенным цветом выделяются грозы, метели, туманы, осадки и другие опасные явления, а в зоне этих явлений черным цветом надписывается значение видимости в них.

Проанализировать условия погоды по трассе. При анализе в соответствии с требованиями НМО ГА указать:

- скорость и направление ветра по маршруту;
- горизонтальную видимость и явления погоды;
- характер облачности по маршруту;
- наличие зон обледенения и турбулентности.

#### *Отчетный материал*

1. Обработанный в соответствии с методическими указаниями бланк вертикального разреза.
2. Отдельный лист с анализом условий погоды по трассе.

## **СОСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА АВИАЦИОННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ КАРТ ПОГОДЫ**

Цель работы: научиться составлять и обрабатывать авиационные прогностические карты погоды (АКП).

### **Авиационные прогностические карты погоды**

Авиационные прогностические карты погоды (АКП) используются для метеорологического обеспечения воздушных судов гражданской авиации. При продолжительности полета более 5 ч АКП выдаются экипажу наряду с другими документами, содержащими метеорологическую информацию.

Различают следующие типы карт АКП:

1) карты стандартных изобарических поверхностей для уровней 400, 300 и 200 гПа (высотные АКП);

2) карты особых явлений погоды для верхних слоев (выше уровня 400 гПа);

3) карты особых явлений погоды для нижних слоев (ниже уровня 400 гПа).

Все типы карт составляются в Главном авиаметеорологическом центре (ГАМЦ) и зональных авиаметеорологических центрах (ЗАМЦ) для закрепленных за ними районов 4 раза в сутки на периоды с 0 до 6 ч, с 6 до 12 ч, с 12 до 18 ч и с 18 до 24 ч. При этом ожидаемые метеорологические условия прогнозируются к середине срока действия карты, т. е. на 3, 9, 15 и 21 ч московского времени. Этот срок указывается в штампе карты наряду с ее наименованием, названием оперативного органа и фамилией синоптика, подготовившего карту. В штампе карты или рядом с ним приводятся сведения об используемых единицах измерения.

Прогностическая информация наносится на бланки карт масштаба 1 : 15 000 000 (для высотных АКП и АКП опасных явлений погоды выше уровня 400 гПа) и масштаба 1 : 7 500 000 (для АКП опасных явлений ниже уровня 400 гПа), передаются по фото-телеграфу на АМСГ, размножаются в необходимом количестве и вместе с текстовыми прогнозами используются для метеорологического обеспечения экипажей.

На АКП стандартных изобарических поверхностей наносятся центры барических образований и изогипсы с указанием высоты соответствующей изобарической поверхности (через 8 гп дам), направление (стрелками между изогипсами) и скорость ветра (км/ч). Для расчета поля ветра используются градиентные линейки, соответствующие широте места, на которой прогнозируется ветер, и номограммы для определения поправок на кривизну изогипс.

На картах АКП уровней 400, 300 и 200 гПа прогностические значения температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) указываются цифрами в кружках со знаком минус.

На АКП уровня 300 гПа дополнительно наносятся прогнозируемые положения осей струйных течений (жирными стрелками) с указанием максимальной скорости ветра (км/ч) и высоты струйного течения (в десятках метров).

На АКП уровня 200 гПа дополнительно проводятся изолинии отклонений температуры на изобарической поверхности от стандартной температуры ( $-56,5^{\circ}\text{C}$ ) через  $5^{\circ}\text{C}$  с выделением очагов тепла и холода. Для обеспечения полетов СТС на карты уровня 200 гПа наносится также расположение вершин кучево-дождевых облаков.

На бланк авиационной прогностической карты особых явлений погоды для верхних слоев выше уровня 400 гПа наносятся прогнозируемое положение центров циклонов, антициклонов и атмосферных фронтов. Направление их смещения указывается стрелками, у которых надписывается предполагаемая скорость смещения (км/ч). Перемещение барических центров прогнозируется по правилам синоптической метеорологии.

Внутри зон особых явлений погоды, выделяемых на картах зигзагообразной линией, указываются количество и форма облаков, с которыми связаны особые явления погоды, высота (в десятках метров) верхней (числитель) и нижней (знаменатель) границ облачности; условными обозначениями (см. приложение 14.1) указываются ожидаемые условия погоды, осложняющие выполнение полетов: гроза, град, умеренное или сильное обледенение; умеренная или сильная турбулентность в облаках; сильные шквалы, связанные с фронтальными разделами или линиями неустойчивости; выраженные горные волны и связанные с ними нисходящие потоки. При этом предполагается, что символы Сб и  $\text{K}$  отражают наличие умеренной или сильной турбулентности, умеренного или сильного обледенения и града. Надписывается (дробью) высота верхней и нижней границ слоев (в десятках метров) обледенения и атмосферной турбулентности.

