

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

А.Л. Рыбалкина

**ФИЗИКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ
ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ**

ПОСОБИЕ
по выполнению практических работ

*для студентов III курса направления 20.03.01
и IV курса направления 25.03.01
очной формы обучения*

Москва-2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кафедра безопасности полетов и жизнедеятельности

А.Л. Рыбалкина

ФИЗИКА НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

ПОСОБИЕ

по выполнению практических работ

для студентов III курса направления 20.03.01

и IV курса направления 25.03.01

очной формы обучения

Москва - 2016

ББК 053-082.03

Р 93

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н.А. Гриценко

Рыбалкина А.Л.

Р 93 Физика неблагоприятных внешних условий: Пособие по выполнению практических работ – М.: МГТУ ГА, 2016. – 20 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Физика неблагоприятных внешних условий» для студентов III курса направления 20.03.01 и IV курса направления 25.03.01 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 25.02.15 г. и методического совета 25.02.15 г.

Подписано в печать 05.04.2016 г.

Печать офсетная
1,16 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 54

0,87 уч.-изд. л.
Тираж 60 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Редакционно-издательские услуги ООО «Имидж-студия Арина»

127051 Москва, М. Сухаревская пл., д. 2/4 стр.1

Практическое занятие №1

Построение кривой температурной стратификации

Величина, характеризующая вертикальные изменения температуры воздуха, называется вертикальным температурным градиентом γ , °С на 100 м высоты. Величина вертикального температурного градиента не постоянна и зависит от характера воздушной массы, времени суток, года и других причин.

При понижении температуры с высотой $\gamma > 0$, при увеличении $\gamma < 0$ (инверсия). При постоянной температуре $\gamma = 0$, а слой носит название изотермии. В стандартной атмосфере вертикальный температурный градиент равен $0,65^\circ / 100 \text{ м}$ (рис. 1).

При помощи вертикального температурного градиента можно рассчитать температуру на любой высоте по формуле:

$$T_{H_i} = T_{H_{(i-1)}} - \frac{\gamma \cdot (H_i - H_{i-1})}{100}, \quad (1)$$

где T_H - температура на высоте H , °С;

γ - вертикальный температурный градиент, °С / 100 м;

H - высота, для которой рассчитывается температура, м.

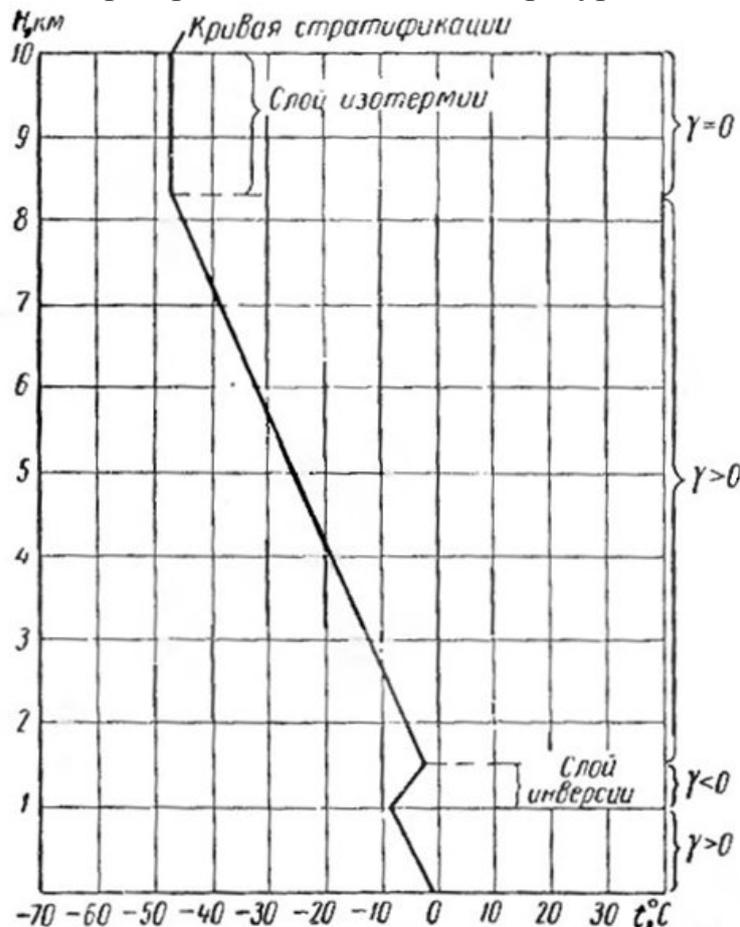


Рис. 1. График распределения температуры по высотам (кривая стратификации)

Задача 1. У поверхности земли (H_0) температура воздуха составляет t_1 . От земной поверхности до высоты H_1 наблюдается понижение температуры с высотой. От высоты H_1 до H_2 и от H_2 до H_3 температура изменяется согласно

варианту. От высоты H_3 до 10 км вертикальный температурный градиент равен $0,65^\circ / 100$ м. Построить график температурной стратификации (от 0 до 10 км) и найти температуру на высотах H_4 и H_5 . Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вариант	$t_1, ^\circ\text{C}$	Вертикальный температурный градиент от H_0 до H_1	Вертикальный температурный градиент от H_1 до H_2	Вертикальный температурный градиент от H_2 до H_3	H_1 , км	H_2 , км	H_3 , км	H_4 , км	H_5 , км
1	30	1	инверсия -0,7	0,8	2,5	3	6	1	4
2	25	0,65	изотермия	0,9	3	3,5	6	2	5
3	20	0,7	0,75	инверсия -0,4	3,5	7	7,5	3	6
4	15	0,95	0,8	изотермия	4	6	8	4	7
5	10	1,1	инверсия -0,8	0,85	1	2	5	5	8
6	5	0,7	изотермия	0,9	1,5	4	5	6	9
7	0	0,55	0,95	инверсия -0,5	2,5	5	6	7	1
8	-5	0,65	0,55	изотермия	3	7	8	8	2
9	-10	0,3	инверсия -0,7	0,5	3,5	4	8	9	3
10	-15	0,5	0	0,3	4	4,5	9	1	4
11	30	0,75	1	инверсия -0,2	1	7	8	2	5
12	25	1	0,8	изотермия	1,5	8	8,5	3	6
13	20	0,65	инверсия -1	0,85	2,5	3	7	4	7
14	15	0,7	0	0,9	3	4	5	5	8
15	10	0,65	0,95	инверсия -0,5	3,5	5	6	6	9
16	5	0,6	0,9	изотермия	4	7	9	7	1
17	0	0,7	инверсия -0,3	0,65	1	3	4	8	2
18	-5	0,65	изотермия	0,7	1,5	4	5	9	3
19	-10	0,5	0,3	инверсия -0,1	2,5	6,5	7	1	4
20	-15	0,6	0,4	изотермия	3	6	8	2	5

Практическое занятие №2

Сдвиг ветра

Сдвиг ветра – это изменение скорости и/или направления ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие потоки воздуха.

Поскольку воздушное судно обычно приземляется и взлетает против ветра, выбрав взлетно-посадочную полосу (ВПП) с подходящим направлением, встречная/попутная или продольная составляющая ветра в подавляющем большинстве случаев преобладает над боковой или поперечной составляющей. Существуют также особые случаи, когда преобладает вертикальная

составляющая. Это случается при наличии конвективных облаков (особенно при грозах), горных волнах и восходящих потоках теплого воздуха.

