

تبريد الهواء الجاف اثناء صعوده اديباتيكيا :-

الهدف هنا ايجاد معادلة لحساب الانحدار الحراري لهواء جاف اثناء صعوده اديباتيكيا باستخدام المعادلتين (6) و (12) للوصول إلى هذا الهدف

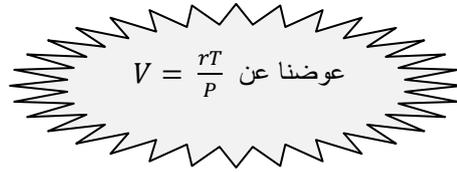
$$dP = -\rho g dz \dots\dots\dots (6)$$

$$dP = -\frac{m}{V} g dz$$

ولوحددة الكتلة $m = 1$

$$\therefore dP = -\frac{1}{V} g dz$$

$$dP = -\frac{P}{rT} g dz$$



$$\frac{dP}{P} = -\frac{g}{rT} dz \dots\dots\dots (6 - a)$$

من المعادلة (12)

$$C_p dT = rT \frac{dP}{P} \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{dP}{P} = \frac{C_p}{r} \frac{dT}{T} \dots\dots\dots (12 - a)$$

بمساواة المعادلتين (6 - a) مع (12 - a) ينتج

$$-\frac{g}{rT} dz = \frac{C_p}{r} \frac{dT}{T}$$

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{g}{C_p}$$

$$\therefore \alpha d = -\frac{dT}{dz} = \frac{g}{C_p} \dots\dots\dots (17)$$

يسمى المعامل αd بالانحدار الحراري الاديباتيكي الجاف

لحساب القيمة العددية نستخدم المعادلة (17) بعد التعويض عن قيمة

$$C_p = 1004 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}$$

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

تبريد الهواء الرطب غير المشبع أثناء تمدده اديباتيكيا :-

لدينا هواء رطب (هواء جاف + بخار ماء) غير مشبع ضغط بخاره الجزئي e وضغطه الكلي P وحسب قانون دالتون يكون الضغط الكلي للخليط (هواء جاف + بخار ماء) يساوي مجموع الضغوط الجزئية للهواء الجاف مع بخار الماء وتكون كثافة الخليط هي

$$\rho = \rho_{\text{الهواء الجاف}} + \rho_{\text{بخار الماء}}$$

$$P = \rho r T$$

$$\therefore \rho = \frac{P}{r T}$$

$$\rho = \frac{e}{r_v T} + \frac{P - e}{r T} \dots\dots\dots (18)$$

الكثافة للهواء الجاف بخار الماء

$$(\text{الهواء الجاف}) r = \frac{R}{M} \Rightarrow r_v = \frac{R}{M_w} \text{ (بخار الماء)}$$

المعادلة (18) تصبح

$$\rho = \frac{M_w}{R} \frac{e}{T} + \frac{P - e}{r T}$$

$$\therefore \rho = \frac{M_w}{M r} \frac{e}{T} + \frac{P - e}{r T}$$

$$\frac{M_w}{M} = \frac{\text{الوزن الجزيئي للماء}}{\text{الوزن الجزيئي للهواء}} = \epsilon$$

من المعادلة اعلاه والتعويض بـ ϵ ينتج

$$\rho = \epsilon \frac{e}{r T} + \frac{P - e}{r T}$$

$$\epsilon = \frac{\text{ماء } M_w}{\text{هواء } M} = \frac{18}{28.9} = 0.622$$

$$\rho = 0.622 \frac{e}{rT} + \frac{P}{rT} - \frac{e}{rT}$$

$$\therefore \rho = \frac{P}{rT} - 0.378 \frac{e}{rT}$$

$$\therefore \rho = \frac{P}{rT} \left(1 - 0.378 \frac{e}{P} \right) \dots \dots \dots (19)$$

من المعادلة يتضح إن كثافة الهواء الرطب (الخليط) اقل من كثافة الهواء الجاف تحت نفس الظروف من ضغط ودرجة حرارة