Зоны турбулентности при ясном небе очерчиваются пунктирной линией, внутри зоны указывается сокращенное наименование (ТЯН), наносится соответствующее условное обозначение с указанием интенсивности турбулентности (см. приложение 14.1) и дробью отмечается высота верхней и нижней границ слоя ТЯН. При недостатке места район ТЯН может обозначаться небольшим квадратом с порядковым номером, а подробная информация о зоне ТЯН выноситься на свободное место карты. На картах особых явлений верхняя и нижняя границы выделяемых слоев указываются в десятках метров наиболее вероятными средними значениями. Если верхняя граница слоя, в котором ожидаются опасные явления, располагается выше 400 гПа, а нижняя граница —

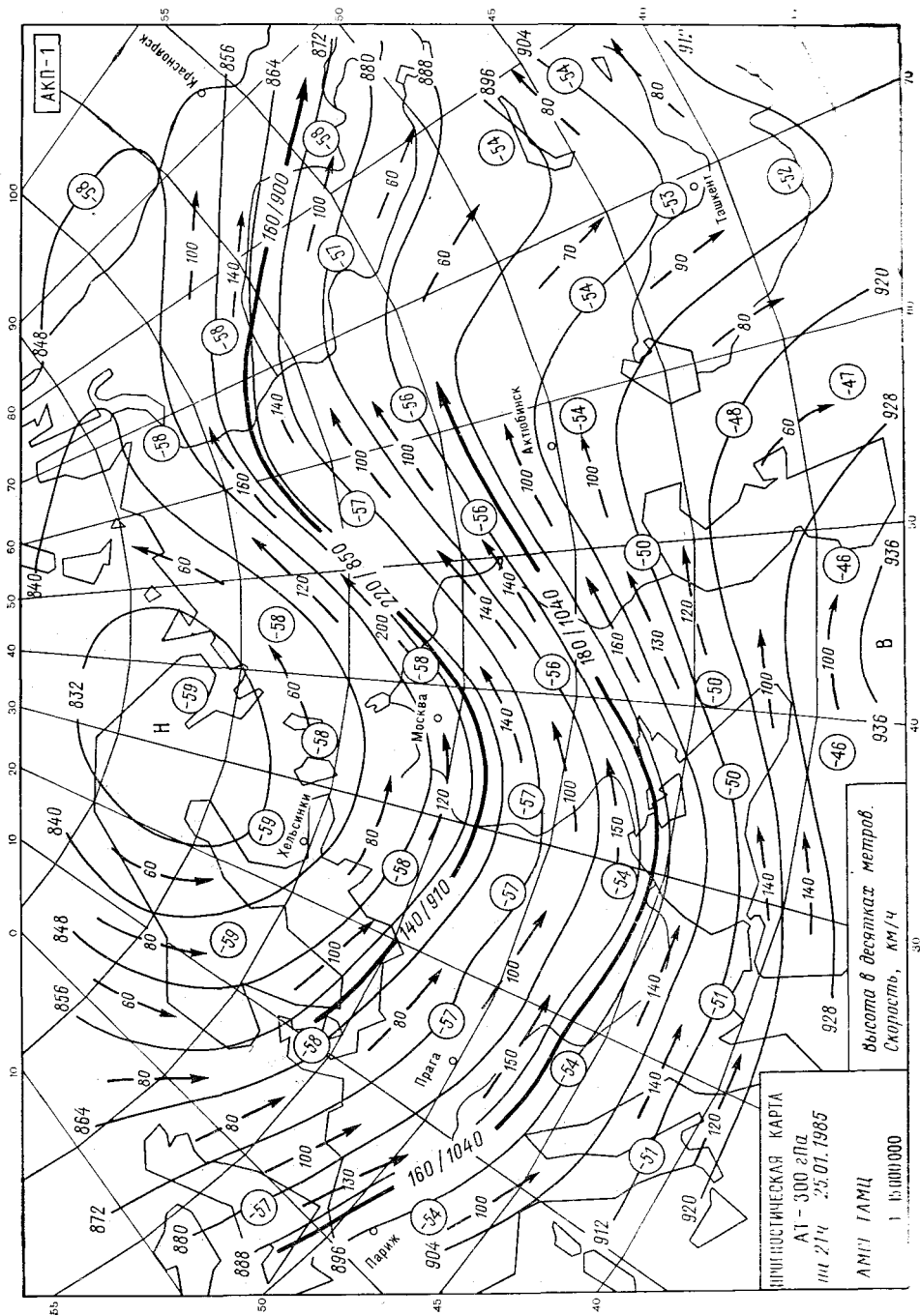


Рис. 18. Аппозиционная прогностическая карта уровня 300 гПа.

