

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

Кафедра физики

А.А. Куколева

АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ
и практических занятий

*для студентов III курса
направления 25.03.03
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2020

УДК 551.5:629.73
ББК 0571.7
К89

Рецензенты:

*Малыгин В.Б. (МГТУ ГА) – начальник Учебно-тренажерного центра кафедры УВД;
Кононова Н.К. (СНС) – канд. геогр. наук*

Куколева А.А.

К89 **Авиационная метеорология [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий / А.А. Куколева. – М.: ИД Академии Жуковского, 2020. – 68 с.**

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Авиационная метеорология» по учебному плану для студентов III курса направления 25.03.03 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 25.09.2020 г. и методического совета 15.10.2020 г.

**УДК 551.5:629.73
ББК 0571.7**

В авторской редакции

Подписано в печать 09.12.2020 г.
Формат 60х84/16 Печ. л. 4,25 Усл. печ. л. 3,95
Заказ № 712/1008-УМП20 Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Практическое занятие №1. Расчет шкалы высот по данным зондирования атмосферы	5
Практическое занятие №2. Изучение влияния параметров атмосферы на летные и эксплуатационные характеристики воздушного судна	11
Практическое занятие №3. Оценка влияния ветра на полет воздушного судна	19
Практическое занятие №4. Оценка метеорологической и синоптической обстановки по аэродрому с помощью синоптических карт	26
Лабораторная работа №1. Анализ состояния атмосферы по данным температурно-ветрового зондирования	38
Лабораторная работа №2. Чтение и анализ карт барической топографии	48
Приложение 1. Параметры стандартной атмосферы (ГОСТ 4401-81)	58
Приложение 2. Основные технические характеристики самолетов гражданской авиации	59
Приложение 3. Условные обозначения на авиационных прогностических картах	60
Приложение 4. Обозначения на картах погоды	63
Приложение 5. Атмосферные фронты и условия полетов ВС	66
Приложение 6. Правила визуальных полетов	68

Предисловие

Сборник описаний лабораторных и практических занятий по курсу «Авиационная метеорология» предназначен для студентов III курса направления 25.03.03 Аэронавигация, профиль - Управление воздушным движением (дневное и заочное отделение). Он содержит описания 2 лабораторных работ (по 4 часа каждая) и 4 практических занятий (по 2 часа каждое).

Описание каждой из работ включает краткое теоретическое введение, методические указания по выполнению, контрольные вопросы и список рекомендованной литературы. Работы логически связаны – результаты уже выполненных работ используются в последующих, поэтому важен порядок их выполнения. Сначала следует сделать практические работы №1, №2, затем – Лабораторные работы №1 и №2, и далее – практические работы №3 и №4.

Цель практикума состоит в приобретении студентами практических навыков работы с метеорологической информацией, необходимой для метеообеспечения полетов воздушных судов; закрепление базовых знаний об основных синоптических атмосферных процессах и опасных явлениях погоды, оказывающих влияние на полет, эксплуатацию воздушных судов и наземного оборудования аэропортов. Материалы и варианты с заданиями для выполнения работ выдаются преподавателем заранее. Выполнение лабораторных и практических работ предполагается индивидуально или в бригаде по 2 человека.

При работе над сборником были использованы следующие материалы: «Практикум по авиационной метеорологии» О.Г.Богаткин, В.Ф.Говердовский, В.Д.Еникеева; Т.В.Сафонова «Авиационная метеорология»; Дашко Н.А. «Курс лекций по синоптической метеорологии», Позднякова В.А. «Практическая авиационная метеорология», Хромов С.П., Петросянц М.А. «Метеорология и климатология» и др..

Практическое занятие №1 РАСЧЕТ ШКАЛЫ ВЫСОТ ПО ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

1. Цель работы

Изучить методы и получить навыки расчета высоты стандартных изобарических поверхностей в атмосфере по данным вертикального зондирования атмосферы, работы с аэрологической диаграммой.

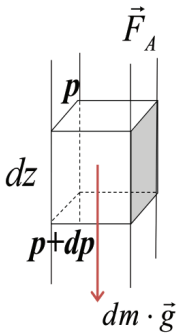
2. Материалы для работы

Бланк аэрологической диаграммы (АДКТ) с нанесенными данными зондирования атмосферы.

3. Краткое теоретическое введение

3.1. Уравнение статики и барическая ступень. Формула Бабине

Рассмотрим слой атмосферы, находящийся в равновесном состоянии (все силы уравновешивают друг друга). Это значит, что в проекции на вертикальную ось сила тяжести равна силе Архимеда:



$$dF_A = dm \cdot g = -(\rho(z) \cdot S \cdot dz) \cdot g,$$

$$dp = \frac{dF_A}{S} = -\rho(z) \cdot dz \cdot g.$$

В результате изменение (перепад) давления на верхней и нижней границе слоя равен:

$$dp = -\rho(z) \cdot g \cdot dz. \quad (1)$$

Формула (1) носит название *уравнение статики атмосферы*.

Рассмотрим уравнение состояния (уравнение Менделеева-Клапейрона) для воздуха:

$$pV = \frac{m}{\mu_g} RT,$$

где $\mu_g = 29$ г/моль – средняя молярная масса воздуха.

Перегруппируем множители в уравнении следующим образом:

$$p\left(\frac{V}{m}\right) = \frac{R}{\mu_g} T.$$

Введем новые величины: газовая постоянная для воздуха $R_g = \frac{R}{\mu_g} \approx 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, и удельный объем $v = 1/\rho$.

В результате уравнение Менделеева-Клапейрона для воздуха примет вид:

$$p \nu = R_g T, \quad (2)$$

Выразим плотность воздуха из (2):

$$\rho = \frac{1}{\nu} = \frac{p}{R_g T}. \quad (3)$$

С учетом (3) из уравнения статики получим *формулу барической ступени*:

$$-\frac{dz}{dp} = \frac{R_g T}{g p}. \quad (4)$$

Барическая ступень – это приращение высоты, в пределах которой давление падает на единицу (в метеорологии принято $[p] = 1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 1 \text{ мб}$).

Согласно (4) барическая ступень увеличивается с ростом температуры и высотой, т.к. давление в атмосфере экспоненциально уменьшается с высотой.

Рассмотрим слой высотой Δz , для которого температура и давление на нижней границе – T_1 и p_1 , а на верхней – T_2 и p_2 .

Тогда по (3)

$$\Delta z = -\frac{R_g T_{cp}}{g p_{cp}} \cdot \Delta p = \frac{287,05 \cdot (T_1 + T_2) / 2}{9,8 \cdot (p_2 + p_1) / 2} (p_2 - p_1) = \frac{8000}{p_{cp}} \left(1 + \frac{t_{cp}}{273}\right) \cdot \Delta p,$$

где T_{cp} и t_{cp} – средняя температура слоя в $^{\circ}\text{К}$ и $^{\circ}\text{С}$, соответственно, p_{cp} – среднее давление в слое.

$$\Delta z = \frac{8000}{p_{cp}} \left(1 + \frac{t_{cp}}{273}\right) \cdot \Delta p. \quad (5)$$

Выражение называется *формулой Бабин* и на практике используется для расчета небольшого перепада высот ($\sim 100 \text{ м}$) и давлений. Если при расчетах по (4) давление подставляем в гПа, температуру в $^{\circ}\text{С}$ (с учетом знака!), то результат получаем в м.

В случае, если $\Delta p = 100 \text{ гПа}$, то (5) является удобным для работы вариантом формулы барической ступени (4). Более точный способ расчета Δz – формула Лапласа.

3.2. Барометрическая формула и формула Лапласа

Зависимость давления в атмосфере от высоты выражает барометрическая формула:

$$p(z) = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{g \cdot z}{R_g \cdot T_0}\right) = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{z}{H}\right), \quad (6)$$

где $H = R_g T_0 / g = 8 \text{ км}$ (для нормальных условий) – это, так называемая, высота изотермической (однородной) атмосферы.

$$\Delta z = 18400 \left(1 + \frac{t_{cp}}{273}\right) \cdot \lg \frac{p_0}{p(z)} \quad (7a)$$

$$\Delta z = 7912 \left(1 + \frac{t_{cp}}{273} \right) \cdot \ln \frac{p_0}{p(z)}. \quad (76)$$

Выражения (7а) и (7б) называют **формулой Лапласа** (два ее варианта).

Таким образом, по барометрической формуле, формулам Бабинне (для большого перепада высот) и Лапласа, высоту можно определять как функцию атмосферного давления, которое на высоте полета измеряется с помощью барометра–анероида. Основная шкала барометра градуируется в единицах высоты для определенных стандартных условий (стандартная атмосфера)

3.3. Температурно-ветровое зондирование атмосферы

Регулярное температурно-ветровое зондирование (радиозондирование) атмосферы в ее нижнем 30–50 км слое осуществляется с помощью радиолокационно-радиотелеметрических систем, включающих свободно летящий радиозонд, приемник радиотелеметрической информации и радиолокационную или навигационную станцию. Параметры атмосферы, измеряемые радиозондом, передаются его телеметрической системой на приемную станцию, а радиолокатор или навигационная станция определяют местоположение радиозонда. В России используется несколько систем радиозондирования, например Метеорит-2 – МАРЗ или Титан–МРЗ, образующих единую аэрологическую сеть более, чем из 100 станций.

В настоящее время наиболее широко на отечественной сети станций зондирования атмосферы применяется система АВК-1 («Титан») специализированный информационно-вычислительный комплекс, в состав которого входят наземная радиолокационная импульсная станция со специальным компьютерным устройством и радиозонд типа МРЗ-3А. По принципу действия эта система аналогична системе «Метеорит – МАРЗ», но является технически совершенной. Радиолокационная станция выполнена на современной элементной базе и оснащена компьютерным устройством, которое обеспечивает зондирование атмосферы полной автоматизацией приема и обработки измерительных сигналов, а также выдачу всей метеорологической информации потребителю в виде специальных телеграмм. Компьютерное устройство позволяет выполнять тестовый и функциональный контроль работоспособности самой РЛС.

Результатом стандартного температурно-ветрового зондирования атмосферы являются данные о **вертикальной стратификации (распределении) температуры, значениях точки росы и параметрах ветра (направление и скорость) на разных высотах в атмосфере.**

Анализ состояния атмосферы по этим данным удобно проводить с помощью аэрологической диаграммы. Аэрологическая диаграмма (АД) представляет собой термодинамический график с системой шкал и нанесенных кривых, позволяющих по ним и по фактическим данным зондирования быстро определить многие необходимые термодинамические параметры состояния атмосферы. АД

имеет несколько модификаций для разных диапазонов температур и масштабов. В настоящей работе используется одна из модификаций АД - бланк АДКТ (аэрологической диаграммы косоугольной для теплого периода).

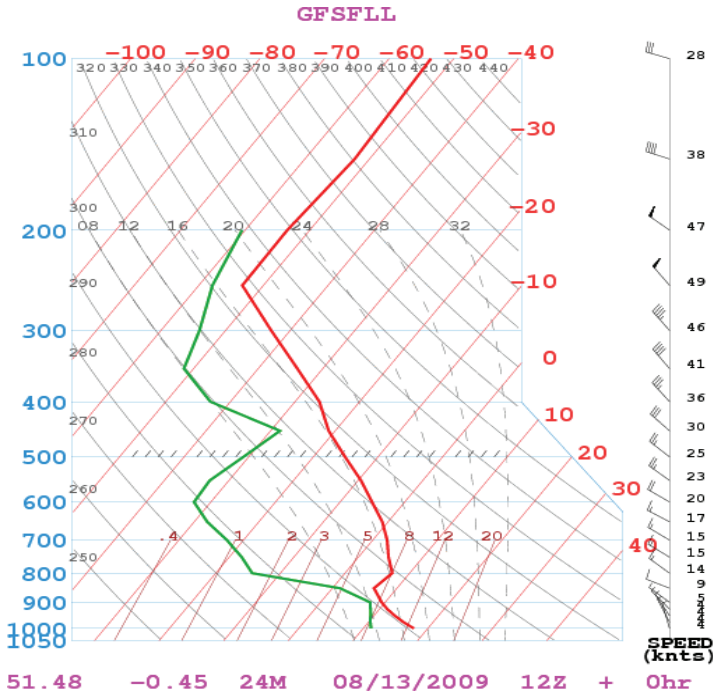


Рис. 1. Бланк АД с нанесенными кривыми стратификации (кривая справа) и точки росы (кривая слева)

По данным комплексного температурно-ветрового зондирования в данный срок на бланке аэрологической диаграммы строятся кривые вертикального распределения температуры воздуха $T(z)$ (кривая стратификации) и точки росы $T_d(z)$ (депеграмма - она всегда расположена слева от кривой стратификации) – рис. 1. Вертикальная координата на АД – давление, выраженное в гПа (1 гПа = 100 Па). *Изобары* – это горизонтальные синие линии, подписанные слева в гПа (1000, 900, ...). Справа и сверху на АД нанесены значения температуры в °C, от которых вниз и влево идут изотермы. Правее АД располагается вертикальная ось, на которой отмечены значения скорости ветра в виде стрелок с оперением (по ним можно судить о направлении и величине), а также значения модуля скорости ветра в узлах. Под диаграммой указаны географические координаты пункта зондирования и высота над уровнем моря. Далее записаны дата

и время зондирования по УТС. *Подробнее про другие кривые и информацию на АД см. вводную часть в описании Лабораторной работы №1*

4. Порядок выполнения работы

В работе необходимо рассчитать высоты стандартных изобарических поверхностей для условий реальной атмосферы по данным вертикального зондирования атмосферы. Для этого нужно сделать следующее.

1) Определите по графику среднюю температуру t_{cp} °С в стандартных слоях: 1000 – 800, 800 – 700, 700 – 600, 600-500 и т.д. до 200 – 100 гПа. Результаты запишите в соответствующий столбец таблицы 1.

2) Рассчитайте по барометрической формуле Лапласа и формуле Бабинне перепад высот (толщину слоя) между соответствующими изобарическими поверхностями. Поскольку в каждом слое разница давлений составляет 100 гПа, то рассчитанная величина Δz является высотой барической ступени.

Таблица 1

Высота изобарических поверхностей по данным аэрологической диаграммы

№№ слоя	Слой, гПа	Средняя температура слоя, t_{cp} °С	Высота барической ступени Δz , м		Высота нижней поверхности слоя z , м
			По формуле Бабинне	По формуле Лапласа	
1	1000-900				
2	900-800				
3	800-700				
	...				
	200-100				

3) Определите высоту основных изобарических поверхностей в км с точностью до сотых долей, используя расчеты слоя по формуле Лапласа. Будем считать, что высота самой нижней изобарической поверхности на диаграмме (чаще всего это 1000 гПа) совпадает с высотой станции над уровнем моря (она указана под диаграммой на бланке). Высота следующей вышележащей изобарической поверхности 900 гПа рассчитывается как сумма высоты нижней поверхности слоя (1000 гПа) и толщины самого слоя (барической ступени на рассматриваемой высоте): $z_{900} = z_{1000} + \Delta z_{100-900}$. Для расчета высот остальных поверхностей действуем аналогично: $z_2 = z_1 + \Delta z_{12}$. Результаты запишите в таблицу 1. Покажите результаты преподавателю и после этого подпишите значения высоты соответствующего изобарического уровня на шкале АД (слева от значения давления).

Сравните результаты расчетов z и Δz , полученные по формулам Лапласа и Бабинне. Обратите внимание, в каких слоях расчеты по этим формулам наиболее близки, а где – отличаются.

5. Контрольные вопросы

1. Как изменяется давление и температура в атмосфере?
2. Запишите барометрическую формулу. Нарисуйте график изменения давления в атмосфере с высотой при двух разных средних значениях температуры.
3. Дайте определение барической ступени. Как изменяется ее высота с высотой и почему?
4. Как определяют высоту изобарической поверхности в атмосфере?
5. Что изображено на бланке аэрологической диаграммы?
6. Что такое точка росы? Как определить ее значение по данным АД?
7. Что такое тропопауза? Как определить ее по АД?
8. Перечислите основные слои атмосферы и примерный диапазон высот каждого, коротко опишите изменение температуры в них с высотой.

6. Литература

1. Богаткин О.Г., Основы авиационной метеорологии. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009, Гл. 6.
2. Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф., Еникеева В.Д. Практикум по авиационной метеорологии. – Л. Гидрометеиздат. 1987. – 183 с.

Практическое занятие №2

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ЛЕТНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВС

1. Цель работы

Изучить влияние отклонений температуры воздуха от стандартной на высоту потолка самолета и скорость полета.

2. Материалы для работы

Аэрологическая диаграмма с размеченной вертикальной шкалой в гПа и км; Технические данные воздушного судна (ВС); параметры стандартной атмосферы СА (Приложение 1-2)

3. Краткое теоретическое введение

3.1. Влияние физических характеристик атмосферы на показания барометрического высотомера

Высота полета может определяться относительно разных уровней.

Истинной высотой $H_{\text{и}}$ называется высота полета, измеряемая относительно пролетаемой местности. В горизонтальном полете истинная высота изменяется соответственно изменению рельефа местности.

Абсолютной высотой $H_{\text{абс}}$ называется высота полета, измеряемая относительно уровня Балтийского моря.

Барометрической высотой $H_{\text{б}}$ называется высота полета, измеряемая относительно изобарической поверхности атмосферного давления, установленного на шкале барометрического высотомера. относительная высота измеряется относительно давления на взлетно-посадочной полосе аэродрома (ВПП).

Основными способами измерения высоты полета являются барометрический и радиотехнический.

Современные радиовысотомеры работают на частотном (радиовысотомеры малых высот) и на импульсном (радиовысотомеры больших высот) методах измерения высоты и показывают истинную высоту полета. Это является их преимуществом перед барометрическими высотомерами, так как барометрическая высота, как правило, отличается от истинной.

Барометрический способ измерения высоты основан на принципе измерения атмосферного давления, закономерно изменяющегося с высотой. Барометрический высотомер представляет собой обыкновенный барометр, у которого вместо шкалы давлений поставлена шкала высот. Такой высотомер определяет высоту полета самолета косвенным путем, измеряя атмосферное давление, которое изменяется с высотой по определенному закону.

Для обеспечения безопасности полетов по воздушным трассам осуществляется вертикальное эшелонирование, то есть полеты разрешается выполнять на строго определенных высотах (эшело́нах) по барометрическому высотомеру относительно условного нулевого уровня. Эшелоны полета приведены в «На-

ставлении по производству полетов в гражданской авиации РФ». Далее здесь мы будем говорить о барометрическом способе измерения высоты полета, который осуществляется с помощью барометрического высотомера.