المعادلة (19) يمكن كتابتها بالشكل التالي

$$P = \rho T \left(\frac{r}{1 - 0.378 \frac{e}{P}} \right)$$

$$\text{Or } P = \rho r_m T$$

حيث $r_m = \left(\frac{r}{1 - 0.378 \frac{e}{P}} \right)$ ثابت الغاز الرطب لوحد الكتل

$$\therefore \frac{e}{P} = \frac{x}{\epsilon}$$

حيث x تمثل نسبة الخلط مقدره بالغرام بخار لكل غرام هواء جاف

$$\therefore r_m = \left(\frac{r}{1 - 0.378 \frac{x}{\epsilon}} \right)$$

$$r_m = \left(\frac{r}{1 - 0.61 x} \right)$$

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots$$

رياضيا

$$r_m = r (1 + 0.61 x)$$

$$P = \rho r T (1 + 0.61 x)$$

$$P = \rho r T_v \dots \dots \dots (21)$$

حيث

$$T_v = T (1 + 0.61 x) \dots \dots \dots (22)$$

المعادلة الاخيرة ترينا ان درجة حرارة الهواء الرطب تزيد على درجة حرارة الهواء المحيط بمقدار $0.61T x$

وان T_v تسمى درجة الحرارة التقديرية وتعرف بانها درجة حرارة الهواء الجاف الذي كثافته تساوي كثافة الهواء الرطب تحت نفس الضغط الجوي

➤ فائدة درجة الحرارة التقديرية :-

تستخدم درجة الحرارة التقديرية لحساب سمك الطبقات الهوائية العليا Z المحصورة بين سطوح الضغط (المنطقة التي يتساوى فيها الضغط الجوي).

من الرجوع إلى المعادلة (7) وعند استبدال T بـ T_v

$$\frac{dP}{P} = -\frac{g}{rT_v} dz \dots \dots \dots (7)$$

$$-rT_v \frac{dP}{P} = g dz = dG$$

حيث G تسمى الجهد التناقلي ويمثل الطاقة الكامنة التناقلية لوحدة الكتل $m = 1$

باجراء التكامل على المعادلة الاخيرة نحصل على :

$$G_2 - G_1 = -rT_v [\ln P]_{P_1}^{P_2}$$

$$\Delta G = rT_v \ln \frac{P_1}{P_2} \dots \dots \dots (23)$$

من المعادلة (23) يتضح ان الجهد التناقلي ΔG لو اردنا حسابه يجب ان يحسب T_v واذا اردنا حساب T_v يجب ان نحسب T, x باستخدام جهاز *Radio sound* وكذلك يكون باستطاعتنا حساب ΔG والتي من خلالها نستطيع تطبيق المعادلة

$$\Delta G = m g z \quad , \quad m = 1$$

ملاحظة :-

يمكن اثبات ان الهواء الرطب غير المشبع يبرد عند صعوده اديباتيكيا بنفس المقدار الذي يبرد به الهواء الجاف خصوصا عندما تكون نسبة الخلط x صغيرة جدا

إن الحرارتين النوعيتين للهواء الرطب \dot{C}_p ، \dot{C}_v تعطيان بدلالة مثيلاتها للهواء الجاف من العلاقتين

$$\left. \begin{aligned} \dot{C}_p &= C_p (1 + 0.9x) \\ \dot{C}_v &= C_v (1 + 1.02x) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (24)$$

من المعادلة (7) والمعادلة (13)

$$\frac{dP}{P} = -\frac{g}{rT} dz \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{C_p dT}{r T} = \frac{dP}{P} \dots \dots \dots (13)$$

عند استبدال $T \rightarrow T_v$ و $C_p \rightarrow \dot{C}_p$ و $r \rightarrow r_m$ ومساواة المعادلتين اعلاه نحصل على

$$-\frac{g dz}{r_m T_v} = \frac{\dot{C}_p dT}{r_m T_v}$$

$$-\frac{dT}{dz} = \frac{gr_m T_v}{\dot{C}_p r_m T_v}$$

$$-\frac{dT}{dz} = \frac{g}{\dot{C}_p} = \alpha_m \text{ او } \alpha_d$$

$$\alpha_m \equiv \alpha_d = \frac{g}{C_p (1 + 0.9x)}$$

x تكون صغيرة جدا

$$\alpha_m \equiv \alpha_d = \frac{g}{C_p}$$