

Давление воздуха. Единицы измерения. Применение барометрической формулы. Барическая ступень. Вертикальный барический градиент.

Давление газа – сила (результатирующая сила ударов молекул газа об ограничивающие его стенки), приходящаяся на единицу площади, направленная перпендикулярно к ней:

$$p = \frac{F}{S}.$$

При возрастании температуры и сохранении неизменным объема газа скорости молекулярных движений увеличиваются и, следовательно, растет давление.

В любом воображаемом объеме воздуха наблюдается давление окружающего воздуха на воображаемые стенки, ограничивающие данный объем и такое же давление воздуха изнутри объема на воображаемые стенки и на окружающий воздух. Выделенный объем может быть сколь угодно малым и в пределе сводится к точке. Таким образом, в каждой точке атмосферы имеется определенное *атмосферное давление* или *давление воздуха*. При этом ориентация стенок выделенного воображаемого объема не играет никакой роли, т.е. в покоящемся воздухе давление не зависит от направления нормали и, следовательно, является скаляром.

В системе СИ давление измеряется в Паскалях (Па): $1\text{Па} = 1\text{Н} / 1\text{м}^2$. В метеорологии до недавнего времени использовалась единица системы СГС миллибар (мбар): $1\text{мбар} = 10^3 \text{дин} / 1 \text{см}^2$, $1\text{мбар} = 1\text{гПа}$. На практике также широко используется единица давления 1 мм. рт. ст.

Давление в 1 мм рт. ст. – вес столба ртути высотой в 1 мм, приходящийся на 1м^2 на уровне моря и широте 45° . Плотность ртути $13,596 \cdot 10^3 \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, ускорение свободного падения равно $9,80665 \text{м/с}$. Объем такого столба ртути равен $1 \text{мм} \cdot 1 \text{м}^2 = 10^{-3} \text{м} \cdot \text{м}^2$, масса равна $\rho V = 10^{-3} \text{м}^3 \cdot 13,596 \cdot 10^3 \text{кг} \cdot \text{м}^{-3} = 13,596 \text{кг}$, сила давления = $mg = 13,596 \text{кг} \cdot 9,80665 \text{м/с} = 133,33 \text{Н}$. Следовательно, давление в 1 мм рт. ст. на 1м^2 равно давлению в $133,33 \text{Па} = 1,3333 \text{гПа} \approx 4/3 \text{гПа}$; $1\text{гПа} = 3/4 \text{мм. рт. ст.}$

Уравнение статики атмосферы (см. вопрос №5) описывает изменения давления лишь при очень малых приращениях высоты. Для определения распределения давления в слоях конечной толщины (плотность меняется) необходимо интегрирование.

Поскольку плотность воздуха в метеорологии не измеряется, ее заменяют по уравнению состояния (см. вопрос №15) $\rho = p/(R_d T)$, в случае влажного воздуха $T = T_v$. Тогда уравнение статики выглядит так:

$$dp = -\frac{g p}{R_d T} dz$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_d T} dz.$$

Возьмем определенные интегралы от обеих частей уравнения в пределах от p_1 до p_2 и от z_1 до z_2 . Величины g и R_d будем считать константами:

$$\int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_d} \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{T},$$
$$\ln p_2 - \ln p_1 = -\frac{g}{R_d} \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{T}.$$

Заменим температуру T , изменяющуюся с высотой на среднюю температуру T_m и вынесем ее за знак интеграла. Получим

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{g}{R_d T_m} (z_2 - z_1).$$

Потенцировав это выражение, получим интеграл основного уравнения статики атмосферы, называемый *барометрической формулой*:

$$p_2 = p_1 e^{-\frac{g(z_2 - z_1)}{R_d T_m}}.$$

С помощью барометрической формулы можно решать три задачи:

- 1) приведение давления одного уровня к другому (известны давление на одном уровне и перепад высот, средняя температура слоя, найти давление на другом уровне)
- 2) барометрическое нивелирование (известны давление на двух уровнях, средняя температура столба воздуха, найти перепад высот)
- 3) определение средней температуры слоя (известны давление на двух уровнях и перепад высот, найти среднюю температуру слоя).

Для барометрического нивелирования обычно используется формула Лапласа (получена для влажного воздуха с учетом изменения g с высотой и широтой), барометрическая формула реальной атмосферы и формула Бабинне (для небольших перепадов высот). Барометрическая формула реальной атмосферы имеет вид:

$$z_2 - z_1 = B(1 + \alpha t_m) \lg \frac{p_1}{p_2},$$

где $\alpha = 1/273$ – термический коэффициент объемного расширения, $B = 18400$ м – барометрическая постоянная.

Величина $-dp/dz$ в уравнении статики атмосферы есть падение давления на единицу прироста высоты. Она называется вертикальный барический градиент.

Барическая ступень – приращение высоты, в пределах которого давление падает на единицу, т.е. барическая ступень – это величина $-dz/dp$. Барическая ступень – величина, обратная вертикальному барическому градиенту и, следовательно, прямо пропорциональна температуре воздуха и обратно пропорциональна давлению:

$$-\frac{dz}{dp} = \frac{R_d T_m}{gp}.$$

Таким образом, в теплом воздухе давление падает с высотой медленнее, чем в холодном. Поэтому теплые области в атмосфере являются в высоких слоях областями высокого давления, а холодные – областями низкого давления.