Барометрические высотомеры имеют инструментальные, аэродинамические и методические ошибки.

Инструментальные ошибки высотомера ΔH возникают вследствие несовершенства изготовления прибора и неточности его регулировки. Причинами инструментальных ошибок являются несовершенства изготовления механизмов высотомера, износ деталей, изменение упругих свойств anerоидной коробки, люфты и т. д. Каждый высотомер имеет свои инструментальные ошибки. Они определяются путем проверки высотомера, заносятся в специальную таблицу и учитываются в полете.

Аэродинамические ошибки ΔH_a возникают в результате неточного измерения атмосферного давления на высоте полета вследствие искажения воздушного потока, особенно при полете на больших скоростях. Эти ошибки зависят от скорости полета, типа приемника, воспринимающего атмосферное давление, и места его расположения. Они определяются при испытаниях самолетов и заносятся в таблицу поправок.

Методические ошибки возникают вследствие несовпадения фактического состояния атмосферы с расчетными данными, положенными в основу для расчета шкалы высотомера. Шкала высотомера рассчитана для условий стандартной атмосферы на уровне моря: давление воздуха $P_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$, температура $t_0 = +15^\circ\text{C}$, температурный вертикальный градиент $t_{\text{гр}} = 6,5^\circ$ на 1000 м высоты.

Использование стандартной атмосферы предполагает, что заданной высоте соответствует вполне определенное давление. Но так как в каждом полете действительные условия атмосферы не совпадают с расчетными, то высотомер показывает высоту с ошибками.

Барометрическому высотомеру присущи также ошибки вследствие того, что он не учитывает изменения топографического рельефа местности, над которой пролетает самолет.

Методические ошибки барометрического высотомера делятся на три группы:

- 1) ошибки от изменения атмосферного давления у земли (барометрическая ошибка);
- 2) ошибки от изменения рельефа местности.
- 3) ошибки от изменения температуры воздуха;

Поясним немного вопрос о причинах барометрической ошибки. Барометрический высотомер измеряет высоту полета относительно уровня изобарической поверхности, атмосферное давление которой установлено на шкале давлений высотомера. Он не учитывает изменения давления по маршруту. Обычно атмосферное давление в различных точках земной поверхности в один и тот же

момент разное. Если пилот по маршруту будет выдерживать заданную приборную (барометрическую) высоту, то истинная высота будет изменяться в зависимости от распределения атмосферного давления у земли: при падении атмосферного давления истинная высота будет уменьшаться, при повышении давления — увеличиваться.

Барометрическая ошибка устраняется при внесении поправки на давление путем установки подвижной шкалы высотомера в соответствующее положение. Перед взлетом самолета пилот устанавливает стрелки прибора на нулевое деление. При этом нулю высоты соответствует значение давления на ВПП. В дальнейшем высотомер будет показывать высоту относительно аэродрома вылета. Чтобы выдерживать в полете высоту эшелона, летчик после достижения безопасной высоты обязан на шкале высотомера установить давление 760 мм рт. ст. В качестве исходного значения для отсчета высоты эшелона относительно давления на уровне моря в условиях СА.

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

Сведения об атмосферном давлении в мм рт. ст. на уровне ВПП обязательно передаются на борт самолета в сводке погоды, составляемой на авиаметеорологической станции. Ошибки в определении давления на уровне ВПП могут явиться причиной летных происшествий. Например, если на борт самолета передано значение давления с ошибкой на 5 мм рт. ст. в сторону превышения, то высота по барометрическому высотомеру при заходе на посадку будет завышена примерно на 50 м, что в сложных метеоусловиях может привести к столкновению самолета с наземными объектами.

Ошибки от изменения рельефа местности возникают потому, что высотомер в продолжение всего полета указывает высоту не над пролетаемой местностью, а относительно уровня изобарической поверхности, атмосферное давление которого установлено на высотомере. Чем разнообразнее рельеф пролетаемой местности, тем больше будут расходиться показания высотомера с истинным значением высоты.

Для определения истинной высоты полета необходимо учитывать поправку на рельеф пролетаемой местности. Высота рельефа определяется по карте. При расчете истинной высоты поправка на рельеф алгебраически вычитается из абсолютной высоты, а при расчете приборной высоты прибавляется.

Ошибки от изменения температуры воздуха. Шкала высотомера тарируется по стандартной средней температуре воздуха в слое измеряемой высоты. Поэтому высотомер будет правильно показывать высоту полета только при совпадении фактической средней температуры воздуха с расчетной. Но в реальных условиях фактическая температура воздуха, как правило, не совпадает с расчетной. Поэтому высотомер показывает высоту с ошибкой. Сущность этой ошибки заключается в том, что при изменении температуры воздуха у земли происходит изменение температуры и давления воздуха на высоте.

Температурная ошибка особенно опасна при полетах на малых высотах и в горных районах в холодное время года. В практике считают, что для малых высот каждые 3° отклонения фактической температуры воздуха от стандартной вызывают ошибку, равную 1% измеряемой высоты.

Температурные ошибки устраняются путем учета отклонений фактического распределения температуры от стандартного. Это особенно важно при полетах на малых высотах и в горных районах в холодное время года.

Чаще всего высота определяется по барометрическому высотомеру, который градуируется для условий **стандартной атмосферы** по барометрической формуле Лапласа (это стандартная барометрическая высота):

$$z_{CA} = 18400 \left(1 + \frac{t_{mCA}}{273} \right) \lg \frac{p_{0CA}}{p}, \quad (1a)$$

$$z_{CA} = 18400 \left(\frac{T_{mCA}}{273} \right) \lg \frac{p_{0CA}}{p}, \quad (1б)$$

где p_{0CA} , p – стандартное давление на нулевом уровне (ВПП) и высоте полета, соответственно. Средняя температура слоя от нулевого уровня (T_0) до высоты полета (T_z) по стандартной атмосфере в формуле (1a) выражена в $^\circ\text{C}$ (t_{mCA}) а в (1б) (T_{mCA}) в $^\circ\text{K}$:

$$T_{mCA} = \frac{T_z + T_0}{2}; \quad T_{mCA} = t_{mCA} + 273.$$

Для **реальной атмосферы** фактическая высота полета над изобарической поверхностью p_0 равна

$$z_\phi = 18400 \frac{T_{m\phi}}{273} \lg \frac{p_{0CA}}{p}. \quad (2)$$

В формуле (2) величина $T_{m\phi}$ – это средняя температура слоя между изобарическими поверхностями p и p_{0CA} для реальной атмосферы. Разделив (2) на (1б), получим:

$$z_\phi = z_{CA} \cdot \frac{T_{m\phi}}{T_{mCA}}. \quad (3)$$

Разница фактической высоты и показаний высотомера:

$$z_\phi - z_{CA} = z_{CA} \left(\frac{T_{m\phi}}{T_{mCA}} - 1 \right) \quad (4)$$

Погрешность определения истинной высоты вследствие расчета средней температуры слоя как средней арифметической минимальна, если вертикальный градиент температуры в слое не изменяется. Однако при наличии слоев инверсии и изотермии погрешность может достигать 10% высоты.

Из формулы (3) следует, что показания прибора окажутся завышенными, если $T_{m\phi} < T_{mCA}$, и заниженными при $T_{m\phi} > T_{mCA}$. Зимой в Арктике и Европейской части России при полетах на малых высотах показания завышаются в среднем на 8-13 %.

Таким образом, для определения истинной высоты полета по показаниям

барометрического высотомера необходимо учитывать отклонения фактического состояния атмосферы от условий СА.

3.2. Потолок самолета и параметры атмосферы

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 наименьшей 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 потребуются 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 (значения практического потолка для различных самолетов ГА смотрите в Таблице Приложения 2).

При полетах на высотах, близких к потолку, ухудшается устойчивость и управляемость самолетов. Здесь полеты выполняются с большими, чем обычно, углами атаки. Если самолет попадает в область сильных восходящих движений воздуха и положительных отклонений температуры от стандартной, то он может оказаться на закритических углах атаки. При такой ситуации не исключена возможность потери устойчивости, срыва воздушного потока и остановка двигателя. Поэтому правильное определение потолка самолета необходимо для обеспечения безопасности полета. Для этого устанавливается предельно допустимая высота полета $H_{п.д.}$. Она на 1-2 км меньше практического потолка. Предельно допустимая высота, аналогично другим летно-техническим характеристикам, относится к стандартным условиям.

Изменение потолка можно рассчитать по следующей приближенной формуле:

$$\Delta H_{пт} = H_{ф} - H_{СА} = (p_{0ф} - p_{0СА}) \cdot 8 - (T_{ф}^* - T_{СА}^*) \cdot 80, \quad (5)$$

где $p_{0ф}$, $p_{0СА}$ – фактическое и стандартное атмосферное давление у Земли, гПа; $T_{ф}^*$, $T_{СА}^*$ – фактическая и стандартная температура воздуха *на высоте тропопавузы*.

Из (5) понятно, что повышение давления у земли и понижение температуры на высоте полета приводят к повышению потолка полета. Это связано с

увеличением плотности воздуха и соответствующим ростом силы тяги двигателя. При этом влияние изменения температуры значительно сильнее сказывается на $\Delta H_{\text{пт}}$. Поэтому для определения потолка самолета иногда пользуются приближенной формулой:

$$\Delta H_{\text{п}} = H_{\text{ф}} - H_{\text{сА}} \approx 80(T_{\text{сА}}^* - T_{\text{ф}}^*), \quad (6)$$

Для практического учета изменения потолка и предельных высот полета необходима информация о фактическом состоянии атмосферы. Ее получают на основании данных радиозондирования атмосферы.

3.3. Влияние физических характеристик атмосферы на скорость полета

Для анализа влияния физического состояния атмосферы на полетные характеристики ВС ограничимся рассмотрением горизонтального полета с постоянной скоростью.

Определим скорость v , при которой возможен горизонтальный полет, исходя из условия равновесия силы тяжести и подъемной силы самолета:

$$\begin{aligned} mg &= F_y, \\ F_y &= C_y S \frac{\rho v^2}{2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где C_y – коэффициент подъемной силы, S – характерная площадь крыла в плане, ρ – плотность воздуха, m – масса ВС, g – ускорение свободного падения.

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{C_y S \rho}}. \quad (8)$$

Эта скорость называется потребной скоростью горизонтального полета. Из формулы следует, что потребная скорость (при постоянстве C_y и S) увеличивается с высотой из-за уменьшения плотности воздуха.

Точно так же скорость увеличивается с уменьшением плотности на высоте полета – например, при увеличении температуры воздуха в слое.

Согласно уравнению состояния давление и плотность связаны соотношением:

$$p = \rho R_g T,$$

где $R_g = R/\mu_v = 287$ Дж/(кг К) – газовая постоянная для воздуха. При полете на эшелоне ($p = \text{const}$) плотность обратно пропорциональна температуре.

В случае, если высота в полете выдерживается по барометрическому высотомеру, потребная скорость полета зависит только от распределения температуры. Повышение температуры воздуха на уровне полета приводит к увеличению потребной скорости, а при понижении температуры – к ее снижению, причем изменение скорости пропорционально $\sqrt{T}$:

$$v = v_{\text{сА}} \sqrt{T_{\text{ф}} / T_{\text{сА}}}, \quad (9)$$

где v и v_{CA} - фактическая скорость полета самолета и скорость полета в стандартных условиях, T_{Φ} и T_{CA} – фактическая температура воздуха и стандартная температура на эшелоне полета.

Расчеты показывают, что повышение температуры по сравнению со стандартной на 5°C приводит к уменьшению максимальной скорости примерно на 1%.

4. Порядок выполнения работы

1. Выберите из таблицы Приложения 2 модель самолета. Выпишите соответствующие значения практического потолка H_{CA} и крейсерскую скорость v_{CA} , где эти характеристики приведены для условий стандартной атмосферы (CA), в табл.2.

Таблица 2

№		В реальной атмосфере	По условиям CA
1	Средняя температура атмосферы ниже эшелона, К		
2	Температура на высоте эшелона, К		
3	Практический потолок, м, по (3)		
4	Практический потолок, м, по (6)		
5	Крейсерская скорость, км/ч		

2. По данным аэрологической диаграммы для своего аэропорта (по вариантам) определите фактическую высоту потолка. Для этого сначала рассчитайте среднюю температуру тропосферы ниже потолка по условиям в CA (T_{mCA}) по данным Приложения 1 и в реальной атмосфере по АД ($T_{m\Phi}$). Запишите эти значения в Табл. 2.

3. Значение практического потолка H_{Φ} найдите по формуле (3), полагая $H_{CA} = z_{CA}$, и запишите его в табл. 2.

4. Найдите температуру воздуха на высоте тропопаузы в стандартной и реальной атмосфере. Запишите эти значения в Таблицу.

5. По формуле (6) рассчитайте изменение высоты потолка ΔH_{Π} и высоту потолка H_{Φ} . Запишите высоту H_{Φ} в таблицу, сравните ее значение с результатами расчетов по (3).

6. Для найденного значения практического потолка в реальной атмосфере H_{Φ} рассчитайте значение воздушной скорости самолета по (10). При расчетах примите, что на выбранной высоте полета скорость ВС равна крейсерской V_{CA} в условиях CA из Приложения 2. Запишите результат в таблицу 2.

5. Контрольные вопросы

1. Что влияет на отклонение фактической высоты полета, определяемой по барометрическому высотомеру, от стандартной?
2. Как определяется высота полета (истинная, абсолютная, барометрическая)?
3. Что называется потолком самолета?
4. В чем отличие теоретического и практического потолков?
5. Что такое потребная скорость ВС? От чего она зависит?
6. Что такое стандартная атмосфера? Для чего она применяется?
7. Как изменяется практический потолок в полете?
8. . Рассчитайте плотность воздуха на высоте эшелона и сравните значение со стандартным (на уровне эшелона по СА).
9. Как будет меняться высота полета самолета относительно уровня моря и потребная скорость при осуществлении полета из Москвы в Сочи, если ВС выдерживает эшелон?
10. Как изменится высота потолка самолета и потребная скорость при попадании в слой более теплого воздуха на эшелоне?
11. На сколько метров примерно изменится предельно допустимая высота полета при положительном отклонении температуры на 10°C от стандартных условий (укажите значение в метрах).

6. Литература

1. Богаткин О.Г., Основы авиационной метеорологии. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009, Гл. 6.
2. Астапенко П.Д., Баранов А.М. Шварев И.М. Авиационная метеорология. – М. Транспорт, 1985, §§2.1-2.3.

Практическое занятие № 3 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕТРА НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНОГО СУДНА

1. Цель работы:

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

2. Материалы для работы

- 1) Данные температурно-ветрового зондирования (Аэрологическая диаграмма) с нанесенными данными о вертикальном распределении скорости ветра;
- 2) параметры стандартной атмосферы СА - Приложение 1;
- 3) Технические данные воздушного судна (ВС) - Приложение 2;
- 4) рассчитанная скорость ветра в свободной атмосфере на маршруте (по результатам Лабораторной работы №2).

3. Введение

Скорость и направление ветра оказывают значительное влияние на движение самолета.

Навигационным направлением ветра (НВ) называется угол, заключенный между северным направлением магнитного меридиана и направлением в точку, куда дует ветер. Отсчитывается оно от северного направления магнитного меридиана по часовой стрелке от 0 до 360°.

Метеорологическим направлением ветра называется угол, заключенный между северным направлением меридиана и направлением из точки, откуда дует ветер. Обычно на метеостанциях отсчитывают метеорологическое направление ветра относительно северного направления истинного меридиана.

В штурманских расчетах используется навигационное направление ветра, или так называемый навигационный ветер. Перевод метеорологического направления ветра в навигационное и обратно выполняется по формулам: $НВ = \delta \pm 180^\circ$; $\delta = НВ \pm 180^\circ$. Знак плюс берется, если δ или НВ меньше 180° , а знак минус — если δ или НВ больше 180° .

3.1. Влияние ветра на взлет и посадку ВС

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 $u_{ВПП}$ по сравнению со штилевыми условиями используются соотношения

$$\frac{t}{t_0} = 1 - \frac{u_{ВПП}}{V} \quad (1)$$

$$\frac{L}{L_0} = \left(1 - \frac{u_{ВПП}}{V}\right)^2 \quad (2)$$

где t и L – соответственно время и длина разбега при встречном ветре $u_{ВПП}$; t_0 и L_0 – то же в штилевых условиях; V – скорость отрыва (посадки) ВС.

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

Ветер любого направления можно разложить на две составляющие по отношению к ВПП: параллельную и перпендикулярную ее оси. Эта последняя и является боковым ветром. Посадка при боковом ветре осложняется еще больше, чем взлет, вследствие сильного сноса ВС. Неточный учет ветра может привести к приземлению вне ВПП. Самолет при боковом ветре подвержен воздействию разворачивающего и кренящего моментов.

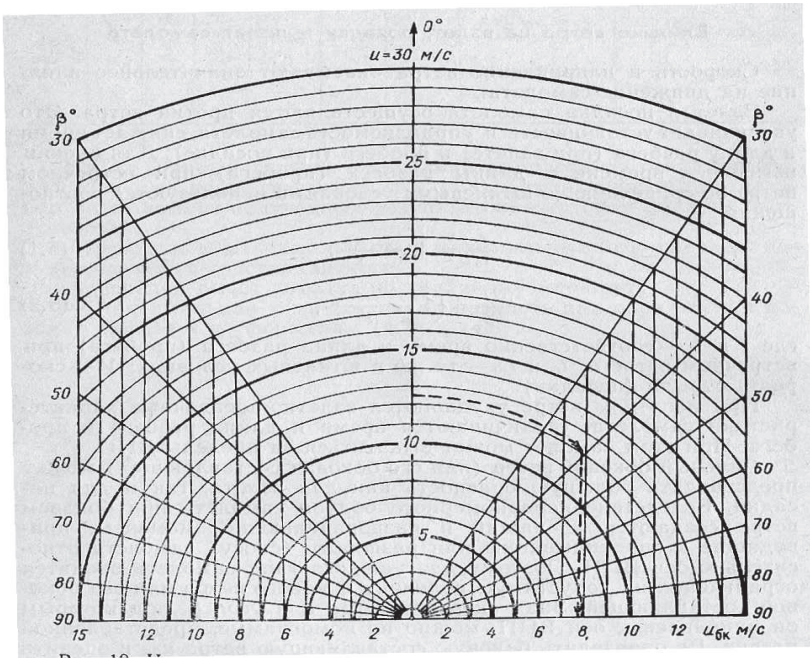


Рис.1. Номограмма для определения бокового ветра (или боковой составляющей ветра) $u_{БК}$ по скорости ветра u и углу β между направлением ветра и осью ВПП

Для обеспечения безопасности полетов для каждого типа ВС устанавливаются предельно допустимые значения скорости бокового ветра, скорости попутного и даже скорости встречного ветра. Наши магистральные самолеты могут взлетать и садиться при боковом ветре до 15 м/с на сухую ВПП и до 5-8 м/с на мокрую ВПП. Для легких самолетов скорость бокового ветра не должна превышать 10 м/с. Для попутного ветра более строгие ограничения: практически все типы ВС могут взлетать при попутном ветре, скорость которого менее 5 м/с.