Сдвиг ветра, представляющий собой изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, выражается разностью между векторами ветра в двух точках, которая сама является вектором (обладает скоростью и направлением). Интенсивность сдвига рассчитывается путем деления величины разности между векторами в двух точках на расстояние между ними с использованием одних и тех же единиц измерения. Интенсивность сдвига ветра принято выражать в метрах в секунду на 30 м.

Расчет сдвига ветра

Расчет сдвига ветра может быть проведен несколькими способами:

1. Графически с использованием треугольника скоростей или путем вычитания составляющих двух векторов ветра вручную. Простейший графический способ заключается в нанесении векторов ветра на полярную диаграмму. Значение сдвига ветра определяется измерением величины (скорости) и направления, используя линейку и транспортир.

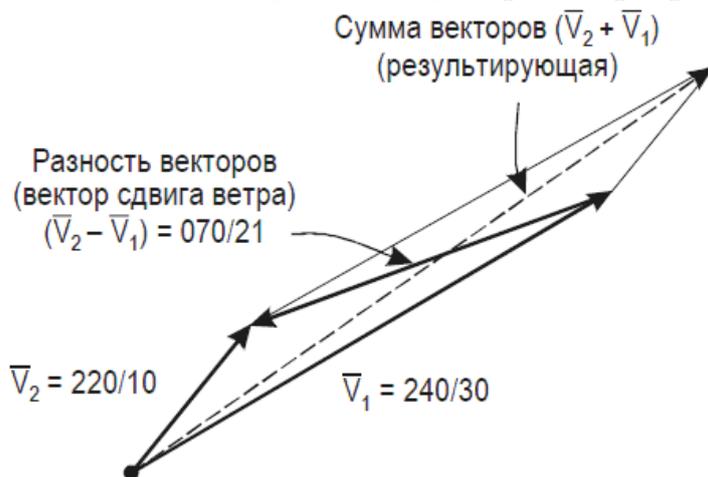


Рис.2. Расчет сдвига ветра графическим методом

Рассмотрим, например, ветер $\bar{V}_1 = 240^\circ/30$ м/с на высоте 300 м над уровнем земли, изменяющийся на $\bar{V}_2 = 220^\circ/10$ м/с на высоте 150 м (рис. 2). Вектор сдвига ветра вычисляется графически путем вычитания двух векторов ветра ($\bar{V}_2 - \bar{V}_1$). Разность векторов может действовать в одном из двух противоположных направлений (с одной и той же скоростью) в зависимости от того, какой из векторов вычитается.

2. Путем вычисления по составляющим. На практике обычно заранее рассчитываются таблицы, где величина сдвига ветра определяется путем ввода двух скоростей ветра и угла между ними, и эти параметры представляются в виде составляющих вдоль направлений ВПП.

3. Путем вычислений с помощью тригонометрических методов (рис. 3).

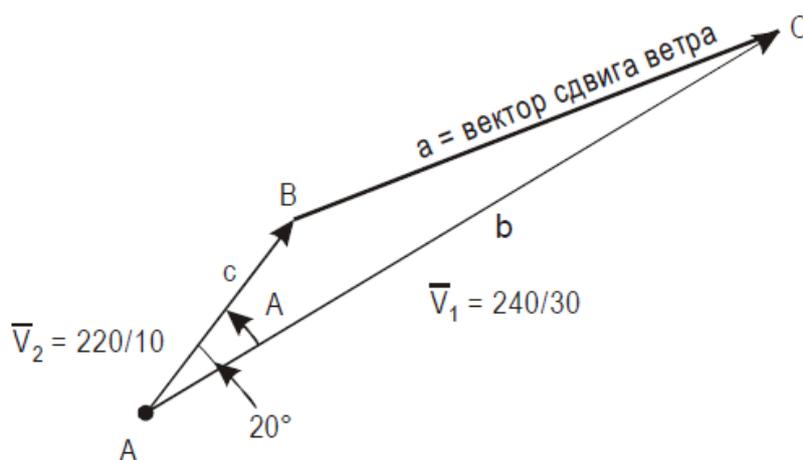


Рис.3. Расчет сдвига ветра графическим способом

В данном случае две стороны треугольника известны и образуют угол.

Сторона $b = 30$, сторона $c = 10$ и угол, заключенный между направлениями векторов \bar{V}_1 и \bar{V}_2 :

$$A = 240^\circ - 220^\circ = 20^\circ. \quad (2)$$

Согласно основам тригонометрии, в таком треугольнике

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A, \quad (3)$$

где a - величина разности векторов (сдвиг),
скорость сдвига

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A} = \sqrt{900 + 100 - 600 \cdot 0,9397} \approx 21 \text{ м/с} \quad (4)$$

Теперь известны три стороны треугольника ($a = 21$, $b = 30$ и $c = 10$).

Направление вектора сдвига может быть найдено следующим образом:

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B. \quad (5)$$

$$B = \arccos\left(\frac{a^2 - b^2 + c^2}{2ac}\right) = \arccos\left(\frac{-363}{418}\right) = \arccos(-0,8684) = 150^\circ \quad (6)$$

$$C = 180^\circ - 150^\circ - 20^\circ = 10^\circ \quad (7)$$

Направление вектора сдвига ветра = $(10^\circ + (90^\circ - (270^\circ - 240^\circ))) = 70^\circ$.

Описанные выше методы расчета сдвига ветра, могут применяться лишь в том случае, если имеется информация о ветре в двух точках пространства, полученная, например, из донесения с борта снижающегося воздушного судна, из данных радиозонда или от двух разнесенных анемометров, установленных на разной высоте на мачтах или вдоль ВПП. Это в значительной мере ограничивает практическое использование таких методов, так как информация о ветре в требуемых конкретных точках обычно не может быть получена. С эксплуатационной точки зрения существуют еще два ограничения, которые следует иметь в виду. Расчет сдвига ветра по двум значениям ветра в точках, разделенных конкретным расстоянием, дает лишь обобщенное представление о сдвиге между двумя точками. Нет информации о том, является ли интенсивность сдвига линейной, или, если она нелинейна, то является ли она, по крайней мере, постепенной между этими точками, или же большая часть сдвига приходится на короткий участок где-то между точками. Следовательно,

такой метод не всегда дает информацию о максимальной интенсивности сдвига, которая требуется пилоту.

Задача 2. Найти вектор сдвига ветра: его величину и направление, если ветер изменяется от \bar{V}_1 на высоте 300 м до \bar{V}_2 на высоте 150 м, используя тригонометрический метод. Исходные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Направление и скорость ветра $V_1, \text{°/ м/с}$	180/ 10	200/ 15	210/ 20	230/ 15	220/ 5	260/ 10	260/ 15	235/ 15	190/ 25	190/ 10
Направление и скорость ветра $V_2, \text{°/ м/с}$	150/ 30	170/ 10	200/ 15	210/ 5	200/ 10	215/ 15	230/ 5	190/ 10	160/ 15	170/ 5

Влияние продольного сдвига ветра при посадке на летные характеристики воздушных судов

Силы, действующие на воздушное судно (ВС) в полете показаны на рис. 4. Это тяга P , обеспечиваемая двигателями, вес воздушного судна G , подъемная сила Y , обеспечиваемая главным образом плоскостями крыла, и лобовое сопротивление X . Такие показатели несколько упрощены; например, предполагается, что сила тяги действует в точном соответствии с направлением траектории полета.

