НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ

AZERBAIJAN AIRLINES

Атмосферное давление и плотность воздуха

Лектор: Меликов Б.М.

Общие сведения об атмосферном давлении

Атмосферным давлением (Р) называется сила, вызванная весом столба воздуха, простирающегося через всю атмосферу, действующая на единицу горизонтальной поверхности.

Измерение давления проводится при помощи приборов, называемых барометрами.

Атмосферное давление измеряется в паскалях и миллиметрах ртутного столба. В системе СИ (Международная система единиц) давление измеряется в паскалях (Па).

Перевод значений единиц атмосферного давления

- Для перевода давления из гПа в мм рт. ст необходимо число гектопаскалей умножить на 3/4 (0,75).

- Для перевода давления и мм рт.ст. в гПа необходимо число миллиметров умножить на 4/3 (1,333),

Таблицы перевода давления

На практике перевод осуществляется при помощи специальных таблиц

гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.
951	28,09	971	28,68	991	29,27	1011	29,86	1031	30,45
952	28,12	972	28,71	992	29,30	1012	29,89	1032	30,48
953	28,15	973	28,74	993	29,33	1013	29,92	1033	30,51
954	28,18	974	28,77	994	29,36	1014	29,95	1034	30,54
955	28,21	975	28,80	995	29,39	1015	29,98	1035	30,57
956	28,24	976	28,83	996	29,42	1016	30,01	1036	30,60
957	28,27	977	28,86	997	29,45	1017	30,04	1037	30,63
958	28,30	978	28,89	998	29,48	1018	30,07	1038	30,66
959	28,33	979	28,92	999	29,51	1019	30,10	1039	30,69
960	28,35	980	28,95	1000	29,54	1020	30,13	1040	30,72
961	28,38	981	28,97	1001	29,57	1021	30,16	1041	30,75
962	28,41	982	29,00	1002	29,60	1022	30,19	1042	30,78
963	28,44	983	29,03	1003	29,62	1023	30,22	1043	30,81
964	28,47	984	29,06	1004	29,65	1024	30,24	1044	30,84
965	28,50	985	29,09	1005	29,68	1025	30,27	1045	30,87
966	28,53	986	29,12	1006	29,71	1026	30,30	1046	30,89
967	28,56	987	29,15	1007	29,74	1027	30,33	1047	30,92
968	28,59	988	29,18	1008	29,77	1028	30,36	1048	30,95
969	28,62	989	29,21	1009	29,80	1029	30,39	1049	30,98
970	28,65	990	29,24	1010	29,83	1030	30,42	1050	31,01

Вариации атмосферного давления

Атмосферное давление изменчива в пространстве и во времени.

Особенно большие вариации давления наблюдаются в его вертикальном распределении.

Пределы изменения давления у земли в разных синоптических условиях и географических регионах также может быть изменчива в широких пределах. Например, давление в тропическом циклоне может быть от 877.0 гПа, а в центре Сибирского антициклона достигает 1083.0 гПа.

Обычно в однородной воздушной массе у земли атмосферное давление за сутки изменяется незначительно.

Но при определенных синоптических условиях: при приближении атмосферных фронтов и глубоких циклонов она может составлять несколько гПа за час.

Барическая тенденция

В метеорологии изменения давления во времени характеризуют барической тенденцией – величиной изменения давления за последние три часа (±ppa), где

+ – повышение

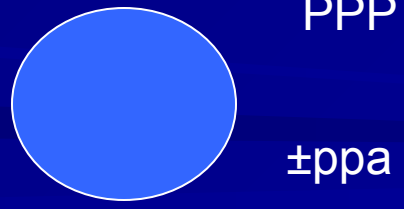
- – понижение

pp – величина изменения за последние три часа в гПа с десятыми долями;

a – характер изменения давления на ленте барографа.

Указание давления на карте погоды

На карты погоды возле кружка метеорологической станции наносится величина атмосферного давления, приведенного к уровню моря *(PPP),* и барическая тенденция (±*ppa)* в гПа с десятыми долями следующим образом:

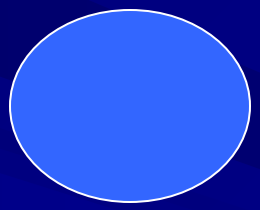


При чтении величины атмосферного давления пользуются такими правилами:

если указанное значение давления менее 500 (более 500), то мысленно впереди ставится 10(9) и последняя цифра отделяется запятой;

если указанное значение давления равняется 500, то мысленно впереди ставится цифра 9 или 10 в зависимости от общего поля давления в данном районе и последняя цифра отделяется запятой.