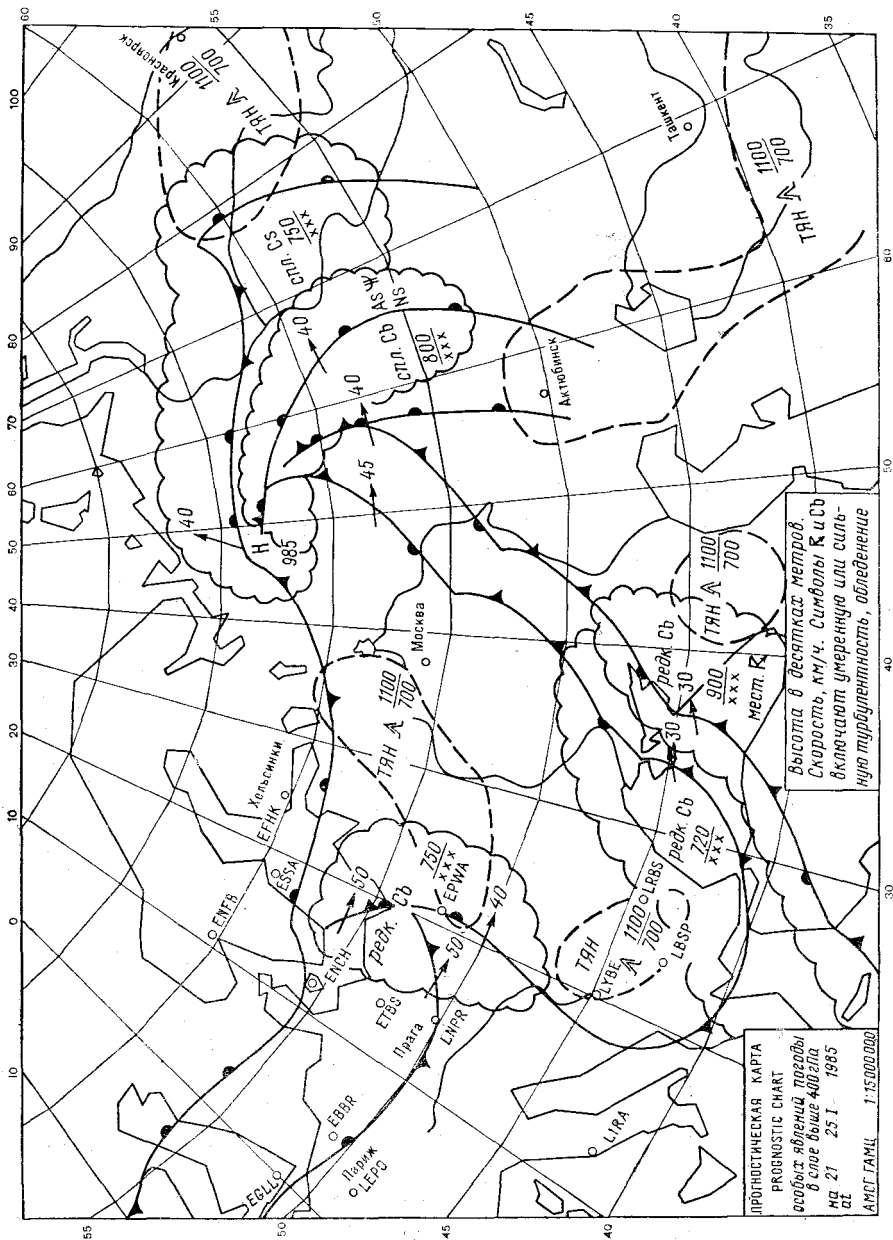


Рис. 49. Авиационная прогностическая карта особых явлений погоды.

ниже 400 гПа, то высота нижней границы заменяется обозначением ХХХ.

На картах особых явлений погоды применяются следующие сокращения:

— «мест.» (местами), если явление ожидается в отдельных районах зоны особых явлений погоды;

— «гроз. пол.» (грозовое положение), когда ожидается развитие Сб и возможно возникновение гроз;

— «вртн» (вероятность прогнозируемого опасного явления) с указанием числового значения вероятности, если оно не превышает 40%.

Карты особых явлений погоды для нижних слоев (ниже 400 гПа) оформляются аналогично, однако в выделяемых зонах особых явлений погоды дополнительно указывается информация о явлениях погоды, осложняющих полеты на средних и малых высотах: обледенение (независимо от интенсивности); туман, осадки, метель, пыльная или песчаная буря и другие явления, ухудшающие видимость до значений менее 10 км на обширных пространствах; облачность всех форм, ожидаемая в рассматриваемом слое (до уровня 400 гПа); видимость у поверхности земли при ее значениях менее 10 км и высота нулевой изотермы.