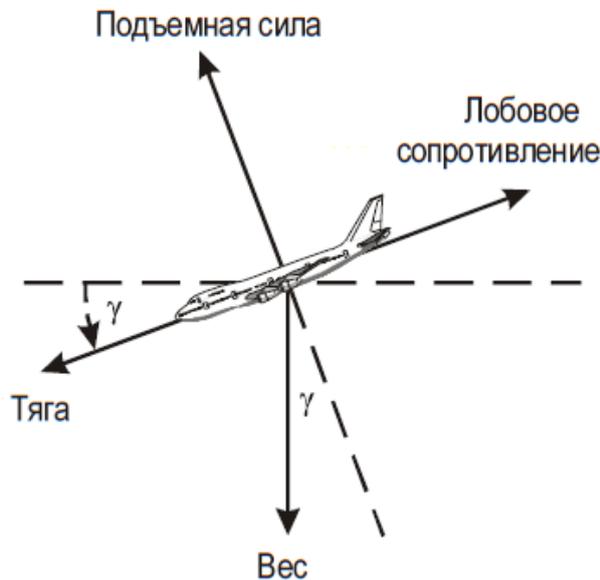


Рис. 4. Силы, действующие на ВС при отсутствии сдвига ветра

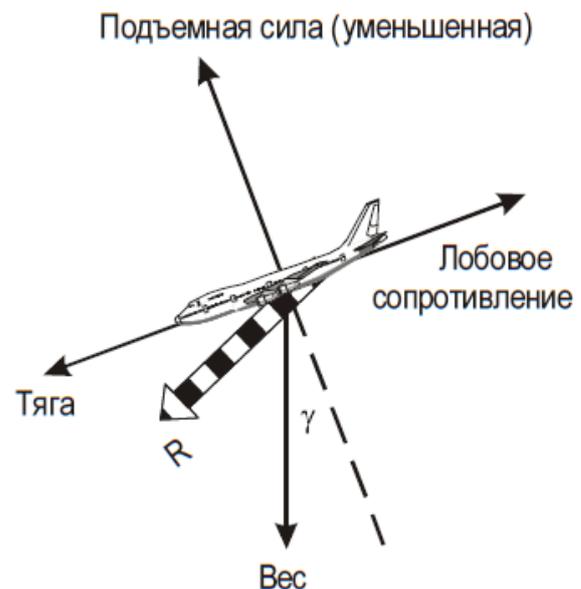


Рис. 5. Силы, действующие на ВС при наличии сдвига ветра

$$\text{Подъемная сила } Y = C_y \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (8)$$

где C_y — коэффициент подъемной силы,
 S - площадь крыла,

ρ - плотность воздуха,
 V - воздушная скорость самолета.

$$\text{Лобовое сопротивление } X = C_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (9)$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления.

$$\text{Вес } G = m \cdot g, \quad (10)$$

где m – масса ВС,

g – ускорение свободного падения.

Когда силы, действующие на воздушное судно, взаимно уравновешены, в устойчивом полете без ускорения результирующая сила отсутствует, и, следовательно, сумма всех сил, направленных вверх перпендикулярно направлению полета, должна быть равной сумме всех сил, направленных вниз перпендикулярно направлению полета. Подобным же образом сумма всех сил, действующих в направлении полета, должна быть равна сумме всех сил, действующих в противоположном направлении. Таким образом:

$$\begin{aligned} P + G \cdot \sin \gamma - X &= 0, \\ Y - G \cdot \cos \gamma &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где γ - угол снижения.

Воздушное судно в этом случае находится в уравновешенном состоянии и, согласно первому закону Ньютона, будет сохранять это состояние при наборе высоты, снижении или горизонтальном полете, до тех пор, пока равновесие сил не будет нарушено.

В условиях устойчивого ветра или в условиях постепенного изменения горизонтального ветра он не оказывает влияния на воздушную скорость, и путевая скорость может быть найдена по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Путевая скорость (GS)} &= \text{воздушная скорость (TAS)} \pm \\ &\pm \text{ скорость ветра вдоль линии пути (WIND)} \end{aligned} \quad (12)$$

Однако в условиях сдвига ветра горизонтальный ветер, неустойчив и меняется не постепенно, а может изменяться резко на сравнительно коротком отрезке пути. Если воздушное судно попадает в такие условия быстро меняющегося встречного/попутного ветра, то вследствие действия силы инерции оно не может мгновенно ускорить или замедлить движение для восстановления исходной воздушной скорости, и в течение короткого, но определенного периода времени воздушная скорость меняется соответственно с изменением ветра. Такое "кратковременное" изменение воздушной скорости приводит к изменению подъемной силы и лобового сопротивления и нарушает равновесие сил, действующих на воздушное судно. Примером постепенного изменения ветра может служить следующая ситуация:

путевая скорость 70 м/с в штилевых условиях:

$$70 \text{ м/с (GS)} = 70 \text{ м/с (TAS)} - 0 \text{ (WIND)};$$

при постепенном усилении встречного ветра до 10 м/с:

$$60 \text{ м/с (GS)} = 70 \text{ м/с (TAS)} - 10 \text{ м/с (WIND)}.$$

Путевая скорость постоянно реагирует на изменяющийся режим ветра, а на воздушную скорость никакого воздействия нет. Однако из нижеследующего

примера, иллюстрирующего последовательность событий при попадании в условия быстрого изменения ветра, видно, что:

путевая скорость 70 м/с в штилевых условиях:

$$70 \text{ м/с (GS)} = 70 \text{ м/с (TAS)} - 0 \text{ (WIND)};$$

при быстром возникновении встречного ветра до 10 м/с временно:

$$70 \text{ м/с (GS)} = 70 \text{ м/с (TAS)} - 10 \text{ м/с (WIND)}.$$

При восстановлении равновесия и возврате к исходной воздушной скорости (то есть воздушное судно замедлило свое движение относительно земли): $60 \text{ м/с (GS)} = 70 \text{ м/с (TAS)} - 10 \text{ м/с (WIND)}$.

Нарушение равновесия сил, действующих на воздушное судно, приводит к появлению результирующей силы R (рис. 5), и тогда вместо формул (11), при нарушенном равновесии необходимо записать:

$$P + G \cdot \sin \gamma - X = R_x, \tag{13}$$

$$Y - G \cdot \cos \gamma = R_y.$$

где R_x и R_y - проекции составляющей результирующей силы на горизонтальную и вертикальную плоскость.

Приложение результирующей силы к воздушному судну немедленно вызывает ускорение, которое может быть найдено из выражения:

$$R = m \cdot a, \tag{14}$$

где a - ускорение ВС.