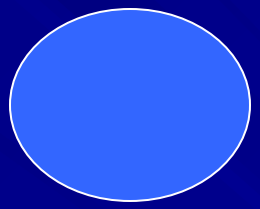
Пример чтения величины атмосферного давления с карты погоды:



134

+21 /

Атмосферное давление, приведенное к уровню моря: 1013,4 гПа; барическая тенденция: за последние три часа давление увеличилось на 2,1 гПа, давление увеличивалось.



931

00

Атмосферное давление, приведенное к уровню моря: 993,1гПа; барическая тенденция: за последние три часа давление не изменилось.

ИЗМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ВЫСОТОЙ

Атмосферное давление убывает с высотой, поскольку масса вышележащего столба воздуха уменьшается. Для определения общего закона изменения давления с высотой возьмем систему координат с осью *H,* направленной вертикально вверх. Представим, что ш плоскости *XY* давление воздуха равно *P.* Выделим элементарный объем с сечением, равным 1 см^2, и высотой *dH* (рис. 1). Давление на верхней грани объема будет равно *P - dP.* Величина изменения давления *dP* равна весу воздуха, заключенного в рассматриваемом объеме (ρ*dH* - масса, ρ*gdH*- вес)

$$dP = - \rho g dH$$

Где: ρ – плотность воздуха;

g – ускорение силы тяжести.

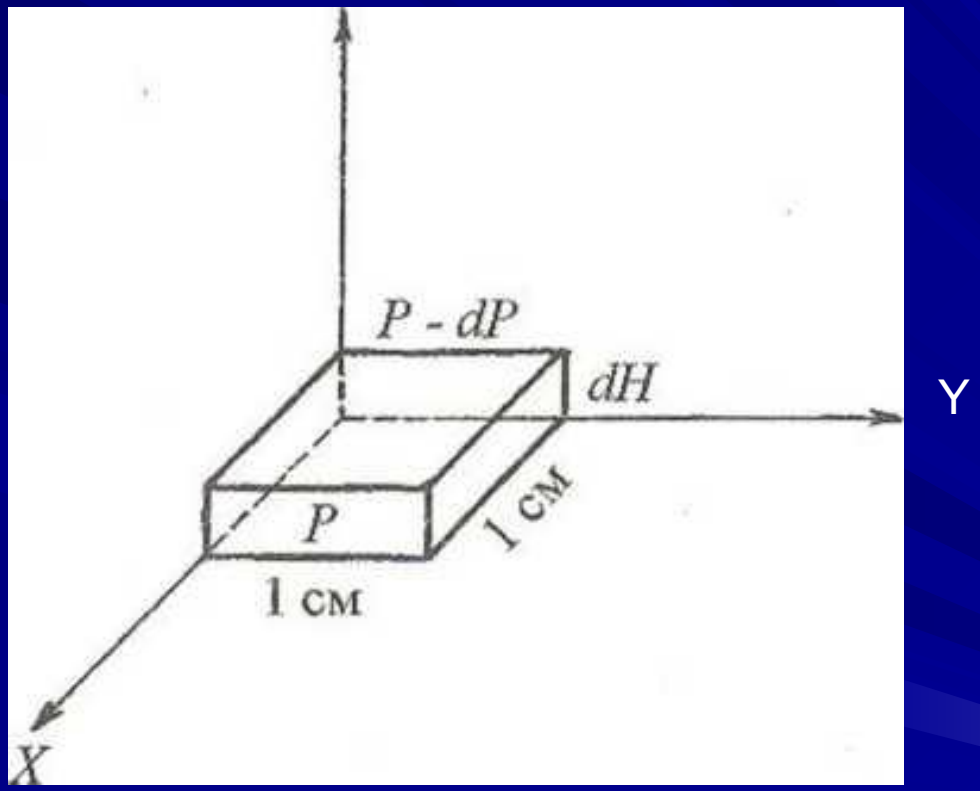


Рис. 1. Изменение давления с высотой.

БАРИЧЕСКАЯ СТУПЕНЬ

Для ориентировочной оценки изменения давления с высотой, а также для приближенного расчета изменения высоты по разности значений давления на практике пользуются ***барической ступенью.***

Барическая ступень (h) - это высота, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на одну единицу (на 1 гПа или 1 мм рт.ст.).