Значения видимости у поверхности земли указываются одним наиболее вероятным средним значением после условного обозначения явления, ее ухудшающего. Значения видимости до 2 км указываются в метрах, более 2 км — в километрах.

Если высота верхней границы слоя облачности или особых явлений превышает высоту уровня 400 гПа, то вместо ее числового значения указывается обозначение ХХХ.

Высота нулевой изотермы проводится (в десятках метров) над уровнем моря. Значения высот размещаются внутри прямоугольников в выборочных точках.

Авиационная прогностическая карта уровня 300 гПа и карта особых явлений погоды приведены на рис. 48 и 49.

Комплект карт АКП для метеорологического обеспечения международных полетов оформляется с использованием обозначений в виде сокращенных английских терминов (см. приложение 14.1). Порядок оформления АКП международных рейсов регламентируется соответствующими международными соглашениями и имеет свои особенности.

АКП, используемые для метеорологической консультации, обрабатываются в установленном порядке с целью выявления особенностей условий погоды, которые могут осложнить полет.

### *Контрольные вопросы*

1. Каков срок действия АКП?
2. На какие типы делятся АКП?

3. Перечислите данные, наносимые на АКП для верхних слоев.
4. Какая информация используется для подготовки карт особых явлений погоды для нижних слоев?
5. Какие сведения указываются на авиационной карте погоды изобарической поверхности 400 гПа? Чем она отличается от карты барической топографии этого уровня?
6. Перечислите, какие данные наносятся на авиационную карту погоды изобарической поверхности 300 гПа.

#### *Материалы для работы*

1. Учебный авиационный метеорологический атлас, карты барической топографии и максимального ветра.
2. Карты барической топографии и АКП, принятые по факсимильной передаче в день занятий.
3. Бланк формы АКП-1.
4. Лист кальки.

#### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — с. 346—348.
2. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА-82). — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 184 с.
3. Указания по составлению авиационных прогностических карт погоды. — М.: Гидрометеиздат, 1984. — 18 с.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Составить и обработать АКП стандартной изобарической поверхности 400, 300 или 200 гПа (задание выдается преподавателем).
2. Составить и обработать карту особых явлений погоды.
3. Пользуясь АКП заданного уровня и картой особых явлений погоды, проанализировать метеорологические условия полета по указанной преподавателем трассе.

#### *Методические указания*

1. Для составления АКП уровней 400, 300 или 200 гПа использовать соответствующую карту барической топографии из Атласа или принятую по факсимильной передаче в день занятий. На чистый бланк АКП или на лист кальки, на котором нанесены контуры океанов, морей и крупных озер и указаны крупные города, перенести с карты барической топографии поле геопотенциала (уровень указывается преподавателем); отметить

центры барических образований, фронтальные разделы и указать скорость и направление их смещения.

На участках карты с шагом по широте не более  $5^\circ$ , а по долготе — не более  $20^\circ$  надписать (в кружках) осредненные значения температуры воздуха.

Стрелками между изогипсами указать направление ветра; в разрыве стрелки надписать значение скорости ветра в км/ч (с точностью до десятков).

На АКП уровня 300 гПа выделить жирной линией ось струйного течения и стрелкой указать направление ветра на оси; в разрыве стрелки надписать скорость ветра в км/ч (числитель) и высоту оси струйного течения в дам (знаменатель). Для определения характеристик струйного течения использовать карту максимального ветра за тот же срок.

На АКП уровня 200 гПа провести (пунктиром) изолинии отклонений температуры воздуха от стандартных значений (через  $5^\circ\text{C}$ ).

Обработать карту АКП:

- акватории морей и океанов закрасить синим цветом;
- красным треугольником отметить пункт вылета;
- на АКП уровня 300 гПа красным цветом выделить ось струйного течения с указанием скорости ветра и высоты оси струи;
- на АКП уровня 200 гПа закрасить области положительных отклонений температуры от стандартных значений красным цветом, а отрицательных отклонений — синим цветом.

2. Для составления карты особых явлений погоды для верхних слоев выше уровня 400 гПа на чистый бланк карты нанести положение барических центров с указанием давления. Стрелкой показать ожидаемое направление перемещения барического центра, около конца которой проставить прогностическую скорость перемещения в км/ч (с точностью до 5 км/ч).

Провести атмосферные фронты; указать (стрелкой) направление и скорость их возможного смещения, как это сделано для центров барических образований.

Волнистой (зигзагообразной) линией выделить зоны особых явлений погоды. Внутри каждой зоны указать количество, форму облачности, высоту верхней (числитель) и нижней (знаменатель) границ облачности в десятках метров; условными обозначениями (см. приложение 14.1) нанести на карту ожидаемые условия погоды, осложняющие полеты; высоту верхней и нижней границ зон умеренной или сильной турбулентности и умеренного или сильного обледенения самолетов указать дробью в десятках метров.