Воздушное судно движется с ускорением в том направлении, в котором действует нарушающая равновесие (результирующая) сила, до тех пор, пока не будет снова достигнуто равновесие сил. При восстановлении равновесия воздушное судно неизбежно следует по новой траектории полета и будет оставаться на новой траектории полета до тех пор, пока равновесие не будет вновь нарушено. Для того, чтобы воздушное судно вернулось на заданную траекторию полета, потребуется вмешательство пилота.

Задача 3. ВС попало в условия продольного сдвига ветра при заходе на посадку. Найти результирующую силу и ускорение, вызванное попаданием в сдвиг ветра. Как изменится траектория ВС? Принять $\cos \gamma = 1$. Посадочный угол атаки $7-10^\circ$. Плотность воздуха $1,225 \text{ кг/м}^3$. Коэффициент подъемной силы при посадке равен 0,6 от максимального коэффициента подъемной силы при посадке. Исходные данные приведены в табл. 3. Данные о ВС приведены в табл. 4 и на рис. 6-8.

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип ВС	Ту-204	Ту-204	Ту-204	Ил-76	Ил-76	Ил-76	Ил-96	Ил-96	Ил-96	Ил-96
Посадочная масса ВС, т	85	80	75	145	140	135	170	165	160	165
Изменение скорости ветра, м/с	5	-10	15	5	10	-15	-5	10	15	5

Данные о ВС

Тип ВС	Ил-96-300	Ил-76ТД	Ту-204
Площадь крыла, м ²	350	300	184,17
Тип двигателей	ПС-90А	Д-30-КП	ПС-90А
Число двигателей	4	4	2

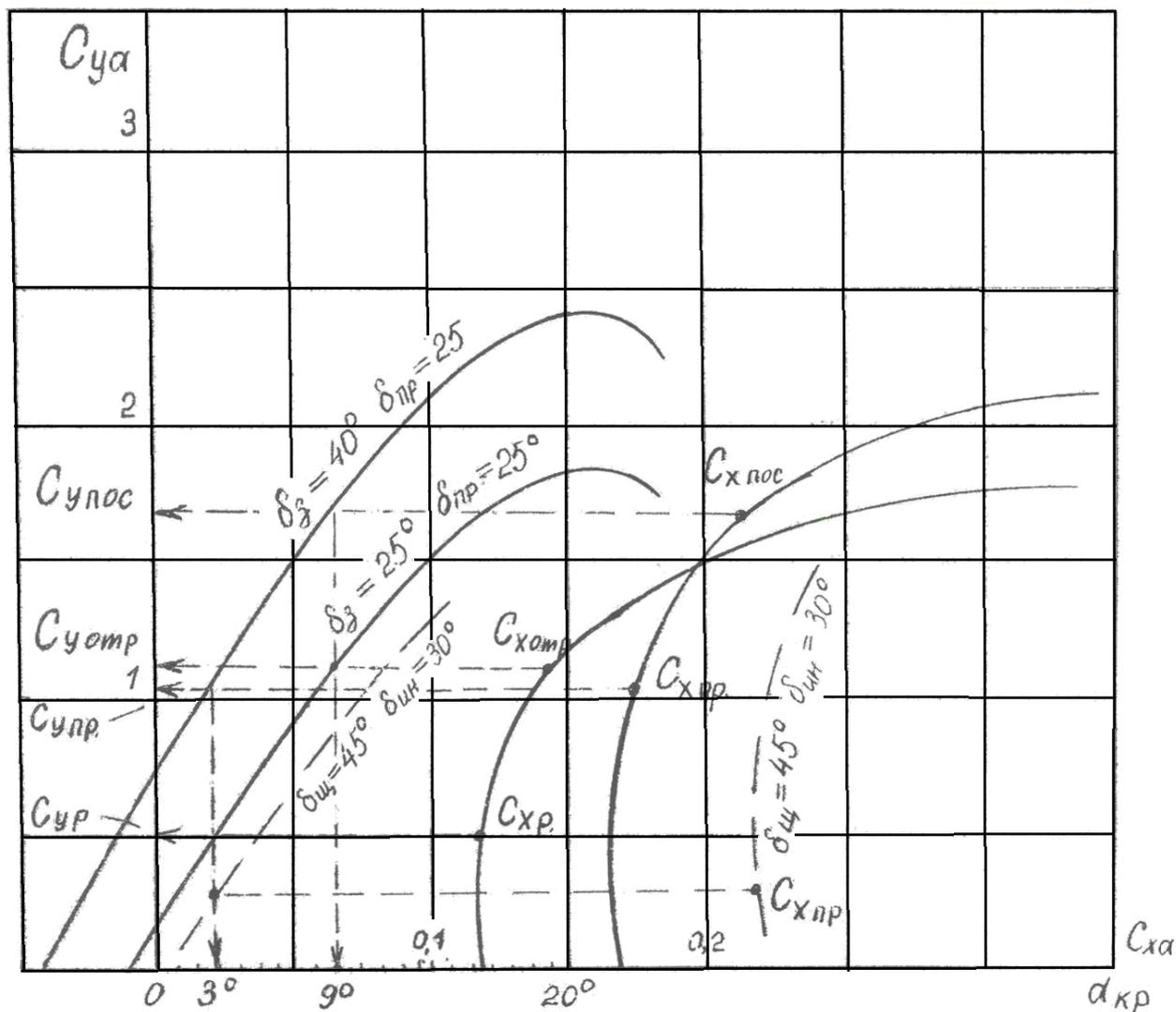


Рис. 6. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки и полетные поляры самолета ИЛ-96