Величина барической ступени используется в авиации при расчетах безопасной высоты полета в равнинной и холмистой местности. С ее помощью можно приводить (в первом приближении) давление к уровню моря по формуле:

$$P_{прив}=P_{аэр}+H_{аэр}/h$$

где:

$P_{прив}$ - давление аэродрома, приведенное к уровню моря (мм рт.ст. или гПа);

$P_{аэр}$ - давление аэродрома (мм рт.ст. или гПа);

$H_{аэр}$ - высота аэродрома над уровнем моря в метрах;

h - барическая ступень.

У земной поверхности при стандартном давлении Po = 1013,2 гПа (760 мм рт.ст) *h*= 11 м/мм рт.ст. или h = 8 м/гПа

ПОНЯТИЕ О ГЕОПОТЕНЦИАЛЕ

Распределение давления в атмосфере можно представить в виде бесчисленного, количества поверхностей, во всех точках которых давление одинаково. Такие поверхносл называются ***изобарическими (изо*** - равный, ***барос*** - тяжесть, давление). Они располагаются одна над другой и не параллельны уровню моря, что объясняется неравномерным распределением по горизонтали температуры и давления воздуха, а, следовательно, и различной барической ступенью. Высоты изобарических поверхностей измеряются и от уровня моря в единицах ***геопотенииала.***

Геопотенциал представляет собой работу, которую надо совершить, чтобы поднять единицу массы от уровня моря до данной высоты. Сила тяжести P, действующая на единицу массы, равна $P=g \cdot 1 = g$, а работа Ф, затрачиваемая на поднятие единицы массы на высоту H, равна:

$$\Phi=gH.$$

Эту работу и называют ***потенциалом силы тяжести*** или ***геопотенциалом.***

Единицей геопотенциала является геопотенциальный метр (гпм), равный работе, которую надо совершить чтобы поднять массу в 1 тонну на высоту 1 метр при ускорении силы тяжести g = 9,8 м/с^2.

Изобарические поверхности

0 км = 1000 гПа

1,5 км=850гПа

3,0 км = 700 гПа

5,0 км =500 гПа

7,0 км =400 гПа

ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Распределение давления на уровне моря вдоль земной поверхности представлено на приземных картах погоды. На эти карты наносится давление, измеренное на метеорологических станциях и приведенное к уровню моря. Точки с одинаковым давлением на картах погоды соединяются плавными линиями, которые называются ***изобарами.*** Изобары обычно проводятся через 5 гПа для значений давления, кратных 5 (995,1000, 1005 и т.д.). Поле атмосферного давления, изображенное на картах погоды с помощью изобар, называется ***барическим полем*** или ***барическим рельефом.*** Формы барического поля носят название ***барических систем.*** Основными формами барического поля (барическими системами) являются: ***циклопы, антициклоны, ложбины, гребни*** и ***седловины*** (рис. 2.).