Зоны турбулентности при ясном небе очертить пунктиром. Внутри зоны надписать сокращенное наименование (ТЯН), указать знак атмосферной турбулентности прогнозируемой интенсивности и отметить верхнюю и нижнюю границы зоны ТЯН дробью в десятках метров.



Если явление ожидается в отдельных районах зоны, то использовать сокращение «мест.»; вероятность прогнозируемого опасного явления указать сокращением «вртн» и цифрами — ее числовое значение.

Обработать карту особых явлений погоды для верхних слоев:

- акватории морей и океанов закрасить синим цветом;
- красным треугольником отметить пункт вылета;
- фронты провести соответствующим цветом, согласно обозначениям на синоптических картах;
- условные обозначения осадков и метели выделить зеленым цветом, грозы, града, пыльной бури, обледенения и турбулентности — красным цветом.

#### *Отчетный материал*


1. Составленная и обработанная карта АКП стандартной изобарической поверхности.
2. Составленная и обработанная карта особых явлений погоды для верхних слоев (выше 400 гПа).
3. Анализ метеорологических условий полета по трассе (в рабочей тетради).

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА АВИАЦИОННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ КАРТАХ (ФОРМА АКП)

### Основные условия обозначения

 1010

Изобара с указанием давления (гПа)

 880

Изогипса (на высотной карте) с указанием высоты (дам)

 30

Направление и скорость перемещения барических центров и фронтов (км/ч)



Теплый фронт



Холодный фронт




Фронт окклюзии



Вторичный холодный фронт



Верхний теплый фронт



Стационарный фронт

$B_{1035}$

Центр области высокого давления с указанием значения давления (гПа) в центре

$H_{995}$

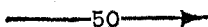
Центр области низкого давления с указанием значения давления (гПа) в центре

СПЛ  $N_s, A_s$   $\frac{XXX}{20}$

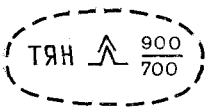
Количество и форма облачности, высота  $\frac{\text{верхней}}{\text{нижней}}$  границы облаков в десятках метров (дам)



Области с однородной погодой (очерчиваются сплошными волнистыми линиями)



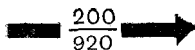
Направление и скорость (км/ч) воздушного потока на высоте



Зоны турбулентности ясного неба с указанием  $\frac{\text{верхней}}{\text{нижней}}$  границы слоя (дам)



Температура воздуха (°C) на уровне изобарической поверхности






Ось струйного течения  $\frac{\text{скорость (км/ч)}}{\text{высота (дам)}}$

▽ ВИД 7км

Видимость

*Условные обозначения особых явлений погоды*

	Горные волны		Туман
	Снег с дождем		Мгла
	Гололед		Песчаная или пыльная буря
	Снег		Слабое обледенение
	Дождь		Умеренное обледенение
	Ливневый дождь		Сильное обледенение
	Морось		Умеренная турбулентность
	Град		Сильная турбулентность
	Гроза		Турбулентность при ясном небе
	Дымка		Линия шквала

*Сокращенные наименования облаков*

St — слоистая	Ac — высоко-кучевая
Ns — слоисто-дождевая	As — высоко-слоистая
Cu — кучевая	Ci — перистая
Sc — слоисто-кучевая	Cs — перисто-слоистая
Cb — кучево-дождевая	Cc — перисто-кучевая

*Сокращенные обозначения количества облаков (в скобках указаны сокращения, используемые при обеспечении международных рейсов)*

а) для всех форм, кроме Сб:  
 ЯСНО (С) — ясно (0 баллов);  
 РЗБ (SCT) — разбросанные (1—5 баллов);  
 ЗНЧ (BKN) — значительные (6—9 баллов);  
 СПЛ (OVC) — сплошная (10 баллов);

б) только для Сб:  
 ИЗОЛ (ISOL) — отдельные Сб;  
 РЕДК (OCNL) — достаточно разделенные Сб;  
 ЧАСТ (FRG) — Сб с небольшим разделением или без разделения.

К любому из этих трех может добавляться сокращение МАСК (EMBD) — маскированные для грозовых Сб, содержащихся в слоях других облаков, например, слоисто-дождевых.

*Сокращения, применяемые при метеорологическом обеспечении международных рейсов*

L — центр низкого давления	BRK — с просветами
H — центр высокого давления	INTER — кратковременное изменение
FRG — частый	GRADU — постепенно
OCC — изредка	TEMPO — временами
LYR — слоистый	LOC — местами
FL — уровень полета, эшелон	PROB — вероятность
RISK — грозное положение	CAT — ТЯН

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы: выполнить весь комплекс работ, необходимых при метеорологическом обеспечении полетов.