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 β , под которым он направлен к оси ВПП, можно по номограмме, представленной на рис. 1, определить боковую составляющую ветра $u_{\text{БК}}$ и оценить возможность безопасного взлета и посадки самолета, сравнив боковую составляющую с ее допустимым значением.

3.2. Сдвиг ветра и его влияние на полет ВС

Характеристикой пространственной изменчивости ветра является сдвиг ветра: изменение направления и/или скорости ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие потоки. СВ определяется как векторная разность векторов ветра, измеренные в двух точках пространства. В зависимости от расположения рассматриваемых точек в пространстве различают горизонтальный (базовое расстояние – 600 м) и вертикальный (на 30 м высоты) сдвиг ветра.

Вертикальный сдвиг считается положительным, если ветер растет по величине с высотой, и отрицательным – если уменьшается. Изменение скорости ветра приводит к изменению величины подъемной силы. 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 и к «подбрасыванию» при посадке. Эти эволюции самолета в вертикальной плоскости, неожиданные для экипажа, могут привести к летному происшествию вследствие нарушения коридоров набора высоты и снижения, приземления самолета вне ВПП или выкатывания за ее пределы.

По интенсивности СВ подразделяют на слабые, умеренные, сильные и очень сильные.

Сдвиги ветра прогнозируются в следующих синоптических ситуациях: атмосферные фронты (особенно ХФ 2 рода), зоны развития кучево-дождевых облаков (Cb), инверсии и изотермии, горно-долинные или стоковые ветры, фен, низкотропосферные струйные течения (встречаются в высоких широтах зимой),

особенности застройки аэродрома.

Как показывает 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.

Таблица

Сдвиг ветра	Влияние на управление ВС	Вертикальный сдвиг на 30 м, горизонтальный- на 600 м
Слабый	Незначительное	0-2 м/с
Умеренный	Значительное	2-4 м/с
Сильный	Существенные трудности	4-6 м/с
Очень сильный	опасное	>6 м/с

3.3. Влияние ветра на полет ВС на эшелоне

Направление движения ВС при наличии ветра в полете не совпадает с продольной осью самолета: его «сносит». Поэтому летчику еще на стадии планирования полета необходимо знать, каким курсом лететь, чтобы произвести посадку в нужное время в нужном аэродроме.

Самолет относительно воздушной массы перемещается с воздушной скоростью в направлении своей продольной оси. Одновременно под действием ветра он перемещается вместе с воздушной массой в направлении и со скоростью ее движения. В результате движение самолета относительно земной поверхности будет происходить по равнодействующей, построенной на слагаемых скоростях самолета и ветра. Таким образом, при полете с боковым ветром векторы воздушной скорости, путевой скорости и скорости ветра образуют треугольник (рис. 2), который называется навигационным треугольником скоростей. Каждый вектор характеризуется направлением и величиной.

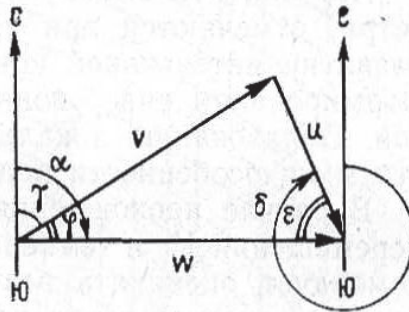


Рис. 2. Навигационный треугольник

Вектором воздушной скорости называется направление и скорость движения самолета относительно воздушных масс. Его направление определяется курсом самолета, а величина — значением воздушной скорости.

Вектором путевой скорости называется направление и скорость движения самолета относительно земной поверхности. Его направление определяется путевым углом, а величина — значением путевой скорости.

Вектором ветра называется направление и скорость движения воздушной массы относительно земной поверхности. Его направление определяется направлением ветра, а величина — значением его скорости.

Ветер оказывает существенное влияние на характеристики крейсерского полета самолета. Их изменение под действием ветра можно оценить, рассматривая навигационный треугольник скоростей (рис. 2). Он образован векторами воздушной скорости V (это «собственная» скорость самолета относительно неподвижного воздуха, направленная по оси ВС), скорости ветра u и вектор путевой скорости w (эта скорость направлена по касательной к траектории движения, указывает итоговое направление и скорость полета относительно земли):

$$\vec{w} = \vec{V} + \vec{u} \quad (3)$$

Элементами навигационного треугольника скоростей являются также углы:

- **курс самолета** γ , (угол между направлением на север и продольной осью самолета, т.е. с вектором воздушной скорости V);
- **путевой угол** α - между направлением на север и вектором путевой скорости;
- **метеорологическое направление ветра** δ (между направлением на север и направлением, откуда дует ветер);
- **угол сноса** φ между векторами воздушной и путевой скоростями (или другими словами, между продольной осью самолета и линией пути). Отсчитывается от продольной оси самолета (воздушной скорости) до линии пути вправо со знаком плюс (по часовой стрелке) и влево со знаком минус.— угол ветра между вектором путевой скорости w и вектором скорости ветра u , он отсчитывается по часовой стрелке от u .

По теореме синусов в каждом треугольнике отношение стороны к синусу противолежащего угла есть величина постоянная:

$$\frac{u}{\sin \varphi} = \frac{V}{\sin \varepsilon}.$$

Из этого отношения следует:

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{u}{V} \sin \varepsilon \\ \varphi &= \arcsin\left(\frac{u}{V} \sin \varepsilon\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Определить курс γ , необходимый для того, чтобы выдерживать направление полета по заданному путевому углу α :

$$\gamma = \alpha - \varphi. \quad (5)$$

Путевая скорость w (км/ч) определяется по формуле

$$w = u \cos \varepsilon + V \cos \varphi, \quad (6)$$

Продолжительность полета t (ч) на участке трассы длиной S (км) оценивается по соотношению

$$t = \frac{S}{w}.$$

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.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Расчет скорости бокового ветра при взлете

На кольцевой карте найдите пункты, где скорость ветра u земли ≥ 10 м/с. Метеорологическое направление ветра δ и его скорость u считайте с карты, запишите в отчет. Обязательно сделайте соответствующий чертеж в отчете, в котором укажите направление меридиана, направление ветра и ВПП. Далее, полагая направление ВПП $60^\circ - 240^\circ$, определите угол β между направлением ВПП и направлением ветра. Рассчитайте боковой ветер, используя диаграмму рис.1. *(Если вы точно знаете направление ВПП в выбранном аэродроме, то рассмотрите соответствующие значения).* Значение бокового ветра u_{δ} запишите в тетрадь и сделайте вывод о возможности взлета и посадки, считая, что при $u_{\delta k} > 10$ м/с взлет и посадка для данного ВС запрещаются.

4.2. Расчет изменения времени и длины разбега при встречном ветре

Поскольку угол между боковой составляющей ветра (u_{δ}) и сонаправленной с ВПП составляющей ($u_{ВПП}$) равен 90° , то по теореме Пифагора:

$$u_{ВПП} = \sqrt{u^2 - u_{\delta}^2}.$$

Рассчитайте значение $u_{ВПП}$ (это встречный ветер при взлете и посадке).

Далее по формулам (1) и (2) рассчитайте отношения времени и длины разбега при встречном ветре к соответствующим значениям при штилевых условиях.

Считайте, что скорость отрыва самолета составляет 190 км/ч, а скорость посадки – 240 км/ч.

4.3. Определение сдвига ветра

Используя карты барической топографии и данные температурно-ветрового зондирования (АД из лабораторной работы №1), оцените сдвиг ветра в призем-

ном слое. Для этого сделайте необходимые построения и расчеты. Запишите полученный результат в отчет и прокомментируйте – является ли он опасным для взлета и посадки ВС.

Проанализируйте изменения направления и скорости ветра с высотой. Каковы могут быть причины этих изменений? Свои предположения запишите в отчет.

4.4. Построение навигационного треугольника

Используйте результаты расчетов скорости ветра в свободной атмосфере по карте абсолютной топографии (по ЛР 2). Возьмите для расчетов и построения точку на маршруте, указанную преподавателем. Запишите величину и метеорологическое направление ветра δ в этой точке.

Определите по карте АТ путевой угол α и запишите его в отчет. Обозначив направление меридиана (север-юг), постройте в отчете навигационный треугольник, примерно (качественно) соблюдая соотношение модулей скоростей. Определите угол сноса ϕ и курс γ . Рассчитайте путевую скорость по (6). Результаты запишите в отчет.

5. Контрольные вопросы

1. Как изменяются взлетно-посадочные характеристики самолета под влиянием ветра?
2. В чем опасность сильного бокового ветра?
3. В чем опасность сильных сдвигов ветра при взлете и посадке?
4. Как определяется путевая скорость и угол сноса самолета?
5. Какие аэросиноптические условия благоприятны для возникновения сильных сдвигов ветра?

6. Литература

1. Богаткин О.Г., Основы авиационной метеорологии. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009, Гл. 7.
2. Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф., Еникеева В.Д. Практикум по авиационной метеорологии. – Л. Гидрометеониздат. 1987. – 183 с.

Практическое занятие № 4

ОЦЕНКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ И СИНОПТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПО АЭРОДРОМУ С ПОМОЩЬЮ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ

1. Цель работы

1. Уметь читать и использовать для оценки синоптической и метеорологической обстановки по аэродрому и району аэродрома приземные карты погоды, карты АТ и ОТ, тропопаузы и максимального ветра.

2. Уметь читать и использовать для оценки ожидаемой метеорологической обстановки по аэродрому и району аэродрома авиационные прогностические карты.

2. Введение

2.1. Воздушные массы и ВФЗ

Воздушные массы (географическая классификация). Наблюдения показывают, что в тропосфере можно выделить отдельные большие воздушные массы (ВМ) с разными свойствами, разделенные высотными фронтами. Смежные ВМ могут сильно отличаться по температуре, влажности, прозрачности, высоте тропопаузы и др., они длительно существуют и перемещаются, иногда наслаиваясь одна над другой. Большие по объему массы воздуха имеют соизмеримые с континентами размеры по горизонтали (2000-3000 км), а по вертикали они нередко охватывают всю тропосферу. Все ВМ при перемещениях трансформируются и приобретают черты смежных типов.

Массы различают по тем очагам, где они формируются. Выделяют **Арктическую, Умеренную и Тропическую ВМ**. Иногда отдельно выделяют также экваториальный воздух, но мы здесь будем считать его частью тропической ВМ (рассматривать как влажный тропический воздух). Кроме того, внутри каждой массы есть деление на морской и континентальный тип (например, континентальный или морской арктический воздух – кАВ и мАВ) в зависимости от подстилающей поверхности, над которой она сформировалась. Для континентального типа характерен резкий суточный и сезонный перепад температуры. Для морского – перепад меньше по величине, и характерна повышенная влажность.

Арктическая ВМ зимой термодинамически устойчива. Летом, продвигаясь над прогретым континентом, АВ становится неустойчиво стратифицированным. Прогреваясь над сушей, он быстро трансформируется в умеренную ВМ. Для АВ характерна высокая прозрачность воздуха: видимость - (20-50) км.

Умеренная ВМ подвержена влиянию арктической и тропической, т.к. располагается между ними. Бывает умеренная с признаками тропической, или умеренная с признаками арктической ВМ. Зимой – это типичная устойчивая ВМ с низкой слоистой облачностью, слабыми осадками, туманами. Летом над сушей УВМ быстро прогревается, становится неустойчивой с интенсивными конвективными облаками и осадками. Имеет четкие сезонные изменения со

значительными колебаниями температуры. Погода УВМ находится под влиянием чередующихся циклонов и антициклонов, а потому – переменчива даже в пределах одного сезона. Суточный ход температуры особенно велик в кУВ летом – более 15 градусов. Подробнее – см. [1] и материал лекций.

Интересно, что температура приземного слоя в кУВ зимой часто ниже, чем даже в арктическом при его выходе из полярных широт. А летом днем температура УВМ у земли может быть близка к тропической ВМ.

Тропическая ВМ – в целом теплая, является преимущественно устойчивой. Исключение составляет вторжение холодной массы кТВ на теплое море зимой: тогда там развиваются значительные конвективные облака, воздух становится неустойчивым (это - адвекция ХВМ). Находится под влиянием тропических антициклонов. В ряде районов наблюдается муссонная циркуляция. Видимость в тропическом воздухе часто снижена в связи с запыленностью (континентальная ТВМ) или высокой влажностью и туманами в морской ТВМ, и не превышает 6 км.

Влажный тропический воздух у экватора (экваториальный) преимущественно устойчивый, с небольшими сезонными и суточными колебаниями температуры.

2.2. Атмосферные фронты

Атмосферными фронтами (АФ) называют узкие переходные зоны между теплой и холодной воздушными массами, которые характеризуются резкими изменениями погоды, перепадом температуры и других метеопараметров.

АФ – трехмерный объект, он наклонен под острым углом к горизонту таким образом, что холодный воздух в виде клина располагается под теплым. В приземном слое (до высот 1,5-2 км) ширина переходной зоны обычно не превышает 100 км (это *приземный атмосферный фронт*). В вертикальной плоскости толщина переходной зоны обычно не превышает 1 км. Угол наклона фронтальной поверхности к горизонту не превышает 1° .

Атмосферные фронты, распространяющиеся на всю тропосферу или большую ее часть, называют тропосферными или *высокими фронтами*. Обычно они располагаются между высокими холодными циклонами и высокими теплыми антициклонами и *разделяют соседние воздушные массы* (например, УМВ и ТВМ). В этом случае они называются *высотными фронтальными зонами (ВФЗ)*. Длина ВФЗ имеет порядок 10^3 км, а ширина – 10^2 - 10^3 км. Особенно отчетливо ВФЗ прослеживается в слое 3-12 км. Она характеризуется значительными градиентами температуры, давления и значительной скоростью ветра (100 км/ч и более). С ВФЗ всегда связаны *струйные течения*, ось которых располагается под тропопаузой. На картах АТ500, АТ300 ВФЗ прослеживается по сгущению изогипс. Центральная изогипса называется осевой. Ось СТ является как бы демаркационной линией, разграничивающей в средней тропосфере области низкого давления и низких температур от области высокого давления и высоких температур.

Область между осевой изогипсой и центральной областью образующего ее циклона называют **циклонической периферией ВФЗ** (слева от оси СТ в северном полушарии), а между осевой изогипсой и антициклоном – **антициклонической периферией** (справа от оси СТ в северном полушарии). Протяженные ВФЗ (длиной более 10^4 км, иногда - на все полушарие) называют **Планетарными ВФЗ (ПВФЗ)**.

Довольно часто (а в климатическом осреднении всегда) существуют две основные ВФЗ: одна разделяет арктические и умеренные воздушные массы (ВМ) - **арктический фронт**. Другая ВФЗ проходит по северной периферии субтропических антициклонов и разделяет тропические и умеренные ВМ: ее называют **полярным (умеренным) фронтом**.

ВФЗ не являются непрерывными: местами они размываются, а потом возникают вновь. Точно определить, какие именно географические ВМ разделяет данная ВФЗ только по картам АТ иногда бывает сложно, между ними не всегда существуют четкие границы. Для уточнения характера и происхождения ВМ надо использовать дополнительную информацию с приземных карт погоды.

Как показывает опыт, ось фронтального СТ в проекции совпадает с областью максимального сгущения изогипс на картах АТ500 и ОТ500/1000. Все атмосферные фронты имеют наклон - в вертикальном разрезе располагаются «острым клином» со стороны ХВМ. Таким образом, сама ось СТ располагается под тропопаузой, но ее проекция на приземную карту оказывается смещена от линии фронта у поверхности земли: на 200-300 км за холодным участком фронта и на удалении 400-600 км перед теплым участком фронта.

В отличие от высотных, **приземные** или низкие фронты распространяются на пограничный слой воздуха (1-3 км от подстилающей поверхности). **Они всегда возникают в циклонах или барических ложбинах.**

2.3. Барические системы. Правило ведущего потока

Циклоны - области пониженного давления с замкнутыми изобарами и общей циркуляцией воздуха против часовой стрелки. Согласно барическому закону ветра, у земли ветер отклоняется от изобар в сторону низкого давления, то есть к центру циклона. В результате в Ц наблюдается схождение ВМ и вызванное ей восходящее движение воздуха, а это, в свою очередь, приводит к активному формированию облаков.

Ложбины – это узкие вытянутые полосы пониженного давления, расположенные на периферии **циклона** или между двумя антициклонами (без замкнутых изобар на картах). **Ось ложбины** является областью сходимости приземных ветров, поэтому погода в ложбине, как правило, облачная с осадками и сильными ветрами. Часто вдоль оси проходят атмосферные фронты, которые и обуславливают погоду в данной ложбине. Поле воздушных течений и погодные условия имеют циклонический характер.

Для циклонов характерна переменчивая дождливая, ветреная (до штормовой) погода, часто с продолжительными туманами, а зимой — с обильными снегопадами и метелями. Циклоны умеренных широт возникают на высотных атмосферных фронтах при их волнообразном искривлении и проходят 4 стадии развития: *стадия волнового циклона (волны), молодого циклона, максимального развития и окклюзии* – рис. 1.

Вследствие сходимости в циклоне оказываются рядом (граничат) две воздушные массы — холодная и теплая, отделяемые друг от друга атмосферными фронтами (АФ). Различают холодные фронты (1 и 2 рода), тёплые, стационарные (малоподвижные) и фронты окклюзии. Общее движение АФ в циклоне — также против часовой стрелки. На картах ХФ обозначают с помощью кривой с треугольниками, вершины которых направлены в сторону движения ХФ. Тёплый фронт (ТФ) — линией с полукружиями, также направленными в сторону движения. ХФ всегда движется быстрее ТФ. В результате ХФ догоняет ТФ, при их слиянии образуется фронт окклюзии (он обозначается на карте чередующимися треугольниками и полукружиями вдоль линии) - рис. 1 в, г.