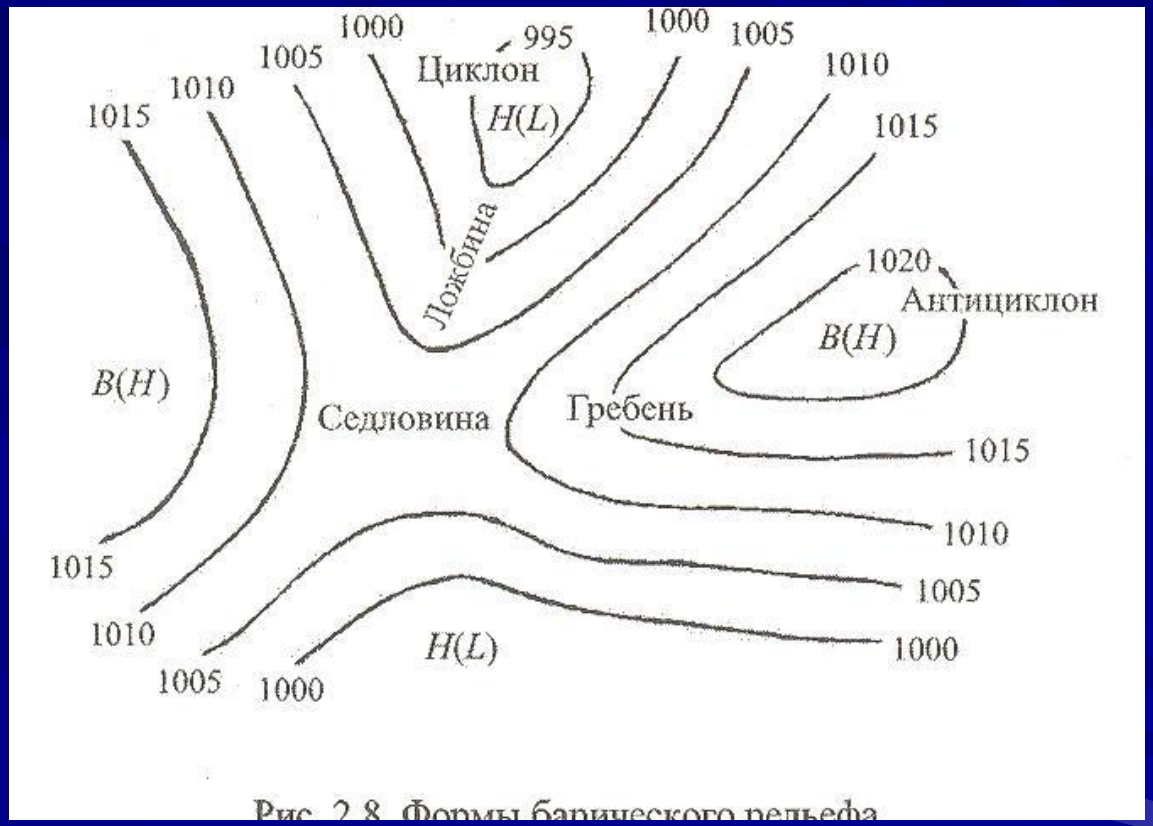


Рис. 2. Формы барического рельефа

Рис. 2. Формы барического рельефа

БАРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- ***Циклон -*** область низкого давления, очерченная на картах погоды замкнутыми изобарами, с минимальным давлением в центре. На картах погоды в Украине и странах СНГ обозначается буквой ***“Н”*** (низкое давление), а на международных картах - ***“L ”*** (low pressure). Давление в циклоне уменьшается от периферии к центру.
- ***Антициклон*** - область высокого давления, очерченная на картах погоды замкнутыми изобарами, с максимальным давлением в центре. На картах погоды в Украине и странах СНГ обозначается буквой ***“В ”*** (высокое давление), а на международных картах - ***“Н”*** (high pressure). Давление в антициклоне уменьшается от центра к периферии.
- ***Ложбина*** - узкая вытянутая полоса пониженного давления, расположенная на периферии л циклона или между двумя антициклонами. Линия, соединяющая точки с наименьшим давлением в ложбине, называется ***осью ложбины.***
- ***Гребень —*** узкая вытянутая полоса повышенного давления, расположенная а периферии антициклона или между двумя циклонами. Линия, соединяющая точки с наибольшим давлением в гребне, называется ***осью гребня.***
- ***Седловина -*** это барическая система, которая образуется между двумя циклонами и двумя антициклонами, расположенными крестообразно.

В циклоне и ложбине, как правило, наблюдаются сложные условия погоды, в антициклоне и гребне - благоприятные, а в седловине - промежуточные.

ИНФОРМАЦИЯ О ДАВЛЕНИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕТОВ

Для обеспечения безопасности полетов установлены правила вертикального эшелонирования воздушных судов (ВС).

Эшелон полета - это выделенная для полетов ВС относительная барометрическая высота ***(Hp),*** отсчитываемая от изобарической поверхности с давлением 760 мм рт.ст. (1013,2 гПа).

Высота полета на эшелоне выдерживается с помощью барометрического высотомера, нуль шкалы которого установлен на давлении 760 мм рт.ст. Поэтому полет на эшелоне является полетом вдоль одной и той же изобарической поверхности. Истинная же высота полета (высота над рельефом местности), а также абсолютная (высота над уровнем моря) могут значительно отличаться от барометрической. Это обусловлено тем, что над различными районами уровень с давлением 760 мм рт.ст. располагается по-разному - выше или ниже уровня моря, т.е. изобарические поверхности к параллельны уровню моря. На рис. 3 схематически показано изменение абсолютной и барометрической высоты при полете на эшелоне.