### Сущность и принципы комплексного анализа атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов

Сущность комплексного анализа атмосферных процессов заключается в изучении состояния атмосферы в заданном районе с помощью карт погоды и других материалов. При комплексном анализе определяется расположение, смещение, свойства и эволюция воздушных масс, атмосферных фронтов, барических систем и условий погоды. Устанавливаются закономерности, которые были и существуют в развитии синоптических процессов и делаются выводы о предполагаемом их развитии.

Цель комплексного анализа — исходя из прошлого и настоящего в развитии синоптических процессов определить будущее, т. е. дать прогноз. Следовательно, комплексный анализ атмосферных процессов предшествует прогнозу и является его основой.

Основные принципы комплексного анализа: сопоставление (сравнение), показательность (репрезентативность), физическая логика, историческая последовательность и трехмерность.

Только грамотное использование всех принципов комплексного анализа позволяет успешно разработать авиационные прогнозы погоды и обеспечить летный состав и работников службы движения данными об ожидаемой погоде. В целях обеспечения полетов синоптики АМСГ (АМЦ) разрабатывают следующие основные виды авиационных прогнозов погоды: суточный прогноз, оперативный прогноз по аэродрому, прогноз погоды по маршруту и др.

Суточный прогноз погоды предназначен для планирования летной работы на следующие сутки. Он составляется по местному времени с 18 ч до 18 ч следующих суток и состоит из двух частей: прогноза на ночь (с 18 до 6 ч) и прогноза на день (с 6 до 18 ч).

В суточный прогноз погоды включаются следующие прогностические величины: направление и скорость ветра у земли, видимость у земли, явления погоды, количество, форма и высота нижней границы облаков и температура воздуха (в прогнозе на ночь — минимальная, в прогнозе на день — максимальная).

Оперативные прогнозы погоды предназначены для обеспечения взлета, посадки и передачи по каналам связи в соседние аэропорты. Эти прогнозы составляются на срок 6, 9 или 12 ч с интервалом 3 ч или на срок 18, 24 ч с интервалом 6 ч. В оперативные прогнозы погоды включается следующая информация: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли,

явления погоды, облачность (количество, форма, высота нижней границы), температура воздуха у земли (если она выше  $25^{\circ}\text{C}$ , ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  или ожидается за срок прогноза переход температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ ), обледенение и болтанка (верхняя и нижняя границы слоя и интенсивность явления), высота верхней границы облаков (только для облачности нижнего яруса и вертикального развития), закрытие естественных и искусственных препятствий облаками и направление и скорость ветра на высоте круга.

Маршрутные прогнозы разрабатываются для обеспечения полетов по маршрутам. Срок действия этих прогнозов должен превышать расчетное время полетов на 30 мин. При полетах по трассе в маршрутные прогнозы погоды включается следующее: явления погоды (если ожидается гроза или град), количество и форма облаков (если ожидается кучево-дождевая или мощная кучевая облачность), отклонение температуры воздуха от стандартных значений (если оно больше  $5^{\circ}\text{C}$ ), данные о прогнозе обледенения и болтанки, высоты верхней границы облачности (только нижнего яруса и вертикального развития), направления и скорости ветра на эшелоне полета, а также данные о прогнозе струйных течений.

Все авиационные прогнозы погоды должны быть разработаны за час до начала срока их действия, а метеорологические величины в них указываются в соответствии с требованиями НМО ГА.

Помимо прогнозов погоды специалистам диспетчерской службы и экипажам воздушных судов на АМСГ (АМЦ) дается устная консультация, которая включает в себя данные о фактической погоде аэродромов вылета, посадки и запасных аэродромов, прогноз синоптического положения, маршрутный прогноз погоды (или прогноз погоды по району), а также данные бортовой погоды.

Такую устную консультацию должен получить каждый экипаж, каждый диспетчер.

#### *Контрольные вопросы*

1. В чем заключается сущность комплексного анализа атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов?
2. На какие сроки разрабатываются прогнозы погоды на АМСГ?
3. Какой порядок изложения авиационных прогнозов погоды?
4. Каковы последовательность изложения и содержание устной консультации экипажа?
5. Какую информацию сообщает синоптик АМСГ дежурной смене РЦ ЕС УВД?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа.
2. Бланки АВ-5 и АВ-11.
3. Код АПП.
4. Миллиметровая бумага или бланки вертикальных разрезов.

### *Рекомендуемая литература*

1. Баранов А. М., Солонин С. В. Авиационная метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. с. 338—356.
2. Богаткин О. Г., Еникеева В. Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. — Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 8—37.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА-82). — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 184 с.
4. Учебный авиационный метеорологический атлас.