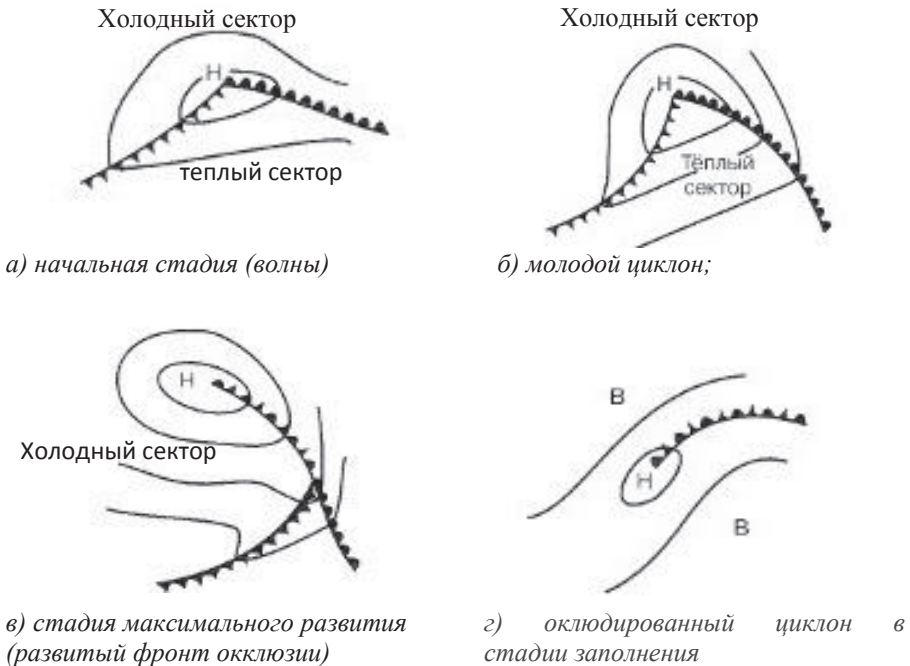


Рис. 1. Стадии развития циклона на карте приземного давления

В циклонах выделяют тёплый и холодный сектор. Тёплый сектор охватывает клиновидную часть площади циклона между тёплым и холодным АФ на

юге, а холодный сектор – более обширную остальную часть (см. рис. 1 рассмотрен циклон северного полушария). Постепенно по мере развития циклона (формирование фронта окклюзии) теплый сектор сужается и вытесняется на юг, вся ВМ циклона становится холодной.

В соответствии с направлением движения выделяют также переднюю и тыловую часть циклона.

Всем приземным АФ сопутствуют хорошо развитые облачные системы, что создает сложные условия для осуществления полетов (подробнее см. [1, 2] и Приложение 5).

На каждом полярном фронте возникает обычно не единичный циклон, а серия циклонов один за другим. Они перемещаются вдоль фронта и вследствие уменьшения скорости после окклюзии обычно нагоняют друг друга и сливаются в одну обширную высокую и малоподвижную депрессию (подробнее – см. [1] и материал лекций).

Подвижные циклоны и антициклоны перемещаются как единые вихри в общем в направлении *ведущего потока*. *Под ведущим потоком подразумевают общий перенос воздуха на высотах 3-6 км* в направлении изогипс (на карте поверхности АТ700 или АТ500 над центром циклона). Среднее направление потока – с запада на восток. При движении Ц отклоняются от направления изогипс влево (в сторону более высоких широт, где давление ниже), а АЦ – вправо (в сторону роста давления). Скорость перемещения вихря меньше скорости ведущего потока и составляет в среднем около 0,6-0,8 от скорости ветра на поверхности 700 гПа в зависимости от стадии развития вихря: чем старше циклон, тем меньше скорость его перемещения, на 3-й и 4-й стадиях циклоны становятся малоподвижными.

Антициклоны (АЦ) – области повышенного давления с замкнутыми изобарами, общая циркуляция воздуха – по часовой стрелке. АЦ также проходят ряд стадий развития: низкий холодный АЦ, теплый высокий блокирующий АЦ и разрушающийся АЦ. Возникают антициклоны в тыловой части молодого циклона в холодной ВМ. Для АЦ характерна малооблачная погода, слабый или умеренный ветер (подробнее – см. [2]).

Гребень – или **отрог** — вытянутая часть антициклона с хорошо выраженной осью, вдоль которой изобары имеют наибольшую кривизну, но замкнутые изобары отсутствуют.

Седловина – область, расположенная между двумя накрест лежащими циклонами и двумя антициклонами. Изобарические поверхности имеют вид седла. Погода: слабые ветры, облачно с прояснениями.

2.4. Оценка условий полета с помощью синоптических карт

Синоптическая обстановка (синоптическая ситуация) – это совокупность взаимосвязанных синоптических объектов – воздушных масс, фронтов, барических систем, струйных течений над некоторым участком земной поверх-

ности, определяющая состояние погоды. Эта информация отражена на картах абсолютной барической топографии, ее изучали в лабораторной работе № 2.

Метеорологическая обстановка (метеоусловия) – это состояние атмосферы, которое характеризуется метеорологическими элементами в определенный момент времени или за определенный период.

Метеорологические элементы – это метеорологические величины, характеризующие состояние атмосферы и атмосферные явления: давление, температура и влажность воздуха, ветер, облачность, вид выпадающих осадков, видимость, туманы, метели, грозы и т.д.. Эта информация наносится на карты погоды, прогностические карты и карты особых явлений погоды, а также передается по проводным каналам связи с авиаметеорологических станций (АМСГ) в виде технических телеграмм в закодированном виде.

В зависимости от уровня в атмосфере различают приземные и высотные карты погоды. **Приземные карты погоды** составляются по результатам метеорологических наблюдений, передаваемых наземными и морскими метеостанциями.

В зависимости от назначения составляются приземные карты погоды различного масштаба и территорий: полушарий, части континента (основные карты), нескольких административных районов (кольцевые карты).

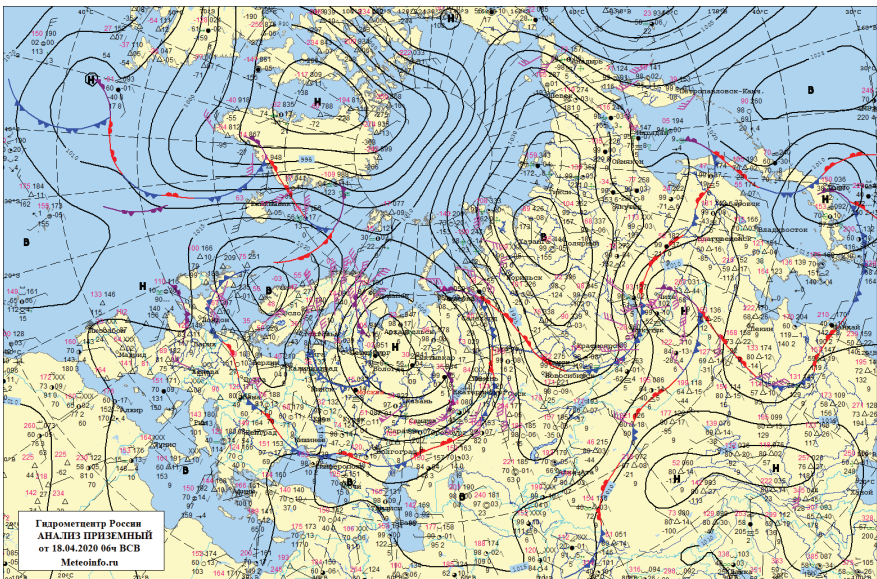


Рис. 3. Пример карты приземного анализа. BCB – всемирное согласованное время, совпадающее со временем по Гринвичу. (<https://meteoinfo.ru/mapsynop>)

Анализ макромасштабных атмосферных структур с помощью синоптических карт позволяет выделить общую синоптическую обстановку над регионом, что является основой для последующего прогноза условий погоды. Карты наблюдений за погодой с выделенными на их основе положениями атмосферных фронтов и обозначением барических систем у земли, называют **картами приземного анализа** (пример приведен на рис 3 и 4).

Метеорологическая информация наносится на карту в виде цифр и символов, отражающих условия погоды у поверхности Земли и сведения об облаках. Подробнее – см. Приложение 4. Для визуализации распределения погодных условий на карте цветом обозначены точки наблюдений с однородными (одинаковыми) метеоявлениями: синий – снегопады, зеленый – зоны обложных и ливневых осадков; желтый – туманы и дымки, красный – смерчи, фиолетовый – пыльные (песчаные) бури – рис. 4.

По проведенным на картах изобарам можно определить расположение барических систем, определяющих погоду в районе, а по значениям **барических тенденций** – оценить интенсивность и стадию развития (углубление или заполнение циклонов, например).

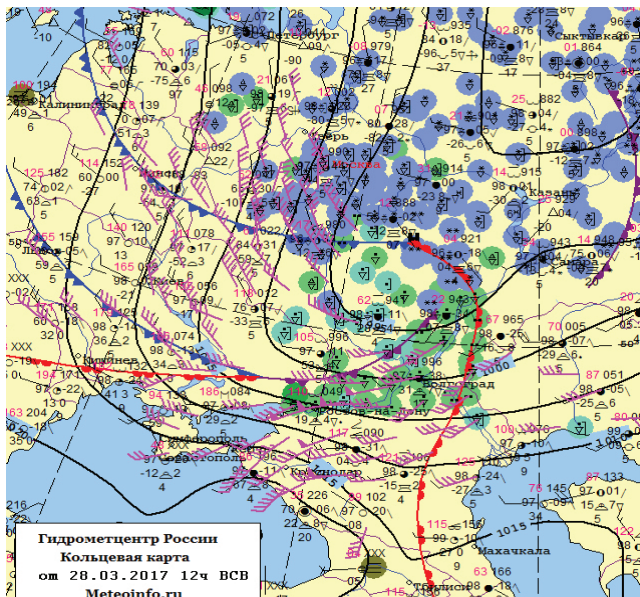


Рис. 4. Пример кольцевой карты с указанным положением атмосферных фронтов, ветра. (<https://meteoinfo.ru/mapsynop>)

Карта OT500/1000 дает представление о распределении тепла и холода в нижней половине тропосферы, о положении ВФЗ и ее интенсивности. Сопос-

тавляя карту ОТ с приземной, можно уточнить стадию развития барических образований, их термическую структуру, дать качественную оценку процессам фронтогенеза и фронтолиза.

Основные карты погоды составляются по данным за основные сроки наблюдений: 00, 06, 12 и 18 часов. Гринвичского времени. Масштаб карт 1:15000 000, 1:20 000 000, проекция стереографическая, полярная, главный масштаб по параллели – 60°. Все типы карт составляются в Главном авиаметеорологическом центре (ГАМЦ) и зональных авиаметеорологических центрах для закрепленных за ними районов.

Дополнительные карты погоды, или кольцевые, составляются на основе данных в промежуточные сроки (03, 09, 15 и 21 час по Гринвичу). Масштаб кольцевых карт меньше – 1:5 000 000, микрокольцевых карт – 1:2 500 000, проекция стереографическая, полярная.

На синоптических картах указаны также число, месяц, год и час, для которого составлена карта.

2.5. Минимумы погоды

Минимум – это общий термин, обозначающий в соответствующих случаях предельные условия, при которых разрешается выполнять полеты подготовленному командиру ВС, эксплуатировать ВС, использовать аэродром для взлета и посадки ВС. Минимум погоды определяется двумя величинами: высотой нижней границы облаков (НГО) и видимостью (видимостью на ВПП).

Для обеспечения безопасности и регулярности полетов устанавливаются следующие минимумы: аэродрома, воздушного судна, командира ВС и вида авиационных работ.

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

Минимум аэродрома для посадки – минимально допустимые значения видимости на ВПП и НГО, при которых разрешается выполнять посадку на ВС данного типа. Высота принятия решения (ВПР) – установленная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случаях, если до достижения этой высоты командиром ВС не был установлен визуальный контакт с ориентирами для захода на посадку. ВПР отсчитывается от начала участка ВПП, который может использоваться для посадки ВС.

Минимум воздушного судна для взлета – минимально допустимые значения видимости на ВПП, позволяющие безопасно производить взлет на ВС данного типа.

Минимум воздушного судна для посадки – минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВПР, позволяющие безопасно производить посадку на ВС данного типа.

Минимум командира воздушного судна для посадки – минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВПР (ВНГО), при которых командиру разрешается безопасно производить посадку на ВС данного типа.

Минимум командира воздушного судна для взлета – минимально допустимые значения видимости на ВПП, при которых командиру разрешается безопасно производить взлет на ВС данного типа.

Существует также **минимум командира ВС для полета по правилам визуального полета** – минимально допустимые значения видимости и высоты НГО, при которых командиру ВС разрешается выполнять визуальные полеты на ВС данного типа.

В каждом конкретном случае всегда учитываются все три минимума погоды: аэродрома, ВС и командира ВС, и из этих трех минимумов выбирается наибольший. Например, если минимум аэродрома 100×1000 , ВС – 50×500 , а командира ВС – 80×1500 , то этот летчик на этом ВС может сесть на этот аэродром при погоде не хуже, чем 100×1500 .

Во многих аэропортах (в частности, в России и странах СНГ) существуют метеоминимумы для визуального захода на посадку, которые рассчитываются по специальным методикам в зависимости от наличия искусственных (телевышки, мачты, высокие здания и т.п.) и естественных (возвышенности) препятствий вблизи аэродрома, скорости захода воздушного судна на посадку.

Типичные значения таковы:

- *визуальный заход на посадку для самолётов 4 класса (Ан-2 и им подобные) и вертолётов всех типов – видимость 2000-3000 м, высота нижней границы облаков – (150-300) м;*
- *визуальный заход на посадку для самолётов 1, 2, 3 класса (Ан-24 и все более тяжёлые) – видимость 5000 м, высота нижней границы облаков 600 м.*
- *Большую опасность для ВС представляют грозы, шквалы и Сб в районе аэродрома, а также сдвиг ветра и боковой ветер.*
- *При наличии и прогнозировании фронтальных гроз в горной местности запрещено принимать решение на вылет по ПВП ниже нижнего эшелона.*
- *При визуальном определении Сб или Си согл. Их необходимо обходить на расстоянии не менее 10 км. При невозможности обхода на заданной высоте разрешается визуальный полет под или над облаками.*

Условия полета по правилам визуального полета приведены в табл.1 и Приложении 6. Полет под облаками разрешен только днем вне зоны ливневых осадков, если высота полета ВС **над подстилающей поверхностью** не менее истинной безопасной высоты, но всегда не менее 200 м в равнинной и холмистой местности и не менее 600 м в горах.

Условия полета

Таблица 1

по правилам визуального полета вне схемы захода на посадку и вылета

Условия полета ВС	Истинная скорость полета	Высота нижней границы облаков (ВНГО)	Видимость, м	Вертикальное расстояние от ВС до НГО
Равнинная и холмистая местность	≤ 300 км/ч	150 м	2000 м	50 м
	301-450 км/ч	300 м	5000 м	100 м
Горная местность высотой до 2000 м)	≤ 450 км/ч	300	5000	100

3. Материалы и принадлежности

Комплект карт: АТ500, приземного давления Р0, карта приземного анализа погоды, приземная (кольцевая) карта погоды.

4. Содержание и порядок выполнения работы

4.1. По приземной карте погоды (кольцевой карте) определите 1-2 аэропорта, где запрещены полеты по правилам визуального полета (Табл.1) и/или заход на посадку по правилам визуального захода на посадку (см. Приложение 6). Перенесите (перерисуйте) обозначения возле кружка станции в отчет, расшифруйте все значки наноски (см. Приложение 4). Напишите, по каким именно условиям запрещен взлет–посадка.

4.2. Нанесите эти точки на карты АТ500 и карту приземного давления Р0. Определите и **обозначьте стрелками направление СТ** (высотных фронтов). Подпишите на АТ500 название ВМ (предположительно), которые разделяет участок ВФЗ в регионе расположения аэропорта.

Далее результаты анализа синоптической и метеорологической ситуации записываем в Таблицу 2.

4.3. Определите, **в какой барической системе** с указанием сектора (например, в холодном секторе высокого циклона) расположен аэродром. Сделайте обоснованное предположение о стадии развития циклона (волновой, молодой, максимального развития, на стадии окклюзии по картам АТ разных уровней и кольцевой карте). По правилу ведущего потока определите перемещение барической системы, покажите его направление на карте приземного давления пунктирной стрелкой. Используйте информацию о барической тенденции в регионе. Ведущий поток нижней половины тропосферы характеризуют изогипсы на картах АТ700 и АТ500. Его направление используется при анализе и прогнозе перемещения барических систем и атмосферных фронтов. Запишите свои выводы в Табл.2. п.1.

4.4. Если рассматриваемая барическая система циклон или ложбина, определите положение пункта относительно приземных атмосферных фронтов. Нарисуйте на кольцевой карте и карте приземного давления Р0 их положение,

используя принятые в метеорологии обозначения. Учтите особенности расположения АФ при разных стадиях развития циклона (см. рис. 1, 2 и Приложение 5) и карты приземного анализа. Запишите в п.1, к какому сектору циклона относится положение аэродрома в этом случае.

Если выбранный аэродром лежит вне циклона вдали от АФ, то рассмотрите и охарактеризуйте любой ближайший циклон.

4.5. Опишите подробно наблюдаемое согласно нанеске опасное для ГА явление погоды. Определите, вследствие какого процесса оно возникло. Например, для облака *Cb* и грозы надо обоснованно предположить – является ли явление внутримассовым или фронтальным, для тумана – радиационным или адвективным и пр.. Учтите географическое положение аэропорта, рельеф местности и местное время: возможность возникновения местных ветров (бриз, горно-долинные ветры и пр.). Оформите свои выводы в Табл.2. п. 2

4.6. Сделайте предположения о том, в какой воздушной массе (арктической, умеренной, тропической) располагается станция (аэродром) и запишите его в Табл. 2 п. 3.