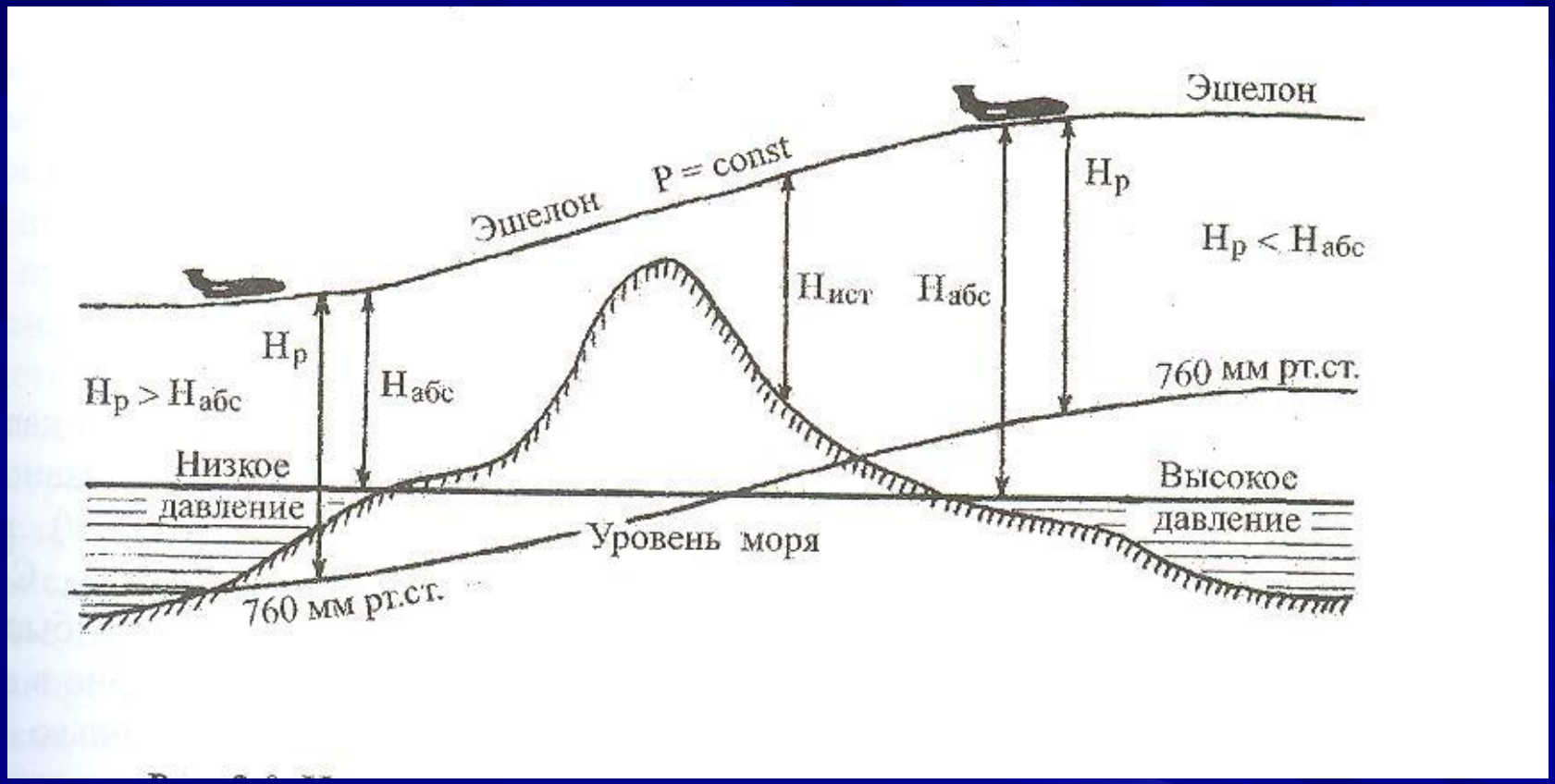


Рис. 3. Изменение абсолютной ($H_{абс}$) и барометрической ($H_р$) высоты полета на эшелоне.

Значения давления, используемые в авиации

Метеообеспечении полетов в основном используют значения давления ***QFE***, ***QNH***.

Давление ***QFE*** [Question field elevation (Q - code)] -давление на уровне аэродрома или порога ВПП.

Давление ***QNH*** [Question normal height - sea level pressure (Q - code)] - атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря по условиям стандартной атмосферы.

В сводках о фактической погоде в формате кодов METAR (SPECI) указывается давление *QNH* с округлением в меньшую сторону до целого гектопаскаля.

Аэродромные метеорологические органы предоставляют диспетчерскому органу подхода и аэродромной диспетчерской вышке информацию о фактическом значении *ONH* на регулярной основе, а *QFE* - в соответствии с договоренностью на регулярной основе или по запросу.

Районный диспетчерский центр обеспечивается данными о фактическом давлении *QNH* на аэродромах и прогнозируемом минимальном давлении *QNH* в пределах района полетной информации.

