www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

خواص فیزیکی محصولات نفتی:

Physical Properties of pet. product

بسیاری از خواص مواد خالص در طراحی سالیان شماری، اندازه گیری و گردآوری شده اند. این خواص اطلاعات اساسی را برای مطالعه رفتار حجمی و تعیین خواص ترمودینامیکی مواد خالص و مخلوط ها فراهم می آورند.

نفت خام ماده بسیار پیچیده ای است و بجز در سطوح ترکیبات زودجوش.

API°: (چگالی نسبی نفت خام)

چگالی نفت خام را بر اساس API° بیان می کنند.

برآورد رفتار فازی و حجمی مخازن نفتی، نیاز به داشتن دقیق خواص فیزیکی نفت خام دارد. فشارها و دماهای بالا. از مهمترین خواص مورد نیاز، حجم ویژه و چگالی نسبی نفت خام می باشد.

جرم واحد حجم نفت خام را در یک فشار و دمای معین، حجم ویژه نفت خام می نامند و معمولاً بر حسب پوند بر فوت مکعب بیان می شود. چگالی نسبی نفت خام به عنوان نسبت حجم ویژه نفت به حجم ویژه آب تعریف می گردد. هر دو حجم ویژه در 60°F و فشار اتمسفری، اندازه گیری می شوند.

$$\gamma_o = \frac{\rho_{oil}}{\rho_{water}}$$

www.jozveha.ir

γ_o: چگالی نسبی نفت بعضی ارقام تا با S یا Sp.gr نمایش داده می‌شود

ρ_o: جرم ویژه نفت خام بر $\frac{lb}{ft^3}$

ρ_w: جرم ویژه آب بر $\frac{lb}{ft^3}$

اگرچه جرم ویژه و چگالی نسبی بطور گسترده‌ای در صنایع نفت به کار می‌روند، چگالی API به عنوان درجه چگالی، ترجیح داده می‌شود. این درجه چگالی دقیقاً توسط رابطه زیر به چگالی نسبی مربوط می‌شود.

$$^\circ API = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$$

API این نام مخفف "American Petroleum Institute"

نکته: برای تعیین وزن مخصوص (γ) یا (Sp.gr) باید دما مشخص باشد.

چگالی API نفت‌های خام معمولاً از $^\circ API$ ۶۷ برای نفت‌های خام سبک تا $^\circ API$ ۱۰ برای نفت‌های خام سنگین آسفالتی، تغییر می‌کند.

www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

آشنایی با بعضی از رابطه‌ها:

۱- دانسیته Density

$\rho = \frac{m}{V}$

جرم هر واحد حجم ماده را گویند. $\frac{kg}{m^3}$; $\frac{Lb_m}{ft^3}$

m: جرم

V: حجم

$\rho_{water} = 998.2 \frac{kg}{m^3}$

$\rho_{water} = 62.4 \frac{Lb_m}{ft^3}$

$\rho_{air} = 1.207 \frac{kg}{m^3}$

۲- وزن مخصوص Specific_gravity (sp.gr)

وزن مخصوص یک سیال عبارت است از وزن واحد حجم آن سیال.

این تعیین را با کاراکترهای زیادی نمایش می‌دهند ولی متداول‌ترین آن‌ها (γ) می‌باشد.

$\gamma = \rho . g$

m: جرم

V: حجم

W: وزن

g: شتاب گرانش

$\rho = \frac{m}{V}$

جای گذاری $\rightarrow \gamma = \frac{m}{V} . g \Rightarrow \frac{m.g}{V} = \frac{W}{V}$

$\gamma_{water} = 9790 \frac{N}{m^3}$; $\gamma_{water} = 62.4 \frac{Lb}{ft^3}$

$\gamma_{air} = 11.8 \frac{N}{m^3}$; $\gamma_{air} = 0.0762 \frac{Lb}{ft^3}$

www.jozveha.ir

حجم مخصوص: "Specific volume"

$$v = \frac{1}{\rho}$$

این متغیر طی چگالی می باشد $\frac{m^3}{kg}$; $\frac{ft^3}{lbm}$

ρ : چگالی

چگالی نسبی:

نسبت چگالی یک ماده به چگالی یک سیال مرجع.

$$S = \frac{\rho}{\rho_0}$$

نکته: این پارامتر بدون بعدی باشد.

$$gas\ S_{gas} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{air}}$$

$$\text{مایعات } S_{liq} = \frac{\rho_{liq}}{\rho_{water}}$$

چگالی گازها:

$$\rho_{gas} = \frac{MW}{22.4} \quad \frac{kg}{m^3} \quad SI$$

$$\rho_{gas} \quad \frac{MW}{379} \quad \frac{lbm}{ft^3} \quad USA$$

MW : وزن مولکولی

MWa : وزن مولکولی ظاهری

یا

$$\rho_{gas} = \frac{P\,MW_a}{RT} = \frac{m}{V}$$

www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

وزن مولکولی ظاهری:

یکی از عواملی که بسیار زیاد مورد استفاده مهندسان می باشد، وزن مولکولی ظاهری است.