Синоптическая ситуация и метеоусловия по аэродрому. Таблица 2

Аэродром _____

Дата _____

местное время _____ время по Гринвичу (UTC) _____

	Характеристика синоптической ситуации	описание
1	Барическая система, стадия развития, смещение и пр.	
2	Явления погоды:	
3	Воздушная масса	
4	Признак, по которому взлет-посадка по ПВП запрещены:	
5	Прогноз на ближайшие 3 часа о возможности взлета, посадки и полетов по ПВП:	

Рекомендации: при определении типа ВМ: учтите расположение станции относительно струйных течений. Не забывайте также, что холодный циклон и теплый антициклон являются высокими, а значит – прослеживаются и у земли, и на карте АТ500. Рассмотрите данные наноски на соседних точках района (температура, облачность, явления погоды, барическая тенденция), проанализируйте их распределение на карте. Последнее особенно полезно при определении сектора циклона или вида АФ в нем. Если вы определили,

что точка находится в циклоне, то определите, в какой его части она находится (передней, тыловой, центральной, теплом или холодном секторе). Ряд явлений может указывать на прохождение приземного АФ (см. [2] и приложения 4-5).

4.7. Сделайте вывод о возможности для взлета и посадки на аэродроме в рассматриваемое время по приведенным выше **типичным значениям** видимости и ВНГО, а также предположение о такой возможности в ближайшие 3 часа по правилам визуального полета. Для этого обратите внимание на барическую тенденцию, общее направление ветра, стадию развития циклона. Запишите свои выводы в Табл.2. п. 4-5.

Заполненная Таблица 2 представляет собой вывод по работе. К ней должны прилагаться расшифровка обозначений с кольцевой карты для пункта (аэродрома) и три карты с **отмеченным аэродромом** и нанесенными обозначениями:

- 1) на карте АТ500 положение СТ (ВФЗ) сплошными стрелками,
- 2) на картах Р0 и кольцевой в районе рассматриваемой точки направление смещения барической системы по правилу ведущего потока пунктирной стрелкой и **положение АФ**, используя принятые в метеорологии обозначения (см. Прил. 5).

5. Контрольные вопросы

1. Какие явления погоды обозначают на картах погоды? Приведите значки для обозначения грозы, ливневых осадков, тумана и дымки.
2. Сформулируйте барический закон ветра в слое трения. К каким вертикальным движениям в циклоне и антициклоне он приводит? К каким метеоявлениям и условиям, опасным для полетов ГА, приводят эти движения?
3. Назовите и кратко охарактеризуйте стадии развития циклона и антициклона.
4. Сформулируйте правило ведущего потока для разных стадий циклогенеза.
5. Какие опасные явления погоды наблюдаются в циклонах? В антициклонах?
6. В каких барических системах возникают приземные атмосферные фронты?
7. Перечислите виды АФ и охарактеризуйте погоду в них.
8. Какие географические ВМ выделяют в метеорологии? Каковы их свойства?

6. Литература

3. Богаткин О.Г.. Авиационная метеорология. – Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 2009., §§ 9.5-9.7 с.151-164.
4. Позднякова В.Н. Практическая авиационная метеорология. §6, с.16-27; §12, с.57-61.
5. Федеральные авиационные правила. "Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации". Утверждены приказом Минтранса России от 31.07.2009 № 128

Лабораторная работа №1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЕТРОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

1. Цель работы

Получить навыки работы с аэрологической диаграммой. Провести качественный анализ состояния атмосферы по данным температурно-ветрового зондирования.

2. Материалы для работы

1. Бланк аэрологической диаграммы (АДКТ).
2. Данные комплексного температурно-ветрового зондирования атмосферы над заданным пунктом (таблица ТАЭ).
3. Цветные карандаши (маркеры).

3. Краткое теоретическое введение

3.1. Основные положения температурно-ветрового зондирования атмосферы, линии на бланке аэрологической диаграммы

В этой работе используется косоугольная аэрологическая диаграмма (АД), вертикальная ось которой уже размечена в единицах высоты при выполнении Практического занятия №1. АД представляет собой термодинамический график с системой шкал и нанесенных кривых, позволяющих по ним и по фактическим данным зондирования быстро определить многие необходимые термодинамические параметры состояния атмосферы.

На бланках АД нанесены следующие изолинии:

изотермы - наклоненные под углом примерно 50° к изобарам линии, справа у их окончаний указаны значения температуры в $^\circ\text{C}$;

изогаммы - короткие наклонные, почти параллельные изотермам отрезки в нижней части АД, являются изолиниями отношения смеси водяного пара; они показывают, как меняется точка росы при подъеме воздуха определенной влажности;

сухие адиабаты (серые сплошные наклонные линии) описывают изменения температуры *ненасыщенного* воздуха, поднимающегося в атмосфере: T меняется по сухадиабатическому закону – 1 градус на 100 м высоты (это, так называемый, сухадиабатический градиент γ_a).

влажные адиабаты (серые пунктирные наклонные линии) описывают изменения температуры *насыщенного* влажного воздуха, поднимающегося в атмосфере. Его температура меняется по влажноадиабатическому закону: $\gamma_{\text{ва}} < \gamma_a$.

Цифры, стоящие у концов влажных адиабат сверху, указывают значения соответствующих им псевдопотенциальных температур - это температура, которую примет частица, если после подъема ее сухадиабатически перемес-

тить на уровень $P = 1000$ гПа при условии полной конденсации пара и удаления влаги путем выпадения осадков при подъеме.

Изобары – это горизонтальные синие линии, подписанные слева в гПа (1000, 900, ...). Вертикальная координата на АД – давление, выраженное в гПа (1 гПа = 100 Па = 1 мб). В результате выполнения Практического занятий №1 на бланке должна быть записана и высота каждого уровня в метрах над уровнем моря.

Кривая стратификации – это кривая вертикального распределения температуры $T(z)$, построенная по данным комплексного температурно-ветрового зондирования в данный срок. При отклонении кривой стратификации $T(z)$ влево от изотерм температура с высотой падает, при отклонении этой кривой вправо относительно изотерм – растет. Последний случай наблюдается в слоях **инверсий**, и такие слои выделяются на АД желтым цветом. Определяется мощность (толщина в м и/или гПа) и интенсивность (приrost температуры T , °C) инверсионного слоя. Аналогично выделяются и слои постоянства T – изотермические слои.

Днеграмма – это вертикальное распределение значений точки росы $T_d(z)$. Сближение (расхождение) кривых $T(z)$ и $T_d(z)$ свидетельствует об увеличении (уменьшении) относительной влажности в воздухе на данном уровне.

Напомним, что **точка росы** – это температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы достичь состояния насыщения водяного пара при данном влагосодержании и неизменном давлении. При дальнейшем понижении температуры влага начнет конденсироваться (выпадает роса). Точка росы определяется относительной влажностью воздуха. Чем выше относительная влажность, тем точка росы ближе к фактической температуре воздуха. Если относительная влажность составляет 100 %, то точка росы равна фактической температуре, и кривые $T(z)$ и $T_d(z)$ совпадают.

Дефицит точки росы – это разность температуры атмосферы и точки росы в слое:

$$\Delta t = T(z) - T_d(z).$$

3.2. Состояние атмосферы по АД

По кривой стратификации $T(z)$ определяют нижнюю границу (уровень) тропопаузы. **Уровень тропопаузы** – это высота, где вертикальный температурный градиент уменьшается до $0,2^\circ/100$ м, при этом его величина в вышележащем 2 км слое не превышает данное значение. Минимальная высота уровня тропопаузы в средних широтах не опускается ниже 8 км. Приблизительно уровень тропопаузы можно определить на АД как уровень, где кривая стратификации в верхней тропосфере (не ниже 8 км) испытывает «излом» и становится почти параллельной изотерме. Этот уровень отмечается коричневой линией с обозначением высоты и температуры.

Для оценки возможности развития конвективной облачности и ливневых осадков на АД выделяют **конвективно-неустойчивые слои** (КНС). КНС – это

слои, каждая частица которого имеет возможность участвовать в свободной конвекции. Для этого необходимо, чтобы *вертикальный температурный градиент был больше сухадиабатического (в ненасыщенном воздухе) или больше влажадиабатического (в насыщенном воздухе)*. В первом случае температура уменьшается на 100 м высоты более, чем на 1 градус. При этом прогностическое значение имеет максимальный по толщине КНС в течение дня, который определяется с учетом максимального дневного прогрева приземного слоя воздуха. Отмечается также мощность КНС - толщина слоя от нижней границы до верхней в км.

Определить КНС по диаграмме можно, сравнивая *наклон кривой стратификации и сухих (влажных) адиабат*. Если $T(z)$ отклонена от адиабат вправо (то есть идет под меньшим углом к вертикальной оси по сравнению с адиабатами) – это устойчивая стратификация, влево – неустойчивая. Для сравнения выбираем сухие адиабаты, если воздух в слое ненасыщен, и влажные - если в слое 100% влажность.

Особые условия для развития вертикальных движений, облачности, распространения света и звука создают инверсии. *Инверсиями* называют слои в тропосфере, где температура увеличивается с высотой. Инверсии являются устойчивыми слоями, подавляющими все вертикальные движения. Приподнятые инверсии часто являются верхними границами облаков соответствующего яруса. В атмосфере выделяют толщину слоя инверсии (в м), и перепад температур на нижней и верхней границе.

Таблица 1

Средние значения дефицита точки росы ($^{\circ}\text{C}$), при которых наблюдается или отсутствует облачность

Р, гПа	Облачность		Р, гПа	Облачность	
	наблюдается	отсутствует		наблюдается	отсутствует
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			

Облачные слои и безоблачные прослойки определяются с помощью АД следующим образом. Данные дефицита точки росы на различных уровнях сравниваются со значениями, приведенными в Табл. 1. На тех уровнях, где реальный дефицит точки росы Δt меньше или равен значениям, приведенным во втором столбце табл. 1, следует указывать облачность, если же он больше или равен значениям в третьем столбце, то облачность отсутствует. Для облачных

слоев на аэрологической диаграмме характерны однообразный ход температуры воздуха с высотой с вертикальным градиентом, близким к влажно-адиабатическому или превышающим его.

Верхняя и нижняя границы каждого облачного слоя выделяются на волнистой линии синего цвета (рис. 2).

Для иных (промежуточных) значений Δt для прогноза облаков необходимо привлекать дополнительные методики, которые выходят за рамки изучаемого здесь курса. В этом случае не нужно указывать наличие облаков на диаграмме.

Обледенение отмечается в тех слоях атмосферы, где наблюдается отрицательная температура воздуха в слое облаков или зоне 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 (ψ).

3.3. Термик и его кривая состояния

Из-за неравномерного прогрева подстилающей поверхности в силу различий ее свойств (теплоемкость, альбедо, расположение и рельеф) некоторый объем воздуха может прогреться сильнее окружающего, и, следовательно, оказаться менее плотным, чем окружающий воздух. Тогда под действием силы Архимеда этот относительно теплый объем воздуха начнет подниматься вверх. Это явление называется термической конвекцией, а сама поднимающаяся воздушная частица – **термиком**. Термик часто бывает «легче» окружающего воздуха не только благодаря более высокой температуре, но и большей влажности: масса молекулы водяного пара меньше, чем средняя масса молекул воздуха, состоящего на 78% из азота и 21% из кислорода. При определенных условиях (высокая неустойчивость атмосферы и большая влажность воздуха) термик может превратиться в кучевое *Сi*, а затем – и в кучево-дождевое облако *Сb*.

Согласно [2] первоначально термик представляет собой компактный объем теплого (влажного) воздуха, но постепенно образуется тороидальный вихрь. Перед фронтом термика образуется турбулентное течение, и окружающий воздух смешивается с фронтом термика. Ядро термика представляет собой вращающийся тор, причем это вихревое кольцо все время перекачивается относительно окружающего воздуха. За время, пока термик поднимается на высоту, равную примерно полтора его диаметрам, он «выворачивается наизнанку», то есть каждая его часть проходит через зону смешения и оказывается разбавленной. В верхней части термика вблизи его передней границы течение очень нестабильно. В то же время каждый горизонтальный слой воздуха, сквозь который проникает термик, огибает и вовлекается в него.

Для прогноза состояния атмосферы в дневное время на АД наносится кривая изменения состояния воздушной частицы (термика) при ее адиабатическом подъеме. Этот график часто называют просто **кривой состояния (КС)**.

Для построения кривой состояния необходимо сначала спрогнозировать температуру термика у земли (это ожидаемая максимальная приземная темпе-

ратура T_{max}). Для ее определения следует от уровня, высота которого указана в Таблице 2, 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 максимальное значение температуры воздуха T_{max} при безоблачном небе. Ее и будем принимать как начальную температуру термика у земли. При наличии облачности максимальная температура рассчитывается более сложным образом.

Таблица 2

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

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

Примечание: Ожидаемая приземная температура для летнего период средней полосы России примерно на 14^0 С больше температуры воздуха на поверхности в 850 мб. Можно считать, что $T_{max} = T_{850} + 14^0$ С.

В случае приземной инверсии температуры построения начинаются от значений T и T_d на ее верхней границе.

Итак, в результате локального перегрева у земли воздушная частица расширится, станет менее плотной, чем окружающий воздух, и начнет конвективное движение вверх под действием силы Архимеда (превратится в термик). При подъеме термик расширяется, т.к. атмосферное давление с высотой уменьшается. Поскольку за время подъема теплообмен между термиком и окружающим его воздухом не успевает осуществиться, то это расширение можно считать адиабатическим. Как известно из курса термодинамики, при адиабатическом расширении газа его температура уменьшается. Пока содержащийся в термике пар ненасыщен, температура термика при подъеме будет понижаться по сухоадиабатическому закону: на 1^0 на 100 м подъема (это **сухоадиабатический градиент** $\gamma_a = 1^0/100$ м). На этом этапе движения кривая состояния будет параллельна сухим адиабатам на АД. На некоторой высоте, называемой **уровнем конденсации (УКд)**, температура термика окажется равной **точке росы**: воздух в нем станет насыщенным, начнется процесс *конденсации*. Характер процессов в адиабатически поднимающейся воздушной частице выше **УКд** меняется с сухоадиабатического на влажноадиабатический.

Для нахождения уровня конденсации необходимо на АД построить два прямых отрезка: 1) отрезок прямой, параллельный сухим адиабатам, и прохо-

дящий через начальную (нижнюю) температуру термика T_{max} и 2) фрагмент прямой, параллельной ближайшим изограммам, проведенной от нижней точки депеграммы T_d . Высота, на которой пересекутся эти отрезки, и будет **УКд**.

Выше УКд понижение температуры термика при подъеме замедлится вследствие выделения скрытой теплоты конденсации при превращения пара в капли воды (именно поэтому $\gamma_{ва} < \gamma_a$). Кривая состояния пойдет по влажной адиабате. Практически обычно приходится проводить влажную адиабату, интерполируя между двумя соседними влажными адиабатами, проведенными на бланке АД. Эту влажную адиабату следует продолжать вверх до тех пор, пока она не пересечется с кривой стратификации. На этой высоте температура термика и окружающей его атмосферы станут равными, а, следовательно, пропадет причина, вызвавшая движение. Эта высота называется **уровнем конвекции**, поскольку она определяет верхнюю границу конвекции (см. рис. 1, 2).

Уровень конденсации приблизительно совпадает с **нижней границей внутримассовой конвективной облачности (НГО)**. В действительности НГО может быть несколько выше УКд в связи с вовлечением окружающего воздуха в поднимающиеся термики.

В слое от нижней до верхней границы конвекции будут развиваться вертикальные движения воздуха - тем интенсивнее, чем больше площадь между кривыми стратификации и состояния. Скорости восходящего потока внутри облаков в среднем растут от основания до верхней трети облака, выше — убывают по мере приближения к его верхней кромке. Уровень конвекции — это предельное значение возможной высоты верхней границы конвективных облаков. В действительности верхняя граница бывает ниже в силу ряда причин: осушения термика вследствие подмешивания окружающего воздуха с пониженной влажностью и испарения капель, а также выпадения капель в виде осадков. Степень завышения тем больше, чем суше окружающий облако воздух. Степень завышения верхней границы конвективной облачности тем больше, чем суше окружающий облако воздух.

Для Центральных районов Европейской территории страны приближенно можно считать, что если энергия неустойчивости достаточно велика, а температура на верхней границе облачности ниже -22°C , то можно ожидать развития кучево-дождевой облачности с грозами. Если же температура на верхней границе облаков в диапазоне от -10°C до -22°C , то очень вероятны ливневые осадки. А если на верхней границе облаков температура выше -10°C , то обычно развивается лишь кучевая и мощно-кучевая облачность без ливней и гроз.

Для формирования кучево-дождевых облаков с ливнями и грозами в атмосфере необходим очень большой запас влаги. Если над вершинами кучевых облаков воздух очень сух, то даже при больших вертикальных скоростях восходящих потоков облако вверх почти не растет. Суммарный дефицит точки росы (разность температуры и точки росы) на главных изобарических поверхностях в слое, где формируется кучевая облачность — 850, 700 и 500 гПа (1,5; 3; 5,5 км соответственно) — одна из величин, по которой можно судить о воз-

возможности образования облака из термика. Если суммарный дефицит превышает 25°C , т. е. воздух очень сухой, то конвекция обычно не приводит к формированию мощной конвективной облачности и выпадению осадков.

Таким образом, **КС** изображается в виде кривой, состоящей из отрезка сухой адиабаты, проходящей от исходного нижнего уровня подъема частицы воздуха до **уровня конденсации**, и отрезка влажной адиабаты, продолжающейся выше до **уровня конвекции**.

Площадь между КС и кривой стратификации характеризует величину энергии неустойчивости, или работы, совершаемой силой плавучести при адиабатическом подъеме единичной массы воздуха. Если КС расположена правее кривой стратификации $T(z)$, то адиабатически поднимающаяся частица теплее окружающего воздуха и, значит, ускоряется вверх. Энергия неустойчивости положительна, если КС находится правее кривой стратификации, и отрицательна в обратном случае. Чем больше эта площадь, тем больше энергия неустойчивости.