### *Порядок выполнения работы*

1. Оценить синоптическую обстановку по маршруту полета и дать ее прогноз.
2. Разработать суточный прогноз по аэродрому вылета.
3. Разработать прогноз погоды по аэродромам вылета и посадки, маршруту полета, а также по запасному аэродрому.
4. Подготовить устную консультацию о погоде по маршруту полета для экипажа.
5. Построить вертикальный разрез по маршруту полета.
6. Заполнить бланки АВ-5 и АВ-11.

### *Методические указания*

1. Для выполнения работы использовать трассу, а также заданную скорость полета (число М), указанные преподавателем. Оценку синоптической обстановки по трассе провести по картам погоды из Учебного авиационного атласа. При этом обратить внимание на барические образования, через которые проходит маршрут полета, оценить стадию их развития, направление и скорость перемещения, а также эволюцию.

Прогноз синоптической обстановки разрабатывать исходя из предположения, что вылет по маршруту состоится через 1 ч после срока составления карты. Для прогноза синоптической обстановки использовать традиционные методы синоптической метеорологии, сообразуясь с возможностями аэросиноптического материала.



При разработке прогноза синоптического положения (и других прогнозов) учесть, что срок прогноза должен превышать время полета по трассе не менее чем на 30 мин.

2. Разработку суточного прогноза проводить с учетом требований НМО ГА-82.

3. Разработку прогнозов погоды по аэродромам и по маршрутам проводить с учетом требований НМО ГА-82. После разработки прогнозы погоды закодировать кодом АПП.

Запасной аэродром выбрать самостоятельно на удалении 300—500 км от указанного аэродрома посадки.

4. При подготовке консультации использовать прогнозы погоды, разработанные по трассе (см. п. 3). В качестве фактической погоды аэродромов условно использовать данные о погоде, нанесенные на синоптическую карту.

Консультацию подготовить в соответствии с требованиями НМО ГА-82 и записать ее текст на отдельном листе.

5. Вертикальный разрез по маршруту полета построить для своей трассы. Требования к построению вертикального разреза изложены в лабораторной работе 13.

6. Все разработанные прогнозы погоды записать на бланк АВ-5 (АВ-11).

#### *Отчетный материал*

1. Разработанный суточный прогноз для аэродрома вылета, записанный на отдельном листе.

2. Разработанные и записанные на бланк АВ-5 (АВ-11) прогнозы погоды для аэродромов вылета, посадки и запасного аэродрома.

3. Телеграммы прогнозов погоды для аэродромов вылета, посадки и запасного аэродрома, закодированные кодом АПП.

4. Текст прогноза погоды по маршруту, записанный на отдельном листе.

5. Текст консультации о погоде, записанный на отдельном листе.

6. Вертикальный разрез по маршруту полета, построенный на бланке или на листе миллиметровой бумаги.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авиационные прогностические карты погоды (АКП)  
    обработка АКП 165—169  
    типы АКП 165
- Аэродинамические характеристики воздушных судов  
    коэффициент лобового сопротивления 5  
    коэффициент подъемной силы 5  
    подъемная сила 4, 6, 7  
    полная аэродинамическая сила 4, 5
- Аэродинамическое качество 6
- Аэрологическая диаграмма 26, 27  
    построение 28, 29  
    выделение облачных слоев 31—33  
    выделение фронтальной зоны 30, 32, 33  
    определение возможности возникновения гроз 36  
    определение зон возможного обледенения 32  
    определение конденсационных облачных следов за самолетом 32, 34  
    определение максимальной скорости ветра при грозах 36—38  
    определение максимальной температуры воздуха 34, 35  
    определение относительной влажности 35, 36  
    определение температуры туманообразования 37  
    определение толщины КНС 36, 37  
    определение уровня конвекции 29, 34  
    определение уровня конденсации 29
- Аэрологические коды  
    для передачи результатов наблюдений за ветром (КН-03) 144  
    для передачи результатов температурно-ветрового зондирования атмосферы (КН-04) 144
- Атмосферная турбулентность  
    динамическая 74  
    механическая 74  
    термическая 74  
    ТЯН 74, 75
- Барометрическая ступень 51
- Барометрическая формула 50  
Болтанка самолетов 73
- Вертикальный разрез атмосферы  
    временной 162, 163  
    пространственный 162, 163  
    пространственно-временной 162, 163
- Длина пробега самолета 55  
Длина разбега самолета 55
- Комплексный анализ атмосферных процессов 176—179
- Критические значения параметров конвекции 113
- Международные метеорологические авиационные коды  
    для передачи данных о погоде на аэродроме (METAR) 147, 148  
    для передачи прогноза погоды по аэродрому (TAF) 149, 150
- Метеорологические авиационные коды для передачи прогноза погоды по аэродрому (АПП) 146, 147  
    для передачи фактической погоды по аэродрому (ФАП) 144, 145
- Метеорологическое обеспечение полетов 139—141
- Навигационный треугольник скоростей 58
- Облачность 82  
Обледенение 126
- Опасные явления, обусловленные конвекцией,  
    град 111  
    грозы 111  
    сильные ливни 111  
    шквалы 111
- Основные уравнения движения воздуха  
    уравнение неразрывности 16  
    уравнение состояния газа 15, 17  
    уравнение сохранения энергии 17
- Полет самолета  
    дальность 41, 42