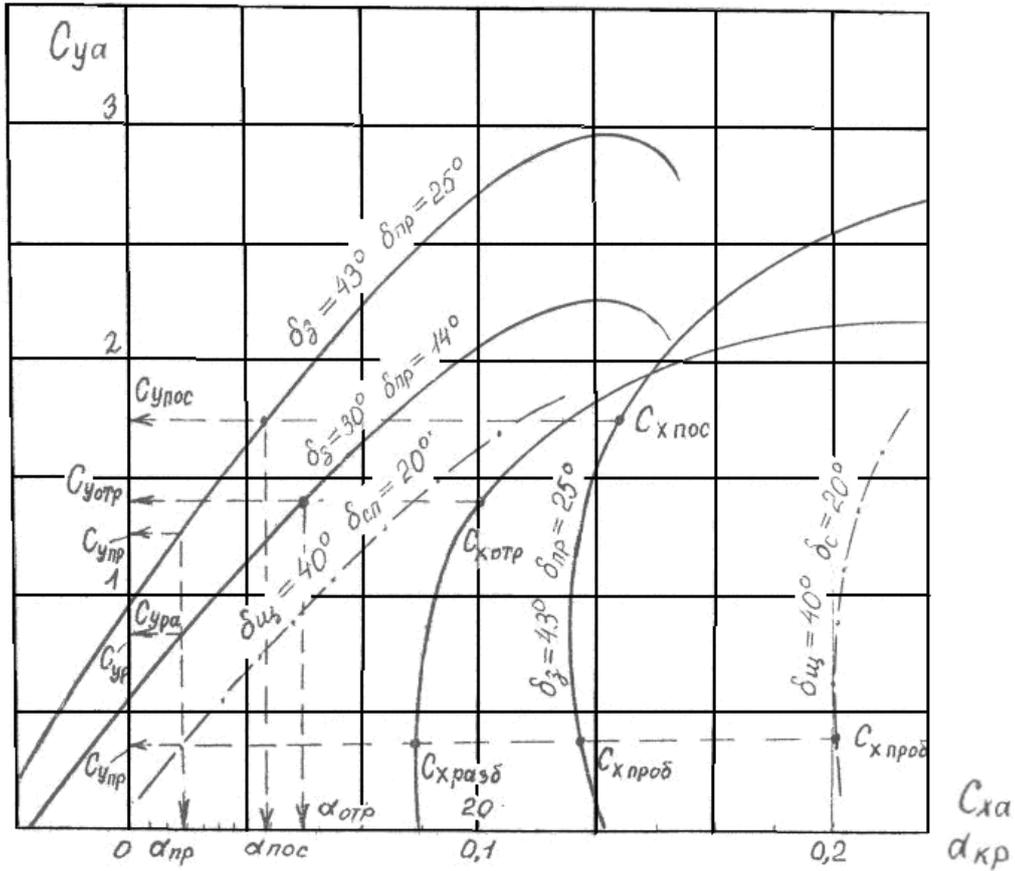


Рис. 7. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки и полетные поляры самолета ИЛ-76

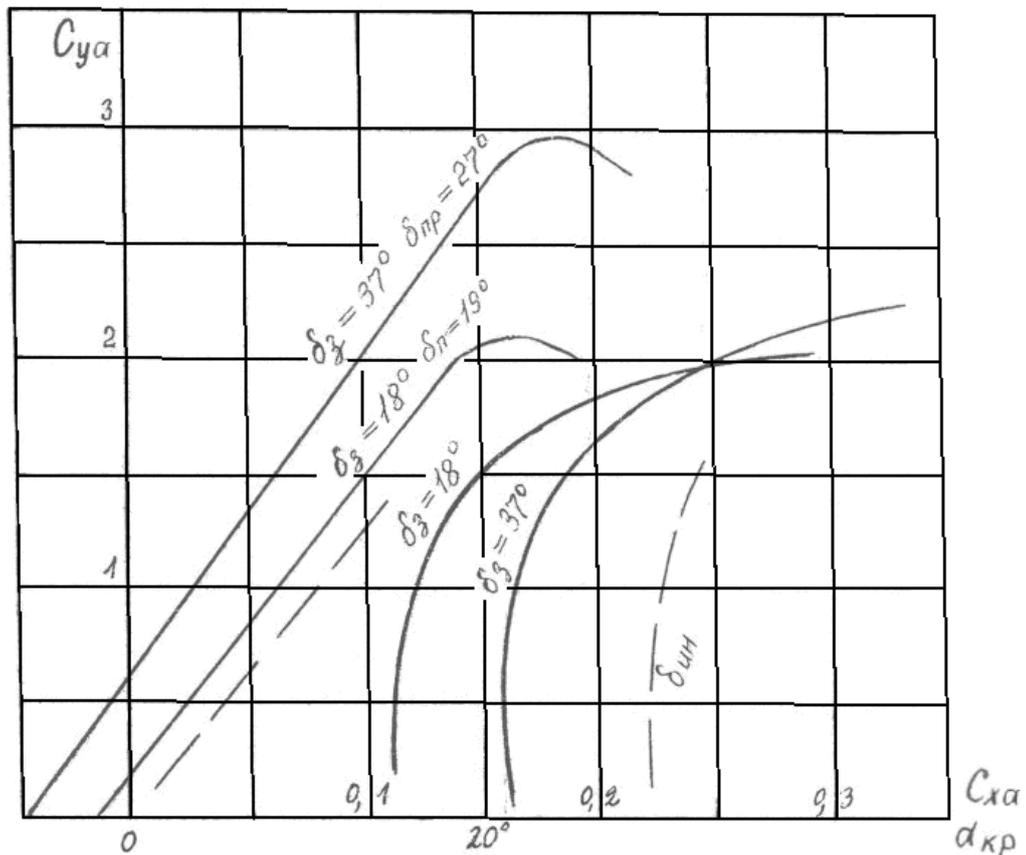


Рис. 8. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки и полетные поляры самолета Ту-204

Практическое занятие №3

Минимумы погоды. Прогноз облачности, видимости и тумана

Минимумы погоды

Минимум погоды - общий термин, обозначающий предельные погодные условия, при которых разрешается выполнять полеты подготовленному командиру воздушного судна, эксплуатировать воздушное судно и использовать аэродром для взлета и посадки. Минимум погоды определяется только двумя величинами - высотой нижней границы облаков (высотой принятия решения) и видимостью (видимостью на ВПП). Устанавливаются следующие минимумы погоды: минимум аэродрома, воздушного судна, командира воздушного судна и вида авиационных работ.

Минимумы аэродрома зависят от географического положения аэродрома и его оборудования системами посадки.

Минимум аэродрома для взлета - это минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и при необходимости - высоты нижней границы облаков (ВНГО), при которых разрешается выполнять взлет на воздушном судне данного типа. Видимость на ВПП (дальность видимости на ВПП) - максимальное расстояние, в пределах которого пилот ВС, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку ее покрытия или огни, ограничивающие ВПП или обозначающие ее осевую линию.

Минимум аэродрома для посадки - минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и высоты принятия решения (ВНГО), при которых разрешается выполнять посадку на воздушном судне данного типа. Высота принятия решения (ВНР) - установленная относительная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случае, если до достижения этой высоты командиром воздушного судна не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку, а также если положение воздушного судна в пространстве или параметры его движения не обеспечивают безопасной посадки. ВНР отсчитывается от уровня порога ВПП. Порог ВПП - это начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушного судна. Высоту принятия решения часто отождествляют с высотой нижней границы облаков.

Минимумы воздушного судна обусловлены наличием и качеством специальной навигационной аппаратуры, имеющейся на борту ВС. Минимум воздушного судна для взлета - минимально допустимые значения видимости на ВПП, позволяющие безопасно производить взлет на воздушном судне данного типа. Минимум воздушного судна для посадки - минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВНР, позволяющие безопасно производить посадку на воздушном судне данного типа.

Минимумы командира воздушного судна обусловлены и определяются личной подготовкой летчика. Минимум командира воздушного судна для взлета - минимально допустимое значение видимости на ВПП, при котором командиру разрешается выполнять взлет на воздушном судне данного типа. Минимум командира воздушного судна для посадки - минимально допустимые

значения видимости на ВПП и ВПР (ВНГО), при которых командиру разрешается выполнять посадку на воздушном судне данного типа.

Минимум командира воздушного судна для полета по правилам визуального полета и особым правилам визуального полета - минимально допустимые значения видимости и высоты нижней границы облаков, при которых командиру разрешается выполнять визуальные полеты на воздушном судне данного типа.

Минимум вида авиационных работ - минимально допустимые значения видимости и высоты нижней границы облаков, при которых разрешается выполнение авиационных работ с применением правил полетов (визуальных или по приборам), установленных для данного вида работ.

С целью обеспечения безопасности и эффективности полетов в сложных метеорологических условиях устанавливаются так называемые категорированные минимумы, или минимумы ИКАО. Эти минимумы делятся на три категории (табл. 5).