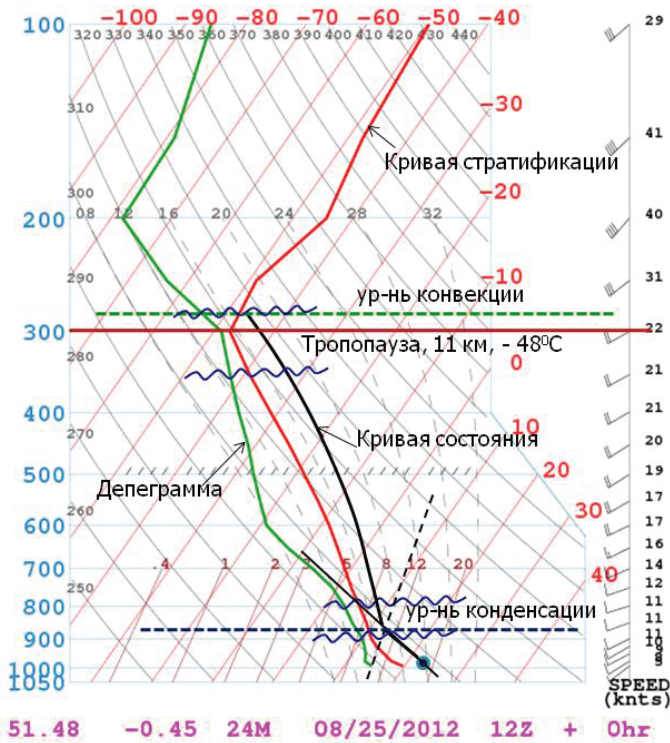


Рис. 1. Пример построения кривой состояния (КС) и анализ состояния атмосферы на аэрологической диаграмме

Уровень конденсации термика, прогнозируемого на рис.1, находится примерно на высоте поверхности 870 гПа. Далее термик движется по влажной адиабате, и из него возможно формирование кучевого облака. Термик обладает большим запасом энергии неустойчивости – уровень конвекции даже немного превысил уровень тропопаузы. Температура на уровне конвекции ниже -40°C , а значит, термик может превратиться в кучево-дождевое облако (верхняя часть *Cb* всегда состоит из ледяных кристаллов). В целом атмосфера устойчиво стратифицирована, ниже 950 гПа – слой безразличной стратификации (фрагмент кривой $T(z)$ идет параллельно сухим адиабатам). До высоты 800 гПа дефицит точки росы около 2 градусов, поэтому есть вероятность существования слоистых облаков.

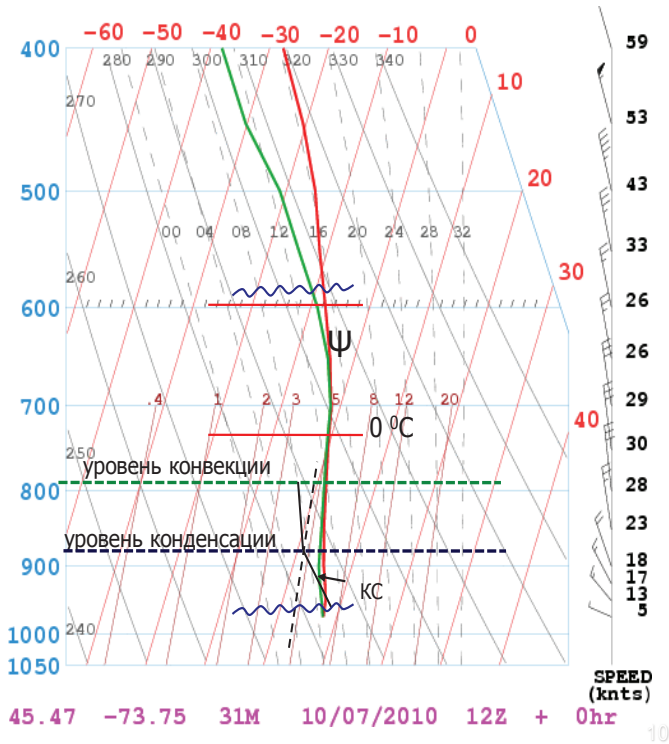


Рис. 2. Пример построения кривой состояния (КС) и анализ состояния атмосферы на аэрологической диаграмме.

Данные АД рис. 2 показывают, что весь слой атмосферы до 650 гПа находится при 100% влажности, что указывает на наличие облачности и/или тумана. Атмосфера устойчиво стратифицирована (вертикальный градиент температуры примерно равен влажноадиабатическому). Эти условия в целом неблагоприятны для развития конвекции.

гоприятны для термической конвекции. Очевидно, что на рис. 2 от земли и примерно до 600 гПа следует указать наличие облаков, а выше нулевой изотермы - обледенение.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Анализ состояния атмосферы:

1. Определите и обозначьте коричневой линией нижнюю границу тропопаузы, укажите высоту (над у.м.) и температуру на ее уровне.
2. Исследуйте атмосферу на наличие задерживающих слоев (инверсии и изотермии). Выделите эти уровни и слои на АД отрезками линий, параллельных изобарам. Закрасьте задерживающие слои желтым цветом, запишите на ее верхней границе толщину слоя (в м) и перепад температуры.
3. Определить наличие и границы КНС. Границы указываются отрезками синего цвета. КНС между ними подписывается с указанием его мощности в метрах, которую приблизительно определяют по размеченной вертикальной шкале.
4. Нанести на бланке отрезками красного цвета и подписать уровни важных изотерм: 0, -10, -20 °С.
5. Определите по АД дефицит точки росы на стандартных уровнях 850-200 гПа. Запишите значения Δt в Таблицу 3. Выделите зоны облачности, пользуясь Табл. 1. Обозначьте их волнистой синей линией на АД.

Таблица 3

Слой, Мб *)	Средн $T, ^\circ\text{C}$	Перепад высот, м	Тип стратификации (уст, неуст., безразл)	Дефицит точки росы $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Наличие Облачности (+ или -)	Наличие обледенения (+ или -)
1000-850						
850-700						
700-500						
500-300						
300-200						
200-100						

*) слои могут быть различной толщины (высоты) в зависимости от состояния атмосферы на каждой конкретной АД.

5. По результатам обработки диаграммы провести качественный анализ состояния исследуемого слоя атмосферы, основные результаты которого отразить письменно в «выводе» по работе. **Вывод** должен содержать информацию об устойчивости или неустойчивости всего слоя тропосферы или отдельных ее слоев; о наличии или отсутствии условий возникновения облачности и осадков, благоприятных и неблагоприятных факторах их развития, оценку возможной

вертикальной мощности облаков. Следует отметить наличие инверсий и изотермий, положение и температуру тропопаузы.

4.2. Построение кривой состояния (КС)

1. На АД спрогнозируйте начальную температуру термика (у поверхности земли) по описанным выше методикам.
2. Постройте кривую изменения состояния (КС) воздушной частицы. Определите и подпишите на АД уровень конденсации и уровень конвекции (см. п. 3.3).
3. Покажите результаты преподавателю.
3. Определите знак энергии неустойчивости и заштрихуйте на бланке красным цветом площадь между КС и кривой стратификации с положительной и синим – с отрицательной энергией.
4. Рассчитайте суммарный дефицит точки росы в слое между уровнем конденсации и конвекции на главных изобарических поверхностях — 850, 700 и 500 гПа. Определите по АД температуру на уровне конвекции и сделайте вывод о возможном образовании облака из термика, запишите выводы в конспект.

5. Контрольные вопросы

1. Опишите назначение и покажите на АД линии: сухие и влажные адиабаты, изограммы, депеграммы, изотермы?
2. Что такое кривая стратификации? Кривая состояния?
3. Как определить уровень конденсации по аэрологической диаграмме?
4. Как определить уровень конвекции?
5. Как определить зоны возможного обледенения?
6. Что такое тропопауза и как определить ее положение на АД?
7. Какие слои в атмосфере выделяют, исходя из вертикального распределения температуры?
8. Что такое точка росы? Как определить ее значение по АД?
9. Как по данным АД определить слои со 100% влажностью?
10. Что такое инверсии в атмосфере? Каковы условия их образования?
11. В каком случае атмосфера устойчиво (неустойчиво) стратифицирована? Какие при этом условия для вертикальных движений?

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология // Учебник. М.: Наука, 2006. — 584 с.
2. Скорер Р., Аэрогидродинамика окружающей среды – М.: Мир, 1980. – 550 с.
3. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. - Владивосток: ДВГУ, 2005 — 523 с.
4. Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф., Еникеева В.Д. Практикум по авиационной метеорологии. – Л. Гидрометеиздат. 1987. – 183 с.

Лабораторная работа №2

ЧТЕНИЕ И АНАЛИЗ КАРТ БАРИЧЕСКОЙ ТОПОГРАФИИ РАСЧЕТ СКОРОСТИ ГЕОСТРОФИЧЕСКОГО ВЕТРА

1. Цель работы:

- научиться читать карты абсолютной и относительной барической топографии, разбирать условные обозначения на синоптических картах;
- определять по картам барической топографии скорость и направление ветра; барические системы (циклон, антициклон, ложбину, гребень, седловину), струйные течения, расположение зон турбулентности ясного неба.

2. Материалы для работы

Карты АТ500, АТ300, прогностические карты за конкретный день по вариантам.

3. Краткое теоретическое введение

3.1. Синоптические карты

В определенные сроки одновременно на всех аэрологических станциях производят запуск зондов. Поднимаясь в атмосфере, радиозонд достигает какого-то уровня с заданным давлением или уровня той или иной стандартной изобарической поверхности. Но в более теплой воздушной массе (ВМ) давление убывает медленнее, чем в холодной. Следовательно, при одинаковом атмосферном давлении у поверхности Земли на одной и той же высоте в атмосфере давление в разных точках будет различным. Например, на уровень 5,5 км для станции, находящейся в теплом воздухе, давление может составить 560 гПа, а в более холодном – 488 гПа. Следовательно, уровень, где давление составляет 500 гПа, будет располагаться выше для станции, которая находится в теплой ВМ, и ниже для станции в холодной ВМ.

Карты *абсолютной барической топографии* (АТ) содержат сведения о высоте стандартной изобарической поверхности (850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 гПа) над уровнем моря и некоторых характеристиках погоды на этой высоте. *Изогипсы* абсолютной топографии объединяют точки равных высот над уровнем моря (в геопотенциальных декаметрах). Карта изогипс АТ500 (т.е. изобарической поверхности 500 гПа) изображает рельеф этой поверхности в данный момент времени над рассматриваемой территорией – Евразией, Северным полушарием и т.д. По распределению абсолютных высот той или иной изобарической поверхности можно судить о распределении давления на уровне, вблизи которого располагается данная изобарическая поверхность. На картах АТ высоты изогипс увеличиваются в областях антициклонов и понижаются – в циклонах. Карты АТ составляются по данным радиозондирования в 00, 06, 12 и 18 часов UTC.

Картой **относительной топографии** данной изобарической поверхности называется карта топографии этой поверхности по отношению к нижележащей изобарической поверхности. На географическую карту в пунктах наблюдений наносят высоты данной изобарической поверхности, отсчитанные не от уровня моря, а от выбранной нижележащей изобарической поверхности. Относительная высота одной изобарической поверхности (H_2) относительно другой (H_1) (H измеряется в геопотенциальных декаметрах) зависит только от средней температуры воздуха T_{cp} между двумя изобарическими поверхностями P_1 и P_2 :

$$H_2 - H_1 = 6,74 T_{cp} \lg P_1/P_2.$$

В частности, по относительной высоте поверхности 500 гПа относительно поверхности 1000 гПа можно судить о средней температуре слоя между этими поверхностями:

$$H_{500} - H_{1000} \approx 2 T_{cp}$$

На картах приводится также температура воздуха на уровне изобарической поверхности в градусах Цельсия TT ; точка росы в градусах Цельсия $T_d T_d$. Кружком с перьями обозначается направление ветра на уровне изобарической поверхности (рис.1). В повседневной оперативной работе принято составлять карты относительной топографии ОТ 500-1000 за два срока (00 и 12 ч UTC).

Карты термобарических слоев тропосферы строят совмещением изогипс карт относительной и абсолютной топографии (обычно ОТ 500/1000 и 700 гПа). Карта термобарического поля является необходимым средством для определения адвективных и динамических факторов, обуславливающих развитие атмосферных процессов.

Обозначения на картах абсолютной (АТ) и относительной (ОТ) топографии

На картах АТ и ОТ наносятся изолинии (черным цветом) геопотенциальных высот (изогипсы), центры высотных циклонов и антициклонов; на картах ОТ обозначают также изотермы (красными линиями). В точках расположения станций наносится соответствующая информация подобно карте погоды (см. рисунок ниже): значение высоты (разности высот) стандартных изобарических поверхностей в геопотенциальных метрах ($H H H$ - на рис.1); температура воздуха в $^{\circ}C$ ($T T T$ на рис.1); точка росы или дефицит точки росы в $^{\circ}C$ ($T_d T_d T_d$ на рис.1); $f_n f_n$ – скорость ветра (обозначается с помощью оперения, как на картах погоды); направление ветра указывается стрелочкой от кружка станции (как на картах погоды). При нанесении значения модуля скорости ветра на оперении стрелки (в ее конце) используют следующие обозначения: малое перо – 2,5 м/с, большое – 5 м/с, зачерненный треугольник – 25 м/с.

Направление стрелки указывает направление ветра (на рис.1 – юго-восточный ветер, то есть дует с юго-востока на северо-запад). **Метеорологическое направление** определяется как угол δ в градусах между направлением меридиана (север-юг) и направлением, куда дует ветер, как показано на рис 2.

Например, северный ветер имеет направление 0° , восточный – 90° и т.д. На рис 2 северный ветер изображен со значением скорости 15 м/с (три длинных пера), западный – 25 м/с и т.д.

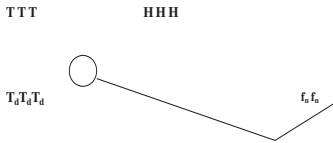


Рис. 1. Информация на картах АТ в точке расположения метеостанции.

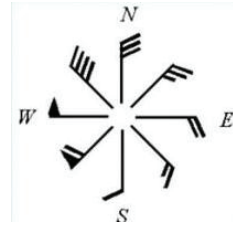


Рис. 2. Обозначение скорости ветра на картах погоды.

Вспомогательные карты погоды

На карте тропопаузы проводят изолинии равных значений давления, области наибольших и наименьших высот тропопаузы, а также изотермы и области тепла и холода. Температуру воздуха, дефицит точки росы, ветер наносят так же, как и на картах АТ.

Карты максимального ветра предназначены для уточнения высоты струйного течения, его оси, горизонтальных и вертикальных сдвигов ветра. Пункты с одинаковой скоростью соединяются сплошными черными линиями – **изотахами** (линиями равных скоростей). Изотахи проводят через 10 м/с, начиная от 30 м/с. Ось струйного течения обозначают сплошной жирной стрелой, а зеленым цветом - области максимальных ветров, очерчиваемые изотахой 30 м/с (около 100 км/ч); красным цветом обозначают центральные области максимальных ветров и ставят красным карандашом скорость максимального ветра, высоту оси струйного течения. Кроме того, на этих картах обозначают положение центров основных барических образований.

Авиационные прогностические карты погоды (АКП), Prognosis of significant weather charts, составляются Всемирным центром зональных прогнозов (ВЦЗП) Лондон, Главным авиационным метеорологическим центром ГАМЦ И зональным центром (ЗАМЦ.) составляются на фиксированное время: 00, 06, 12 и 18 UTC. 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 - 400 -100гПа, (FL250-FL630);

3) карты особых явлений погоды для средних и высоких уровней: (от700до150гПа)-(FL100-450);

4) нижних слоев (ниже 700 гПа, FL100).

Карта опасных явлений погоды даёт прогноз некоторых метеорологических элементов у поверхности земли для определенных районов на срок (обычно на 6 часов), указанный на карте. Время указывается гринвичское, в скобках - московское. На прогностических картах показаны зоны турбулентности, обледенения, пыльных бурь, кучево-дождевые облака *Cb*, вулканы, тайфуны, струйные течения, тропопауза. Надписывается (дробью) высота верхней и нижней границ слоев обледенения и атмосферной турбулентности, слоя СТ. Если высота верхней (нижней) границы облачности или особых явлений погоды превышает высоту уровня карты, то вместо ее числового значения указывается обозначение XXX.

На приземной прогностической авиационной карте приводятся прогнозируемые значения температуры воздуха, количество, форма и высота верхней и нижней границы облачности в десятках метров. Условными обозначениями указываются ожидаемые условия погоды, осложняющие выполнение полетов: гроза, град, турбулентность, обледенение, шквалы, положение приземных атмосферных фронтов. При этом предполагается, что символы *Cb* и грозы отражают наличие умеренной или сильной турбулентности, обледенения и града. Высота нулевой изотермы проводится (в десятках метров) относительно уровня моря. Значения высот размещаются внутри прямоугольников в выборочных точках (подробнее об обозначениях на прогностических картах см. Приложение 3).

3.2. Болтанка

Интенсивная турбулентность, на каком бы уровне она ни возникала, определяется в основном вертикальными и горизонтальными градиентами ветра и температуры. Направление и скорость ветра в зонах турбулентности испытывают резкие и быстрые изменения в пространстве. Толщина слоев обычно (80% случаев) не превышает 1 км (обычно 300-600 м), горизонтальная протяженность – 60-80 км. Наибольшая повторяемость зон – в нижнем слое атмосферы (до 2-3 км) и под тропопаузой (выше 6 км). Турбулентность вызывает **болтанку ВС**.

Время существования турбулентной зоны в среднем - 5 ч. В верхней тропосфере – не более 2 ч.

Интенсивность болтанки определяется перегрузкой: отношением вертикального ускорения ВС, вызванного турбулентностью, к ускорению свободного падения. Болтанка считается слабой при перегрузке до 0,5, умеренной при приросте перегрузки до $\pm 1,0$, сильная более $\pm 1,0$ при вертикальных порывах 10-15 м/с. При посадке болтанка умеренная $\pm(0,3-0,4)$, сильная - более $\pm 0,4$. Полет в тур-

булентной зоне более 10-15 мин опасен.

Перегрузки ВС в полете измеряются с помощью акселерометров, акселерографов и субъективно по ощущению экипажа.

Различают следующие виды турбулентности в зависимости от вызвавших ее причин: *динамическая, орографическая и термическая турбулентность. Динамическая (механическая) турбулентность возникает вследствие трения воздушного потока о поверхность земли и неоднородности самого потока.* Чем больше скорость ветра и шероховатость подстилающей поверхности, тем интенсивнее динамическая турбулентность. Динамическая турбулентность наблюдается в слоях атмосферы, где имеются резкие изменения ветра по скорости и по направлению, как по вертикали, так и по горизонтали. Такие условия обычно наблюдаются в слоях инверсий и изотермий; в зоне тропопаузы, где ее наклон составляет 1/200 или 1/300, в струйных течениях, где наблюдаются большие изменения скорости ветра на границе трения быстро движущихся потоков с более спокойной окружающей средой, а также на границах раздела ВМ в зонах атмосферных фронтов. Сильная турбулентность часто отмечается в зоне холодного фронта второго рода и за ним на расстоянии до 150 км от приземной линии фронта. Иногда в зоне холодных и теплых фронтов в слое от 300 до 1500 м наблюдается струйное течение низких уровней, с которым также может быть связана сильная атмосферная турбулентность.