- продолжительность 41, 42  
 радиус действия 41, 42  
 Поляра крыла 5, 6  
 Потолок самолета  
   практический 51  
   теоретический 11  
 Прогноз болтанки самолетов  
   графическим методом О. Г. Богаткина 75, 76  
   методом комплекса критериев 77  
   по методу Н. И. Давыдова 79—81  
 Прогноз низкой облачности  
   по методу Е. И. Гоголевой 87, 88  
   по методу А. К. Лугченко 85—87  
   по методу М. В. Рубинштейна 89, 90  
 Прогноз обледенения самолетов  
   по методу К. Г. Абрамович, И. А. Горлач 126, 127, 129  
   по методу О. Г. Богаткина 130, 131  
   по методу Годске 128  
 Прогноз гроз  
   по методу Н. В. Лебедевой 112  
   по методу Г. Д. Решетова 114, 115, 122  
   по методу Уайтинга 118  
   по методу Фауста 118  
 Прогноз струйных течений  
   по методу Э. С. Ильиной 65, 66  
   по методу Н. В. Петренко 65  
   по методу Е. Рейтера 63, 64  
 Прогноз туманов  
   методом экстраполяции 100  
   по методу А. С. Зверева 104  
   по методу Б. В. Кирюхина 102  
   по методу Л. А. Ключниковой 105  
   по методу Н. В. Петренко 100, 101  
 Расход топлива  
   километровый 42—44  
   часовой 42—44  
   удельный 43  
 Сдвиг ветра 55—57  
 Скороподъемность 52  
 Скорость ветра 57  
 Скорость полета  
   воздушная 57  
   путевая 57  
 Стандартная атмосфера 17  
 Строение атмосферы  
   ионосфера 13  
   мезосфера 13  
   стратосфера 13  
   тропопауза 13  
   тропосфера 13  
   экзосфера 13  
 Струйное течение 63  
 Гуманы  
   адвективные 98  
   внутримассовые 96  
   испарения 97  
   охлаждения 97  
   радиационные 97  
   смешения 97  
   фронтальные 97  
 Тяга двигателя  
   потребная 9—11  
   располагаемая 9—11  
   избыток тяги 10, 11  
 Угол атаки 5, 9  
 Характеристики атмосферы  
   вязкость 15  
   давление 14  
   коэффициент динамической вязкости 15  
   коэффициент кинематической вязкости 15  
   массовая плотность 15  
   относительная плотность 15  
   плотность 14  
   сжимаемость 15  
   температура 14  
   число Маха 16  
 Хорда крыла 5  
 Этапы полета самолета и вертолета  
   горизонтальный полет 8, 9  
   набор высоты 10, 11  
   планирование 11, 12  
   посадка 12  
   снижение 11

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>I. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНОГО СУДНА</b>	<b>4</b>
Лабораторная работа 1 Анализ отклонений параметров атмосферы от стандартных значений . . . . .	13
Лабораторная работа 2 Использование аэрологической диаграммы для анализа условий погоды . . . . .	26
Лабораторная работа 3 Анализ влияния температуры на продолжительность полета по трассе и расход топлива . . . . .	42
Лабораторная работа 4 Определение потолка самолета . . . . .	50
Лабораторная работа 5 Оценка влияния ветра на полет воздушного судна . . . . .	55
Лабораторная работа 6 Диагноз и прогноз струйных течений . . . . .	63
Лабораторная работа 7 Диагноз и прогноз атмосферной турбулентности, вызывающий болтанку самолетов . . . . .	71
Лабораторная работа 8 Диагноз и прогноз облачности . . . . .	82
Лабораторная работа 9 Диагноз и прогноз туманов . . . . .	95
Лабораторная работа 10 Прогноз опасных для авиации атмосферных явлений, обусловленных конвекцией . . . . .	111
Лабораторная работа 11 Диагноз и прогноз обледенения . . . . .	126
<b>II. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ</b>	<b>139</b>
Лабораторная работа 12 Использование метеорологических авиационных кодов при обмене метеорологической информацией . . . . .	144
Лабораторная работа 13 Составление вертикального разреза атмосферы . . . . .	152
Лабораторная работа 14 Составление и обработка авиационных прогностических карт погоды . . . . .	165
Лабораторная работа 15 Комплексный анализ атмосферных процессов . . . . .	176
Предметный указатель . . . . .	181