Таблица 5

Минимумы ИКАО

Минимум ИКАО	Высота нижней границы облаков	Видимость на ВПП
Первая категория I	60 м	800 м
Вторая категория II	60-30 м	400-800 м
Третья категория	менее 30 м	менее 400 м
III-A	менее 30 м	не менее 200 м
III-B	менее 30 м	не менее 50 м
III-C	менее 30 м	0

В каждом конкретном случае, будь то взлет или посадка, всегда учитываются три минимума погоды: минимум аэродрома, минимум воздушного судна и минимум командира воздушного судна, и из этих трех минимумов выбирается наибольший. Например, если минимум аэродрома 100 x 1000, минимум воздушного судна 50 x 500, а минимум командира ВС 80 * 1500, то этот летчик на этом самолете может сесть на этот аэродром при погоде не хуже чем 100 x 1500.

Прогноз облачности и высоты нижней границы облаков

Высота нижней границы облаков - важнейшая характеристика, определяющая степень сложности погоды. Поэтому понятно, что прогноз нижней границы облачности особенно необходим. Причем, наиболее ответственным является прогноз облачности высотой 300 м и ниже. Однако именно здесь встречаются наибольшие трудности при разработке прогноза. Дело в том, что нижняя граница облаков, особенно облаков слоистых форм (а это самые низкие облака), как правило, выражена недостаточно четко. Поэтому высота нижней границы облаков, измеренная одновременно в различных точках одного аэродрома, может быть разной. В результате проведенных исследований установлено, что в ряде случаев высоты низких облаков (до 200 м), измеренные на расстоянии 500 м, могут отличаться друг от друга на 30-50%.

Сложность структуры нижней границы облаков и зависимость ее высоты от многих факторов (характеристик воздушной массы, рельефа местности, наличия осадков и т.д.) привели к тому, что в настоящее время существует большое количество методов диагноза и прогноза высоты нижней границы облаков, и довольно трудно какому-либо из них отдать предпочтение. Использование того или иного метода прогноза высоты нижней границы облаков возможно только после тщательной проверки метода на местных условиях.

В соответствии с основными руководящими документами по метеорологическому обеспечению гражданской авиации в авиационные прогнозы погоды включается следующая информация об облачности: количество облаков, их форма, а также высота нижней и верхней границ.

Низкая облачность затрудняет, а иногда делает невозможным полет воздушного судна. Она (низкая облачность) вместе с ограниченной видимостью является тем элементом погоды, который определяет минимум погоды.

Для района Москвы М.Г. Приходько предложил расчетный метод прогноза конвективной облачности на момент ее максимального развития по данным утреннего температурно-ветрового зондирования атмосферы.

На первом этапе расчета определяется коэффициент стратификации атмосферы по формуле:

$$K_{стр} = \frac{0,3\Delta T_0 R_{cp}}{D_{cp} + (1 - \gamma_{cp})}, \quad (15)$$

где:

ΔT_0 - разность температур между максимальной (прогноз) и температурой в срок зондирования;

R_{cp} - среднее значение относительной влажности (в %) в слое от земли (верхней границы приземной инверсии) до 3000 м (700 гПа);

γ_{cp} -средний вертикальный градиент температуры воздуха (°С/100 м) в том же слое;

D_{cp} - средний дефицит точки росы в слое от земли до 200 м, если у земли $1^\circ\text{C} < D_{cp} < 4^\circ\text{C}$, или от земли до 500 м в других случаях. Если данных о распределении дефицита точки росы нет, то можно воспользоваться данными о дефиците температуры точки росы у земной поверхности.

Дефицит точки росы - разность между фактической температурой воздуха и точкой росы.

По найденному значению $K_{стр}$ с помощью графика, представленного на рис. 9, определяется количество внутримассовой конвективной облачности в момент ее максимального развития. Характеристика облачности находится по табл. 6.

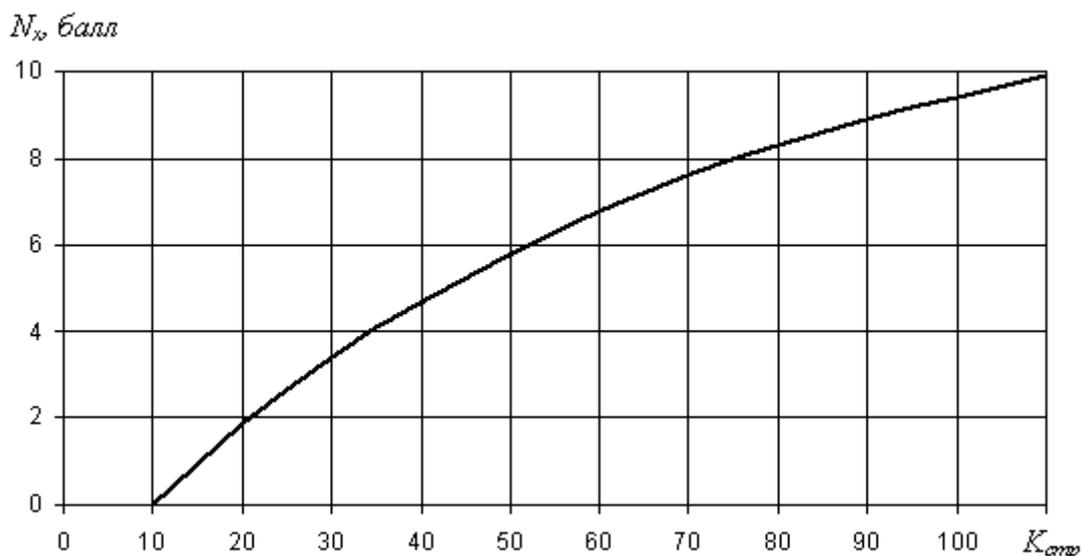


Рис. 9. Зависимость количества конвективной облачности от коэффициента стратификации.

Для прогноза высоты нижней границы облаков (м) большое распространение получила следующая полуэмпирическая формула:

$$H = 122 \cdot (T - T_d) - m, \quad (16)$$

где T - температура воздуха у земли, °С,

T_d - температура точки росы у земли, °С,

m - коэффициент, учитывающий наличие осадков. При мороси $m = 80$, при других видах осадков $m = 50$ и $m = 0$ при отсутствии осадков.

Таблица 6

10-бальная и 8-октантная шкала облачности

Баллы	Октанты	Характеристика облачности
0	0	ясно
1-3	1-2	незначительные (рассеянные)
4-5	3-4	разбросанные (отдельные)
6-9	5-7	значительные (разорванные)
10	8	сплошные

Прогноз туманов

Туманом называется метеорологическое явление, при котором за счет конденсации водяного пара в нижнем слое атмосферы видимость уменьшается до значений менее 1000 м. Процессы в атмосфере сначала должны привести к тому, что воздух у земли станет насыщенным, затем должна начаться конденсация водяного пара и ухудшение видимости, приводящее к возникновению тумана. Процессов, приводящих к возникновению тумана несколько. Основными из них являются радиационное выхолаживание воздуха, и как следствие - возникновение радиационного тумана. Вторым по значимости можно считать процесс, при котором теплый и влажный воздух начинает поступать на холодную подстилающую поверхность. Над холодной

поверхностью воздух охлаждается, водяной пар начинает конденсироваться, и в результате образуется адвективный туман. Кроме этих туманов, которые составляют 75% от общего числа туманов, наблюдаются еще и морозные туманы (туманы при значительных отрицательных температурах воздуха), фронтальные туманы, а также туманы испарения и смешения.