Орографическая турбулентность (в нижнем слое до 1,5 км). возникает в результате деформации воздушного потока над горами и над подветренной стороной гор. Для развития орографической турбулентности благоприятны следующие условия: ветер со скоростью более 10 м/с вблизи вершины горы, направленный почти перпендикулярно горному хребту; в воздушном невозмущенном потоке ветер усиливается до высоты, примерно в полтора раза превышающей высоту хребта, а затем с увеличением высоты резко ослабевает, если невозмущенный поток воздуха стратифицирован устойчиво. На подветренной стороне хребта формируются вихри с горизонтальной осью – роторы. Над зоной роторов в атмосфере часто наблюдается система подветренных волн (горные волны). Наиболее опасный для ВС вихрь образуется под первым гребнем горной волны, ближайшим к хребту. Для него характерно роторное облако – видимый признак орографической болтанки.

Термическая турбулентность (неупорядоченная конвекция) возникает вследствие неравномерного нагревания подстилающей поверхности. Этот вид турбулентности имеет четко выраженный суточный и годовой ход и наиболее сильно проявляется над сушей летом в послеполуденные часы местного времени, когда она охватывает слой атмосферы от поверхности земли до высоты 2-2,5 км.

Термическая турбулентность не наблюдается зимой в умеренных широтах над сушей, покрытой снегом, благодаря большому альбедо снега. Влажная почва замедляет процесс развития термической турбулентности, т.к. тепловая энергия расходуется на испарение воды с поверхности почвы. Неустойчивая

стратификация атмосферы и слабый приземный ветер со скоростью менее 7 м/с благоприятны для развития термической турбулентности. При адвекции холодного воздуха развитие термической турбулентности усиливается, а при адвекции теплого воздуха – ослабевает.

Турбулентность при ясном небе, ТЯН (*clear air turbulence – CAT*, англ.) – это турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности. Она часто связана со струйными течениями и высотными фронтальными зонами. Наибольшая повторяемость умеренной и сильной турбулентности отмечается на холодной циклонической стороне (периферии) струйного течения несколько ниже его оси.

По картам АТ можно прогнозировать зоны болтанки на эшелоне полета. Анализ материалов полетов позволил установить связь болтанки и особенностей барического поля (рис. 3). Как видно из рис. 3, болтанка вероятна в зонах сходимости и расходимости изогипс. Часто это бывает на входе (в истоке) и выходе (устье) СТ.

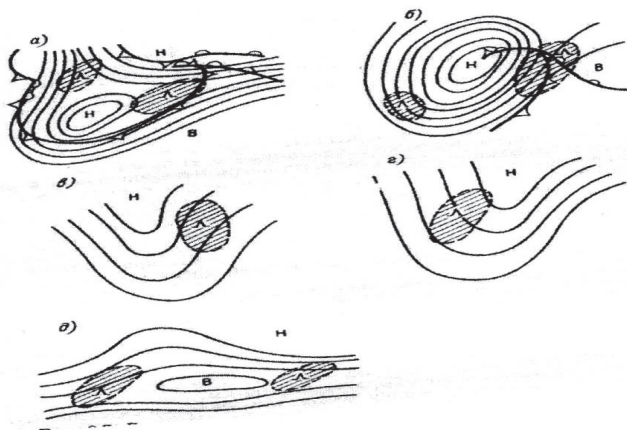


Рис. 3. Распределение и положение зон болтанки при различных типах синоптических ситуаций.

Ось СТ (линия в пространстве, где скорость максимальна) располагается под тропопаузой (на высоте 9-12 км в зависимости от широты и сезона). Приблизительно определить ее положение на карте АТ можно по сгущению изогипс. Попутное СТ может облегчить выполнение полета, если лететь в направлении ветра (экономия топлива и времени полета). Однако турбулентность ясного неба, встречающаяся в зоне СТ, особенно опасна на высотах, близких к практическому потолку самолета, где устойчивость и управляемость ВС ограничена. Перед вылетом синоптик обязательно доводит информацию о турбу-

лентности и СТ до экипажа. Она указана на прогностических авиационных картах.

При попадании в зону сильной болтанки, обусловленную наличием СТ, следует изменить высоту полета ВС на 300-400м.

При попадании в зону сильной турбулентности при полетах в горной местности на высотах менее 900 м командир ВС должен с разрешения диспетчера вывести ВС из этой зоны с набором высоты, возвратиться на аэродром вылета или следовать на запасной.

Вертикальные вихри (смерчи), *Cb* – экипаж обязан обходить на удалении не менее 30 км от их видимых боковых границ.

Орган УВД должен своевременно сообщать экипажам о наличии и/или прогнозировании атмосферной турбулентности в контролируемом воздушном пространстве.

При обнаружении в полете облаков *Cu cong.* или *Cb* разрешается обходить их на удалении не менее 10 км. Полет под облаками разрешается только днем вне зоны ливневых осадков, если высота над рельефом и строениями не менее истинной безопасной высоты, но всегда не менее 200 м в равнинной и холмистой местности, и не менее 600 м в горной местности при расстоянии по вертикали от ВС до облака – не менее 200 м.

3.3. Направление и скорость ветра в свободной атмосфере и в слое трения

Движение воздуха определяется действием на воздушную частицу силы горизонтальной проекции силы барического градиента, силы Кориолиса и силы трения в пограничном слое (в пределах 1-1,5 км от поверхности). Воздух движется по траектории, для которой соблюдается равновесие этих сил. **Геострофический ветер** определяется балансом F_p и $F_{кор}$ при прямолинейных изобарах и отсутствии трения:

$$v_g = \frac{1}{2\omega\rho\sin\varphi} \frac{\partial p}{\partial n}, \quad (1)$$

где $\omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{с}^{-1}$ – угловая скорость вращения Земли, φ - географическая широта пункта, dn – расстояние между ближайшими изобарами, dp – разность давления между ними, ρ - плотность воздуха.

На практике удобна несколько иная форма выражения (1). Воспользуемся связью между геопотенциалом Φ и геопотенциальной высотой H :

$$H = \frac{\Phi}{9,80665} \quad \text{и} \quad \Phi = gz \approx gH.$$

Запишем уравнением статики в виде:

$$dp = -\rho g dz = -\rho d\Phi \approx -\rho g dH..$$

Тогда формула (1) для модуля скорости геострофического ветра примет вид:

$$v_g = \frac{g}{2\omega\sin\varphi} \frac{\partial H}{\partial n}, \quad (2)$$

где dn – расстояние между изогипсами в окрестностях расчетной точки, dH – перепад геопотенциальных высот изобарической поверхности в точках, ограничивающих dn .

Направление геострофического ветра в свободной атмосфере (выше слоя трения) определяется правилом: ветер дует вдоль изобар, оставляя область пониженного давления слева в северном полушарии (в южном – справа).

При криволинейных изобарах на частицу действует также центробежная сила, и возникающий в результате равновесия этих трех сил ветер называется **градиентным**. Однако, как показывает опыт и расчеты, рассмотрение ветра как геострофического является хорошим первым приближением для атмосферы вне тропической зоны даже при небольшой кривизне изобар.

В слое трения скорость ветра уменьшается по величине и приобретает составляющую, направленную от изобар в сторону низкого давления. По этой причине в нижних слоях в циклоне воздух оттекает от периферии к центру Ц, двигаясь против часовой стрелки. В антициклоне к составляющей по изобарам добавляется компонента, направленная от центра АЦ к периферии. Угол отклонения от изобары имеет среднее значение 40^0 , он меняется в зависимости от состояния подстилающей поверхности, скорости ветра и вертикальной стратификации атмосферы.

4. Порядок выполнения работы

1. Согласно своему варианту обозначьте и подпишите на прогностической карте и картах АТ (АТ 500, АТ300 и/или АТ 200 по вашему варианту) аэродром вылета и прилета.

2. В географическом регионе, где будет проложен маршрут, выделите зоны максимальной скорости ветра (струйных течений) на карте АТ: обозначьте пунктирной стрелкой направление. Ось СТ определяем как зону максимального сгущения изогипс (часто - на южной периферии циклонов в северном полушарии или по их границе). Направление ветра определите по барическому закону ветра в свободной атмосфере.

3. Определите вероятные зоны болтанки по расположению барических систем и конфигурации изогипс (рис. 3), рельефу местности и направлению ветра по отношению к горной системе. Сопоставьте их с данными прогностической карты для района. Обозначьте турбулентные зоны на карте АТ-500 (или АТ-300), как это принято на прогностических картах. Изобразите облака *Cb* в районе полета.

4. Исходя из положения барических систем, зон болтанки и *Cb*, направления ветра и расположения струйных течений постройте на карте АТ карандашом маршрут полета «туда и обратно». Покажите результат преподавателю. При построении следует воспользоваться прогностическими картами варианта в случае, если карта охватывает район маршрута. Учтите положение струйных течений и направление ветра. Если ветер попутный - то лучше

«встроиться» в СТ и лететь по его оси. Если ветер встречный - наоборот, надо обойти СТ.

5. В точках, отмеченных преподавателем, рассчитайте скорость геострофического ветра по (2). Учтите, что изогипсы на карте АТ 500 гПа проведены через 4 гп. Дам.

Найдите приблизительно (с точностью до 5 градусов) метеорологическое направление ветра (δ), ориентируясь на направление изогипс и меридианов на карте. Запишите метеорологическое направление в градусах и значение скорости ветра в м/с для каждой точки в отчет:

$$1) v_{g1} = \dots \text{м/с}, \delta_1 = \dots^\circ.$$

$$2) v_{g2} = \dots \text{м/с}, \delta_2 = \dots^\circ,$$

Покажите результаты преподавателю. Обозначьте ветер на карте в соответствующих точках в виде стрелок с оперением.

6. Расшифруйте и подпишите обозначения на авиационных прогностических картах. Используя АКП, охарактеризуйте синоптические и погодные условия по маршруту на срок прогноза. Определите облака (укажите их нижнюю и верхнюю границу), зоны болтанки и обледенения. Дайте характеристику СТ: высоту оси, направление и скорость ветра. (Например, струйное течение наблюдается в слое 5-12 км, максимальный ветер на высоте около 9 км составляет 270 160 км/ч). Нанесите соответствующие обозначения на используемую для построения маршрута карту АТ.

Отчет по работе должен содержать

1. Построенный маршрут на карте АТ500 гПа, очаги болтанки, облака *Cb* при их наличии в районе пролегания маршрута (перенести с прогностических карт).
2. Результаты расчетов скорости ветра в выбранных точках должны быть указаны 1) в виде записи значения и направления ветра (см. п.6 выше) и 2) на картах в виде стрелок с оперением.
3. Прогностическую карту с расшифрованными обозначениями.

5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение изогипсы. В каких единицах измеряется высота изобарических поверхностей?
2. Дайте определение барических систем: циклон, антициклон, ложбина, гребень и седловина (см. описание Практического занятия №4). Найдите их на карте АТ 500 своего варианта.
3. Как обозначается ветер на картах АТ?
4. Дайте определение геопотенциального метра. Чем он отличается от геометрического метра.
5. Каковы средние высоты основных изобарических поверхностей?
6. Какие силы действуют на воздушную частицу в атмосфере?
7. Что такое геострофический ветер?

8. Каково направление ветра в слое трения и в свободной атмосфере (барический закон ветра)? Сделайте чертеж с указанием направления действующих сил.
9. Для каких целей используется карта ОТ 500/1000?
10. От каких факторов зависит высота изобарической поверхности?
11. Дайте определение СТ. Как можно определить по АТ положение оси СТ? Каково значение СТ для навигации?
12. Как можно определить среднюю температуру слоя по картам ОТ?
13. Какая информация наносится на авиационные прогностические карты? На какой срок они составляются? Расшифруйте ее на карте своего варианта.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Астапенко П.Д., Баранов А.М. Шварев И.М. Авиационная метеорология. – М. Транспорт, 1985. §§ 3.1-3.5, 4.3
2. Сафонова Т.В. Авиационная метеорология. – Ульяновск. НИЛ НОТ НИО УВАУ ГА(и), 2009. с. 206-224.
3. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для летного и диспетчерского состава. - Екатеринбург. Уральский УАТЦ ГА. 2010. 113 с.

Приложение 1. ПАРАМЕТРЫ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ (ГОСТ 4401-81)

Геометри- ческая высота H, м	Величины в функции геометрической высоты	Температу- ра T, К	Давление p, Па	Плотность ρ , кг/м ³	p/p_0	$(\rho)/(\rho)_0$	Скорость звука a, м/с	Кинематич- еская вязкость (ν), м ² /с
0		288,150	1,01325 + 5	1,22500	1,00000	1,00000	340,294	1,4607—5
250		286,525	9,83576 + 4	1,19587	9,70714—1	9,76220—1	339,333	1,4897
500		284,900	9,54613	1,16727	9,42130	9,52876	338,370	1,5195
750		283,276	9,26346	1,13921	9,14232	9,29964	337,403	1,5500
1000		281,651	8,98763	1,11166	8,87010	9,07477	336,435	1,5813
1500		278,402	8,45597	1,05810	8,34539	8,63759	334,489	1,6463
2000		275,154	7,95014	1,00655	7,84618	8,21676	332,532	1,7147
2500		271,906	7,46917	9,56954—1	7,37150	7,81187	330,563	1,7868
3000		268,659	7,01212	9,09254	6,92042	7,42248	328,584	1,8628
3500		265,413	6,57804	8,63402	6,49202	7,04818	326,592	1,9429
4000		262,166	6,16604	8,19347	6,08541	6,68854	324,589	2,0275
4500		258,921	5,77526	7,77038	5,69973	6,34317	322,573	2,1167
5000		255,676	5,40483	7,36429	5,33415	6,01166	320,545	2,2110
5500		252,431	5,05398	6,97469	4,98784	5,69362	318,505	2,3107
6000		249,187	4,72176	6,60111	4,66002	5,38866	316,452	2,4162
6500		245,943	4,40755	6,24310	4,34991	5,09641	314,385	2,5278
7000		242,700	4,11053	5,90018	4,05677	4,81648	312,306	2,6461
7500		239,457	3,82997	5,57192	3,77988	4,54850	310,212	2,7714
8000		236,215	3,56516	5,25786	3,51854	4,29213	308,105	2,9044
8500		232,974	3,31542	4,95757	3,27206	4,04700	305,984	3,0457
9000		229,733	3,08007	4,67063	3,03979	3,81276	303,848	3,1957
9500		226,492	2,85847	4,39661	2,82109	3,58907	301,697	3,3553
10000		223,252	2,64999	4,13510	2,61533	3,37559	299,532	3,5251
10500		220,013	2,45402	3,88570	2,42193	3,17200	297,351	3,7060
11000		216,774	2,26999	3,64801	2,24031	2,97797	295,154	3,8988
11500		216,650	2,09847	3,37429	2,07103	2,75453	295,069	4,2131
12000		216,650	1,93994	3,11937	1,91457	2,54643	295,069	4,5574
12500		216,650	1,79340	2,88375	1,76995	2,35408	295,069	4,9297
13000		216,650	1,65796	2,66595	1,63628	2,17629	295,069	5,3325
13500		216,650	1,53276	2,46464	1,51272	2,01195	295,069	5,7680
14000		216,650	1,41703	2,27855	1,39850	1,86004	295,069	6,2391
14500		216,650	1,31006	2,10654	1,29293	1,71963	295,069	6,7486
15000		216,650	1,21118	1,94755	1,19534	1,58983	295,069	7,2995
15500		216,650	1,11977	1,80057	1,10513	1,46985	295,069	7,8954
16000		216,650	1,03528	1,66470	1,02174	1,35894	295,069	8,5397
16500		216,650	9,57173 + 3	1,53911	9,44657—2	1,25642	295,069	9,2366
17000		216,650	8,84970	1,42301	8,73398	1,16164	295,069	9,9902
17500		216,650	8,18224	1,31568	8,07524	1,07403	295,069	1,0805—4
18000		216,650	7,56521	1,21647	7,46628	9,93034—2	295,069	1,1686
18500		216,650	6,99480	1,12475	6,90333	9,18160	295,069	1,2639
19000		216,650	6,46747	1,03995	6,38290	8,48942	295,069	1,3670
19500		216,650	5,97997	9,61565—2	5,90178	7,84951	295,069	1,4784
20000		216,650	5,52929	8,89097	5,45699	7,25793	295,069	1,5989
21000		217,581	4,72892	7,57146	4,66708	6,18078	295,703	1,8843
22000		218,574	4,04748	6,45096	3,99456	5,26609	296,377	2,2201

Приложение 2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

	Тип самолета										
	ИЛ-62	ИЛ-96	ТУ -154	ТУ -134	ТУ -204	АН-24	АН-124	ЯК-42	ЯК-40	Boeing737-700	A380-800
Взлетная масса, т	160	230	9'1	44		21	405	52	16	70,08	560
Макс. Коммер- ческая нагрузка,т	23	40	18	7,7	21	5	150	14,5	3,2	32,4	280
Длина самолета, м	53,1	55,4	47,9	35,0		33,1	69,0	36,4	20,4	33,63	73
Размах крыла, м	43,2	57,7	37,5	29,0		33,0	73,0	34,9	25	34,32	79,75
Количество пассажиров, чел.	168	300	164	72	212	50.		120	32	148	555
Полная заправка топли- вом, т	82.5		33,2	13,2		4,1		12	3,1	20 894 л	248-310
Средний часовой Расход топлива, кг/ч	7800		6500	2800		800		2800	1100	2526	
Крейсерская скорость, км/ч	870	900	920	850	800	475	865	820	550	852	900
Скорость отрыва. км/ч	300		270	260		180		215	175		
Посадочная скорость, км/ч	240		230	225		170		180	160		
Дальность полета, тыс. км	10.0	11,0	4,0	2,9	3,5	2,0	16,5	3,5	1,5	6, 230	15,400
Практический потолок, м	12000		11 800	11 800		8900		9000	11000	12500	13 115
Длина разбега, м	2000		1220	1090		600		900	550	1 677	2050
Длина пробега, м	1000		710	850		550		700	520	1 430	2900

Приложение 3. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА АВИАЦИОННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ КАРТАХ

Карты особых явлений погоды (Significant Weather Chart) составляются в 00, 06, 12, 18 UTC. Их срок действия – 12 ч до срока на карте и 6 ч после него, составляются для трех диапазонов высот:

Высокие (SWH) – Fl 250-450,

Средние (SWM -The Mid Level chart) – (Fl 1000-250);

Низкие уровни полета (SWL) – (ниже Fl 100).