В местных регулярных и специальных сводках указывается информация о давлении *QNH* и *QFE* в гектопаскалях, а при потребности дополнительно указывается давление *QFE* в миллиметрах ртутного столба.

ПЛОТНОСТЬ СУХОГО И ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Одним из основных физических параметров атмосферы, оказывающим влияние на летные и эксплуатационные характеристики ВС, является ***плотность воздуха.***

Плотность воздуха (ρ) - это масса воздуха в единице объема. Измеряется в г/м^3 или кг/м^3. Непосредственно плотность воздуха не измеряется, она определяется из уравнения состояния газов:

$$\rho = P/RT = P/R(273+t)$$

Где: P-давление воздуха;

t- температура в ^{0}C;

R- газовая постоянная.

Из формулы видно, что плотность воздуха находится в прямой зависимости от давления и обратной - от его температуры.

При постоянном давлении плотность воздуха зависит только от изменения температуры, поэтому при полете на эшелоне *(P = const)* на лета эксплуатационные характеристики ВС влияет только температура воздуха.

С высотой плотность воздуха уменьшается, так как давление с высотой уменьшается быстрее, чем понижается температура. Так, до высоты 5 км давление уменьшается примерно в два раза, температура понижается только на 12%. Понижение температуры несколько замедляет уменьшение плотности, поэтому плотность с высотой падает медленнее, чем давление. На высоте 5 км плотность воздуха составляет 60% от плотности на уровне моря, а на высоте 10 км - около 35%.

Влияние влажности на плотность

Плотность воздуха зависит также от его влажности. Плотность водяного пара при равных значениях температуры и давления составляет 0,622 от плотности сухого воздуха. Поэтому влажный воздух легче сухого. При температуре 40°С и относительной влажности 100% влажный воздух легче сухого на 2,8%. Для вычисления плотности влажного воздуха используют ***виртуальную температуру (Tγ) -*** это такая температура, при которой плотность сухого воздуха равна плотности влажного воздуха, при том же давлении *P:*

$$T\gamma = T(1 + 0{,}378e/P)$$

Где: **e** – упругость водяного пара.

Влияние влажности на плотность воздуха целесообразно учитывать при температуре воздуха выше +20°С и относительной влажности более 50%. Уменьшение плотности воздуха из-за содержащегося в нем водяного пара при температуре +30°С равносильно повышению температуры на 5°С, а при температуре +40°С - почти на 9°С. Плотность воздуха также, и температура и давление, изменяется в пространстве и во времени. У экватора плотность воздуха в тропосфере меньше, чем в Европе. Зимой плотность воздуха больше, чем летом в Европе средняя величина плотности воздуха у земной поверхности равна 1258 г/м3, на высоте 5 км - 735 г /м3.

Решение задачи по определении барической ступени на разных высотах

Задача №1 Дано: P=850 гПа;

$t_{ср}$=10^{0}C;

α=0,004;

Найти барический ступень h=?

Решение:

$$h = \frac{8000}{P}(1 + \alpha t)$$

$$h = \frac{8000}{850}(1 + 0{,}004 \cdot 10) = 9{,}4(1 + 0{,}04) = 9{,}8 m / гПа$$

Задача №2 Дано: P=700 гПа;

$t_{ср}=5^0C$;

α =0,004.

Найти барический ступень h=?

Решение:

$$h=\frac{8000}{P}(1+\alpha t)$$

$$h=\frac{8000}{700}(1+0{,}004\cdot 5)=11{,}43(1+0{,}02)=12{,}45 m/гПа$$

Задача №3 Дано: P=500 гПа;

$t_{ср}$=-10^{0}C;

α= 0,004.

Найти барический ступень h=?

Решение:

$$h = \frac{8000}{P}(1 + \alpha t)$$

$$h = \frac{8000}{500}(1 + 0{,}004 \cdot -10) = 16{,}0(1 - 0{,}04) = 16{,}0 \cdot 0{,}96 = 15{,}4 m / гПа$$

Литература

1. Баранов А.М. и др. Авиационная метеорология. С. П. Гидрометиздат, 1992 г.
2. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. Санкт Петербург – 2005 г.
3. Гусейнов Н.Ш. Диспетчеру управления воздушным движением и летчику о метеорологии. Баку. Ширваннешр. 1998 г.
4. Лещенко Г.П. Авиационная метеорология. Кировоград – 2009 г.
5. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология. Екатеринбург 2010 г.
6. Meteorology – JAR.