В зависимости от степени ухудшения видимости туманы подразделяются на слабые (видимость 500-1000 м), умеренные (видимость 200-500 м), сильные (видимость 50-200 м) и очень сильные (видимость менее 50 м). По своей вертикальной мощности (ΔH) туманы подразделяются на поземные ($\Delta H < 2$ м), низкие ($2 < \Delta H < 10$ м), средние ($10 < \Delta H < 100$ м) и высокие ($\Delta H > 100$ м).

Прогноз тумана сводится, в принципе, к прогнозу двух температур: температуры туманообразования (T_T), минимальной температуры воздуха (T_{\min}) и их сравнению.

Прогноз радиационных туманов по методу Н.В. Петренко. Радиационный туман образуется над сушей при безоблачном небе и слабом ветре в результате охлаждения воздуха, когда его температура становится ниже температуры туманообразования.

Наиболее часто благоприятные условия для возникновения радиационных туманов создаются в антициклонах, их отрогах, барических гребнях и седловинах, реже и главным образом летом - в поле пониженного давления с небольшими барическими градиентами.

Радиационный туман в большинстве случаев возникает при штиле или слабом ветре со скоростью до 3 м/с. Для образования тумана благоприятно слабое увеличение скорости ветра с высотой. Такие условия способствуют турбулентному переносу продуктов конденсации от земной поверхности вверх и их поддержанию во взвешенном состоянии в приземном слое воздуха. В процессе перемешивания толщина слоя тумана увеличивается. Если воздух совершенно неподвижен, то перенос влаги обусловлен только молекулярными процессами, и туман может не возникнуть.

Вертикальная мощность радиационных туманов обычно не превышает 200-300 м.

Температура туманообразования определяется по формуле:

$$T_T = T_d - \Delta T_d, \quad (17)$$

где: T_d - температура точки росы в срок, близкий к заходу солнца,

ΔT_d - возможное понижение температуры точки росы в течение ночи от начального срока до момента образования тумана.

Величина ΔT_d зависит в основном от температуры точки росы в исходный срок и определяется по табл. 7.

Таблица 7

Значения ΔT_d в зависимости от температуры точки росы

$T_d, ^\circ\text{C}$	20 ÷ 11	10 ÷ 0	-1 ÷ -10	-11 ÷ -20	-21 ÷ -30
$\Delta T_d, ^\circ\text{C}$	1,4	1,6	2	2,5	2,3

По графику прогноза тумана (рис. 10) определяется возможность и интенсивность тумана. Графический метод Петренко дает положительные

результаты при однородности воздушной массы, когда на ее влагосодержание не влияет испарение с подстилающей поверхности или осадки.

После определения температуры туманообразования полученную величину сравнивают с минимальной прогнозируемой температурой.

Прогноз адвективных туманов. Адвективный туман следует ожидать в том случае, когда по прогнозу синоптического положения существуют условия для адвекции (переноса) теплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность. Эти туманы могут наблюдаться в любое время суток. Адвективные туманы возникают, как правило, зимой или в переходные сезоны года при заметном потеплении. При прогнозе адвективных туманов следует учитывать перемещение уже имеющихся зон тумана, адвективные изменения температуры и точки росы в приземном слое, возможность снижения облаков до поверхности земли, а также охлаждение воздуха в процессе ночного радиационного выхолаживания.

Общими условиями возникновения адвективных туманов являются:

- дефицит температуры точки росы у земли должен быть небольшим (при $D_0 > 3$ °С туманы, как правило, не возникают),
- скорость ветра у земли должна быть меньше 8 м/с (при большей скорости ветра происходит разрушение приземной инверсии и разрушение тумана).

И.В. Кошеленко для прогноза адвективного тумана предложил график, представленный на рис. 11. По вертикальной оси на графике откладывается прогностическое значение скорости ветра на высоте флюгера $V_{пр}$, а по горизонтальной оси - горизонтальный градиент температуры, который определяется по картам погоды. Расстояние, а, следовательно, и температуру воздуха с карт погоды необходимо определять в направлении, откуда переместится воздух в пункт прогноза.

Если точка, соответствующая исходным данным, окажется ниже кривой на графике, то в прогнозе погоды следует указывать туман, а если выше - туман не прогнозируется. С помощью этого графика можно прогнозировать адвективный туман с заблаговременностью до 9 ч.

Прогноз видимости

Прогноз видимости в дымках и туманах. Видимость в дымках и туманах изменяется в значительных пределах и зависит от количества и размеров взвешенных частиц, находящихся в единице объема, т.е. от водности тумана.

Установлено, что чем выше начальная температура точки росы вечером и чем больше ее понижение ночью при охлаждении приземного слоя воздуха, тем меньше видимость в тумане при прочих равных условиях. Этим выводом можно руководствоваться при прогнозе видимости в туманах охлаждения, особенно в радиационных и адвективно-радиационных туманах.