3.1. Сокращенные обозначения облачности

Виды облаков

St - слоистые	As – высоко-кучевые
Ns- слоисто-дождевые	As- высоко-слоистые
Cu – кучевые	Ci – перистые
Sc – слоисто-кучевые	Cs – перисто-слоистые
Cb – кучево-дождевые	Cs – перисто-кучевые

Балл облачности

(в скобках указаны сокращения, используемые при обеспечении международных рейсов):

а) для всех форм, кроме Cb:

ЯСНО (C) – ясно (0 баллов);

РЗБ (SCT) – разбросанные (1-5 баллов);

ЗНЧ (BKN) – значительные (6-9 баллов);

СПЛ (OVC) – сплошная (10 баллов);

б) только для Cb:

ИЗОЛ (ISOL) – отдельные Cb;

РЕДК (OCNL) – достаточно разделенные Cb;

ЧАСТ (FRG) – облака с небольшим разделением или без разделения.

К любому из этих трех может добавляться сокращение МАСК (EMBD)-маскированные для грозовых Cb, содержащихся в слоях других облаков, например, слоисто-дождевых.

3.2. Сокращения, применяемые при метеорологическом обеспечении международных рейсов

L – центр низкого давления;

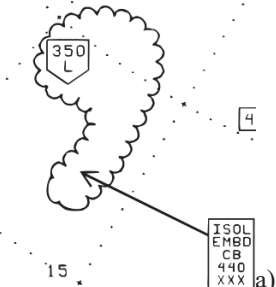
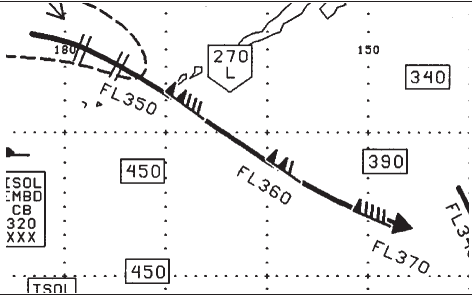
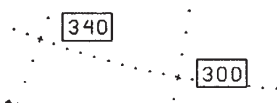
H – центр высокого давления;

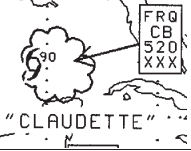
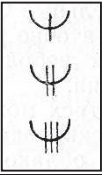
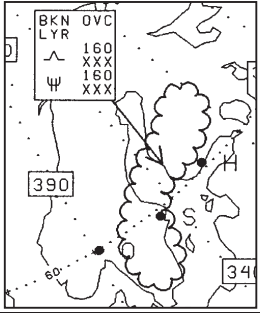
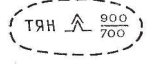
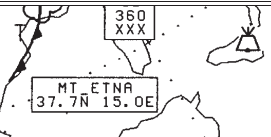
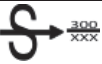
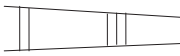
FRG – частый;

OCC – изредка;

LYR – слоистый;

FL – уровень полета, эшелон;
 RISK – грозное положение;
 BRK – с просветами;
 INTER – кратковременное изменение;
 GRADU – постепенно;
 TEMPO - временами;
 LOC – местами;
 PROB – вероятность;
 CAT – турбулентность ясного неба (ТЯН)

Метеоявление	Пример на карте
Облака Cb с указанием вида (ISOL)и указанием диапазона высот (верхняя/нижняя граница в FL)	
Верхняя граница явления (облака)– FL380, нижняя граница выходит за пределы высоты карты (XXX)	
Струйное течение, скорость на оси СТ и ее высота (FL360);	
Высота тропопаузы (в FL)	

наибольшая высота тропопаузы (эшелон)	
наименьшая высота тропопаузы (эшелон)	
Тропические циклоны:	
Слабое, умеренное и сильное обложение:	 
умеренная и сильная турбулентность (в облаках или при ясном небе)	 
Вулкан, его название и географические координаты	
Обширные Песчаные Бури / Пыльные Бури	
Радиоактивный выброс	
Внутритропическая зона конвергенции (ВТЗК)	

Приложение 4. ОБОЗНАЧЕНИЯ НА КАРТАХ ПОГОДЫ

4.1. Атмосферные явления в срок наблюдения и за последний час на картах погоды

00-09	10-19	20-29	30-39	40-49
погода без осадков, тумана, метели на станции the weather no precipitation, fog blowing snow at station		за последний час. recent (недавний)	пыльная / песчаная буря, duststorm / sandstorm, blowing snow	туман fog
ясно sky clear	10 = дымка mist / drume/	20 ⌋ морось recent drizzle	30 \$ буря ослабевает dust/sandstorm weakening	40 (≡) туман на расстоянии fog within sight
01 ☉ облака рассеиваются clouds dissipating	11 ≡ поземный туман shallow fog in patches	21 ● дождь recent rain	31 \$ буря без изменения dust/sandstorm no change	41 ≡ туман местами fog in patches
02 -☉ небо без изменений sky no change	12 ≡ поземный туман shallow fog con- tinuous	22 * снег recent snow	32 \$ буря усиливается dust/sandstorm intensify	42 ≡ туман ослабевает небо видно fog weakening sky discernible
03 ☉ облака развиваются clouds increasing	13 < зарница lightning	23 * дождь со снегом recent rain and snow	33 \$ сильная буря heavy dust/sand- storm weakening	43 ≡ туман ослабевает небо не видно fog weakening sky not discernible
04 ☼ дым smoke / fume/	14 ☉ осадки в поле precipitation in sight	24 ~] замерзающие дожди или морось (гололед) recent freezing rain/drizzle	34 \$ сильная буря без изменения heavy dust / sand storm no change	44 ≡ туман небо видно fog sky discernible
05 ∞ мгла dust haze	15 ● осадки на расстоянии более 5 км (more 5 km) -	25 ▽ лихвой дождь heavy rain showers	35 \$ сильная буря усиливается heavy dust/sand storm intensify	45 ≡ туман небо не видно fog sky not discerni- ble
06 S принесенная издалека dust haze widespread	16 (●) осадки на расстоянии менее 5 км (less 5 km)	26 ▽ лихвой снег recent snow sho- wers	36 + слабый умеренный полюсок slight/mod low drifting snow	46 ≡ туман усиливается небо видно fog intensify sky discernible
07 \$ поднятые на станции пыль / песок, dust/sand raised at station	17 ☼ гроза без осадков thunderstorm with- out precipitation	27 ▽ град или крупя recent hail or soft hail	37 + сильный полюсок heavy low drifting snow	47 ≡ туман усиливается небо не видно fog intensify sky not discernible
08 ☼ пыльная / песчаная дихри dust / sand devils	18 ▽ шквал squall	28 ≡ туман recent fog	38 + низовая метель blowing snow	48 ≡ туман с изморозью небо видно freezing fog sky discernible
09 (S) пыльная / песчаная бу- ря в поле зрения dust/sandstorm in sight	19 ☼ шквал squall	29 ☼ гроза recent thunderstorm	39 + сильная низовая метель heavy blowing snow	49 ≡ туман с изморозью небо не видно freezing fog sky not discernible

50 59 морось drizzle	60 69 дождь rain	70 79 снег snow	80 89 ливневые осадки precip. showers	90 95 гроза thunderstorm
50 ● слабая морось slight drizzle intermittent	60 ● слабый дождь с перерывами slight rain intermittent	70 * слабый снег с перерывами slight snow intermittent	80 ▽ слабый ливневый дождь slight rain showers	90 Δ умеренный/сильный град mod/heavy hail
51 ●● слабая морось slight drizzle continuous	61 ●● слабый дождь непрерывный slight rain continuous	71 ** слабый снег непрерывный slight snow continuous	81 ▽ умеренный/сильный дождь ливневый mod/heavy rain showers	91 [R] слабый дождь slight rain
52 ●● умеренная морось с перерывами moderate drizzle intermittent	62 ●● умеренный дождь с перерывами moderate rain intermittent	72 * умеренный снег с перерывами moderate snow intermittent	82 ▽ очень сильный дождь ливневый very heavy rain showers	92 [R] умеренный/сильный дождь ливневый mod/heavy rain showers
53 ●●● умеренная морось непрерывная moderate drizzle continuous	63 ●●● умеренный дождь непрерывный moderate rain continuous	73 ** умеренный снег непрерывный moderate snow continuous	83 ▽ ливневый дождь со снегом rain and snow showers	93 [R] Δ слабый снег/град slight snow or hail
54 ●● сильная морось с перерывами heavy drizzle intermittent	64 ●● сильный дождь с перерывами heavy rain intermittent	74 * сильный снег с перерывами heavy snow intermittent	84 * умеренный/сильный ливневый дождь со сне- гом mod/heavy rain and snow showers	94 [R] Δ умеренный снег или крупный дождь ливневый mod snow or soft hail
55 ●●● сильная морось непрерывная heavy drizzle continuous	65 ●●● сильный дождь непрерывный heavy rain continuous	75 ** сильный снег непрерывный heavy snow continuous	85 * слабый ливневый дождь со сне- гом slight snow showers	95 [R] роза с дождем и снегом thunderstorm with rain/snow
56 ● слабо замерзающая морось/сл. дождь slight freezing drizzle	66 ● дождь со замороз- ками slight freezing rain	76 ↔ ледяные иголки ice needles	86 * умеренный/сильный ливневый снег mod/heavy snow showers	96 Δ гроза с градом thunderstorm with hail
57 ●● слабо замерзающая морось/сильный дождь slight heavy freezing drizzle	67 ●● сильная замерзающая дождь/сл. дождь heavy freezing rain	77 ▽ снежные зерна snow grains	87 ▽ слабая ледяная крупная slight soft hail	97 [R] сильная гроза с дождем/снегом heavy thunderstorm with rain/snow
58 ●● слабая морось slight drizzle and rain	68 * слабый дождь со сне- гом slight rain and snow	78 * снежные кристаллы snow crystals	88 ▽ умеренная/сильная теплая крупная mod/heavy soft hail	98 [R] гроза с ливнем/пес- чаной бурей thunderstorm with dust/sandstorm
59 ●● умеренная морось с дождем mod heavy drizzle and rain	69 * сильный дождь со снегом heavy rain and snow	79 Δ ледяной дождь ice pellets	89 Δ слабый град slight hail	99 Δ сильная гроза с градом heavy thunderstorm with hail

4.2. Значения цифр кода видимости и высоты облаков в данных приземной карты погоды

Видимость (VV)				Высота облаков, hh, h			
инструментально		визуально		инструментально		визуально	
Цифры кода	км	Цифры кода	км	Цифры кода(hh)	м	Цифры кода(h)	м
00	<0,1	0	<50	00	< 30	0	<50
01	0,1	1	50	01	30	1	50
02	0,2	2	100	02	60	2	100
03	0,3	3	200	03	90	3	200
04	0,4	4	300	...	...	4	300
05		5	600	20	600	5	600
06		6	1000	21	630	6	1000
				...	(...x30)		
07		7	1500	40	1200	7	1500
08		8	2000	...		8	2000
09	0,9	9	>2500	50	1500	9	>2500
20	2,0						
21	2,1	90	<0,05	56	1800		
...	...						
50	5,0	91	0,05	57	2100		
				...	(...+300)		
56	6	92	0,2	...			
57	7	93	0,5	60	3000		
...	...	94	1	61	3300		
60	10	95	2	...	(...+300)		
61	11	96	4	70	6000		
...	...						
70	20	97	10	71	6300		
71	21	98	20	...	...		
...	...			79	8700		
80	30	99	50	80	9000		
81	35			81	10500		
82	40			82	12000		
...	...						
88	70			...	(...+1500)		
89	>70			89	>21000		

Приложение 5. АТМОСФЕРНЫЕ ФРОНТЫ НА КАРТАХ ПОГОДЫ И УСЛОВИЯ ПОЛЕТОВ ВС

Перемещение АФ связано с циркуляцией в циклонах (против часовой стрелки). ХФ движется быстрее ТФ. На скорость движения влияет также рельеф местности. Влияние орографии определяется высотой гор, сложностью рельефа, типом фронта, сезоном, ориентацией гор по отношению к АФ. При пересечении хребта происходит обострение, а иногда – деформация АФ, превращение его в верхний фронт.

На всех видах АФ: плохая видимость, осадки, сдвиг ветра. Наиболее интенсивное обледенение наблюдается при температурах от -5 до -20 °C в облаках Ns и St.

5.1. Теплый фронт (ТФ)

Скорость перемещения < 40 км/ч, обычно – до 25 км/ч- (меньше, чем у ХФ).

Явления погоды: предвестники – перистые облака. Температура постепенно повышается, НГО понижается (иногда – до земли). Обложные осадки (ширина зоны - 300-400 км – самые трудные условия для полетов), туманы; преобладают слоистые формы облаков (ширина зоны облачности - 700-1000 км).



Обозначение на карте

Опасные явления погоды (ОЯП): Плотные *адвективные туманы* в зоне около 200 км перед ТФ (зимой и в переходные сезоны), в облаках и осадках зимой **обледенение** (максимально в центральной части циклона, FzRa); **гололед перед ТФ**; **летом ночью – грозы** (Cb), часто – замаскированные слоистыми облаками.

6.2. Холодный фронт (ХФ)

ХФ 1 рода начинается с ливневых осадков, грозы из кучево-дождевых облаков Сб (НГО – 100-200 м, ВГО – 4-5 км, до тропопаузы летом), резкое понижение температуры, при движении ХФ НГО повышается.

Скорость перемещения 15-30 км/ч,

Явления погоды: зоны облачности шириной 300-400 км, ширина зоны осадков – 150-200 км. Обложные осадки (ширина зоны - 150-200 км).

ОЯП: Летом - Сб с грозами, ливневыми осадками и шквалистым усилением ветра (это исключает полеты до прохождения ХФ).

Обледенение менее интенсивно и реже, чем на ТФ, наблюдается в теплом воздухе.



Обозначения на карте

Наиболее сложные условия погоды на расстоянии до 500 км от центра циклона. Иногда – подфронтальный туман.

ХФ 2 рода начинается с ливневых осадков, грозы (иногда с градом) из кучево-дождевых облаков Сб.

Скорость перемещения 35-60 км/ч,

Ширина зоны облачности: 150-200 км, **ширина зоны осадков** – 50-100 км.

ОЯП: Летом грозы (Сб), шкваловый ворот перед ХФ; резкое усиление и сдвиг ветра, ливни, зимой – снежные заряды, метели, сильное обледенение и пр.

ОЯП. Очень опасен (полеты запрещены)!

6.3. Фронт окклюзии

Возникает при слиянии ТФ и ХФ (холодный «догоняет» теплый), в развитом циклоне. В нижней части возникшего нового фронта формируется фронтальная облачность окклюзии, как раздел между двумя холодными массами, которые раньше находились в передней и тыловой частях циклона,



Обозначения на карте

а с момента окклюдирования вошли в соприкосновение друг с другом. В зависимости от того, какая из двух масс (в передней или тыловой частях циклона) окажется относительно более теплой, **фронт окклюзии** сформируется **по типу теплого фронта** или **по типу холодного фронта**.

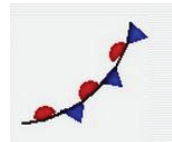
Теплые фронты окклюзии чаще всего наблюдаются в холодное время года. На линии фронта образуется многослойная облачность, которая постепенно развивается в слоистообразную облачную систему, подобную теплему фронту. В этом случае наибольшую сложность для полетов представляет снижение высоты облачности, ухудшение видимости, а также обледенение. Иногда наблюдаются метели, более редко – гололед.

Холодные фронты окклюзии обычно наблюдаются в теплое время. По мере продвижения фронта наблюдаются ливневые осадки, грозы, шквалы, ОЯП в зоне «холодных окклюзий» - облака вертикального развития с интенсивными ливнями, грозами и градом.

Для облачной системы фронтов окклюзии характерна значительная расчлененность, до 5-7 слоев.

6.4. Малоподвижный (стационарный) фронт

Слабый ветер, периодическая смена погоды (то ясно, то – осадки), низкие слоистые облака



Вторичные АФ обозначаются аналогичным образом, но полукружья и треугольники оставляют незакрашенными.

Приложение 6. ПРАВИЛА ВИЗУАЛЬНЫХ ПОЛЕТОВ

(из дополнения к требованиям, установленным в [главе VIII](#) Федеральных авиационных правил полетов в воздушном пространстве Российской Федерации, утвержденных Приказом Министра обороны Российской Федерации, Министерства транспорта Российской Федерации, Российского авиационно-космического агентства от 31 марта 2002 г. N 136/42/51)

1. Полет по ПВП на истинных высотах менее 300 м выполняется:

- а) при видимости водной или земной поверхности, кроме случаев, указанных в пункте 3 настоящих Правил;
- б) вне облаков;
- в) днем, при видимости не менее 2000 м для самолетов и не менее 1000 м для вертолетов;
- г) ночью, при видимости не менее 4000 м.

2. Полет по ПВП на истинных высотах 300 м и выше выполняется:

- а) кроме случаев, указанных в пункте 3.33.3 настоящих Правил, при видимости водной или земной поверхности;
- б) расстояние по вертикали от воздушного судна до нижней границы облаков не менее 150 м и расстояние по горизонтали до облаков не менее 1000 м;
- в) днем, при видимости не менее 2000 м;
- г) ночью, при видимости не менее 4000 м.

3. Полет по ПВП может осуществляться над облаками, если:

- а) расстояние по вертикали от облаков до воздушного судна не менее 300 м;
- б) в случае полета между слоями облачности, расстояние между слоями не менее 1000 м;
- в) видимость в полете не менее 5000 м;
- г) при прогнозируемых метеорологических условиях на аэродроме назначения за один час до и два часа после ожидаемого времени прилета, составляющих: видимость – не менее 5000 м, облачность – не более двух октантов и отсутствие прогнозируемого тумана, ливневых осадков и грозовой деятельности. При отсутствии прогноза погоды для аэродрома назначения, для целей данного пункта может применяться прогноз по району пункта посадки.