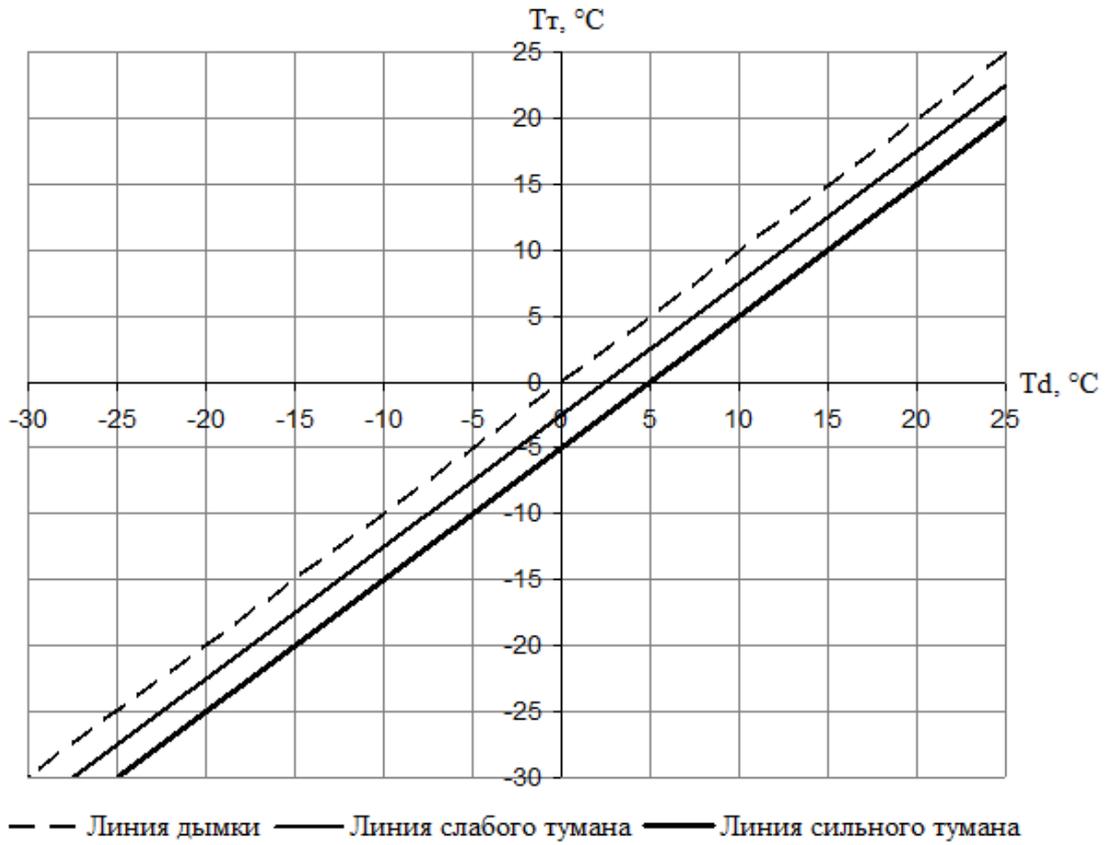


Рис. 10. График для прогноза радиационного тумана по методу Н.В. Петренко.

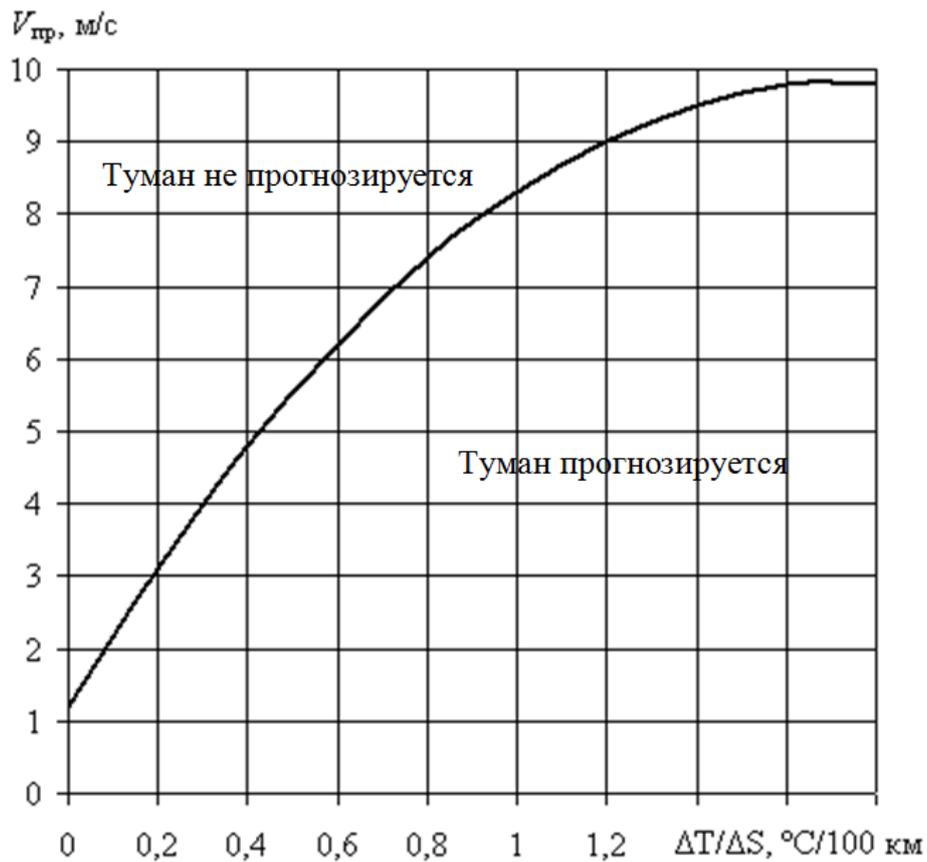


Рис. 11. График для прогноза адвективного тумана по методу И.В. Кошеленко.

Для прогноза видимости в тумане можно воспользоваться полуэмпирической формулой:

$$S_m = 60 / q^{-0,5}, \quad (18)$$

где q - водность тумана, г/м.

Водность тумана можно определить по другой формуле:

$$q = 3 \cdot 10^{-4}(T_T)^2 + 1,2 \cdot 10^{-2}(T_T) + 1,14, \quad (19)$$

где T_T - температура туманообразования, °С.

Прогноз видимости в осадках. Видимость зависит от интенсивности осадков. Имея информацию об интенсивности дождя, видимость можно рассчитать по формуле:

$$V_d = V_0 (I_d)^{-0,71},$$

где V_0 - видимость вне зоны осадков;

I_d - интенсивность осадков, мм/ч.

Обложные осадки в среднем ухудшают видимость до 4-6 км (редко до 1-2 км), а ливневые осадки - до 1-2 км (практически всегда, а иногда даже до нескольких сотен или десятков метров).

При выпадении снега, как и при выпадении дождя, видимость заметно ухудшается. Это ухудшение находится в прямой зависимости от интенсивности снегопада. Однако при снегопадах прогноз видимости чаще всего разрабатывается синоптическим методом. Сильный ветер является дополнительным фактором ухудшения видимости при снегопаде.

Задача 4. Данные о прогнозируемых условиях на аэродроме, а также категории аэродрома приведены в табл. 8. Спрогнозировать при отсутствии осадков:

1. Количество облаков.
2. Высоту нижней границы облаков.
3. Возможность возникновения тумана и видимость в нем.

При наличии осадков:

1. Высоту нижней границы облаков.
2. Видимость.

Определить, удовлетворяют ли погодные условия метеоминимуму аэродрома.

Таблица 8

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Категория аэродрома	I	II	IIIА									
Наблюдаемая температура, °С	15	7	23	24	22	8	7	17	6	7	3	21
Максимальная прогнозируемая температура (днем), °С	20	10	25	27	25	12	15	20	8	9	5	25
Минимальная прогнозируемая температура (ночью), °С	12	5	16	20	19	4	5	12	1	3	-1	17
Точка росы, °С	13	5	18	22	21,5	7	4	15,5	4	6,5	0	17
Вертикальный градиент температуры, °С/100 м	0,65	0,6	0,7	0,7	0,65	0,55	0,6	0,65	0,55	0,65	0,65	0,7
Горизонтальный градиент температуры, °С/100 км	0,6	0,4	1	1,2	0,1	0,4	0,6	0,8	0,6	0,4	1	1,2
Относительная влажность, %	80	70	50	85	90	80	50	60	70	90	50	70
Скорость ветра, м/с	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Видимость без осадков, м	8000	9000	4000	5000	8000	7000	5000	9000	8000	4000	6000	9000
Интенсивность осадков, мм/ч	1,2	2	3	4	5	6	7	8	1,5	3	2	5

Литература

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2005.
2. Авиационная метеорология. Яковлев А.М. Изд-во «Транспорт», 1971 г.
3. ICAO Doc 9817. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. 2005 г.
4. Ермаков А.Л., Ципенко В.Г. Динамика полета: пособие по выполнению курсовой работы. - М.: МГТУ ГА, 2002.
5. Ефимова М.Г., Ципенко В.Г. Основы аэродинамики и летно-технические характеристики воздушных судов: Пособие по выполнению курсовой работы. – М.: МГТУ ГА, 2012.