اگر y_i بیانگر کسر مولی جزء iام در یک مخلوط گاز باشد، وزن مولکولی ظاهری از رابطه ریاضی به صورت معادله زیر تعریف می شود:

$$MW_a = \sum_{i=1} y_i \cdot MW_i$$

MW_a : وزن مولکولی ظاهری مخلوط گاز

MW_i : وزن مولکولی جزء iام در مخلوط

کسر مولی:

نسبت تعداد مول های هر جزء به تعداد کل مول های موجود در مخلوط را، کسر مولی آن جزء می نامند.

n : تعداد کل مول ها

y_i : کسر مولی

$$y_i = \frac{n_i}{n} = \frac{n_i}{\sum_{i=1} n_i}$$

$$y_i = \frac{\frac{w_i}{MW_i}}{\sum_i \frac{w_i}{MW_i}}$$

www.jozveha.ir

کسر وزنی:

کسر وزنی هر جزء نسبت وزن آن جزء به وزن کل مخلوط است.

$$W_i = \frac{m_i}{m} = \frac{m_i}{\sum_{i=1} m_i}$$

W_i: کسر وزنی i

m_i: وزن جزء i

m: وزن کل گاز

$$W_i = \frac{y_i MW_i}{\sum y_i MW_i}$$

کسر حجمی:

نسبت حجم یک جزء معین به حجم کل مخلوط را، کسر حجمی آن جزء می نامند.

$$V_i = \frac{V_i}{V} = \frac{V_i}{\sum_{i=1} V_i}$$

$$m_i = y_i \cdot MW_i$$

www.jozveha.ir

(۲) محاسبات پالایش

e.g: A liq contains:

	20٪ A	30٪ B	50٪ C (wt)
°API	28	36	40

calculate density?

$$A.P.I_{(A)} = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 \Rightarrow 28 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 = 0.8847$$

$$\Rightarrow 36 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 = 0.8450$$

$$\Rightarrow 40 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 = 0.8251$$

$$(sp.gr)_t = 0.2(0.8847) + 0.3(0.8450) + 0.5(0.8251) = 0.8427$$

$$(A.P.I)_t = \frac{141.5}{0.8427} - 131.5 \Rightarrow 36.25$$

$$P_{oil} = (sp.gr)_t \cdot P_{H_2O} \Rightarrow 0.8427 \times 62.4 = 52.6$$

$$P_{H_2O} = 62.4 \ \frac{lbm}{ft^3} \ , \ P_{H_2O} = 8.328 \ \frac{lbm}{gal^3}$$

www.jozveha.ir

e.g: what is the density of a 29.3 API at 60°F and 600°F?

at 60°F (Table 190) ⟶ sp.gr = 0.88

$$\rho = 0.88 \times 62.4 \frac{lb_m}{ft^3} \left| \frac{1\,ft^3}{7.48\,gall} \right. = 7.35 \frac{lb_m}{gall}$$

at 600°F (Table 190) ⟶ sp.gr = 0.694

$$\rho = 0.694 \times 62.4 \frac{lb_m}{ft^3} \left| \frac{1\,ft^3}{7.48\,gall} \right. = 5.8 \frac{lb_m}{gall^3}$$

مثال: دمای مایعاتی دارای 29 °API در یا بشر. وزن مخصوص آن چقدر است؟

$$^\circ API = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5$$

$$29 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 \longrightarrow sp.gr = \frac{141.5}{29 + 131.5} = 0.884$$

نکته: برای محاسبه چگالی نفت به صورت زیر عمل می کنیم:

$$\rho_{oil} = \rho_{sp} \cdot \rho_{H_2O} \rightarrow (0.884)(62.4) = 55.16$$

www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

نکته: اگر بخواهیم sp.gr را در واحدی دیگر محاسبه کنیم مثلاً برحسب تگزاس باید آن را

تبدیل واحد کرد.

$$\frac{lbm}{ft^3} \Big| \frac{ft^3}{7.48\,gal} \quad \checkmark$$

مثال: گیاره نفتی شامل درصدهای حجمی C_7 ٪۴۰، C_8 ٪۳۰، C_9 ٪۳۰

API را محاسبه کنید:

ابتدا مولفه را طبق راهنمایی کار نام گذاری می کنیم:

$$C_7 = S_1 \;,\; C_8 = S_2 \;,\; C_9 = S_3$$

$$W_L = (0.4 \times 100) + (0.3 \times 114) + (0.3 \times 128) = 104.8 \text{ sp.gr}$$

$$API = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5$$

$$sp.gr = \frac{141.5}{API + 131.5} = \frac{141.5}{104.8} - 131.5 = \checkmark$$

حل:

www.jozveha.ir

(۱۰)

مثال: یک مایع نفتی که دارای سه جزء A، B و C می‌باشد. درصدهای وزنی آن ۲۵٪ A، ۲۵٪ B و ۵۰٪ C می‌باشد. درصدهای مولی ۷٪ آن را محاسبه کنید.

$$W_t = (0.25 \times MW_A) + (0.25 \times MW_B) + (0.50 \times MW_C)$$

$$\text{درصد وزنی } A = \frac{0.25\,MW_A}{W_t} \times 100 \qquad \text{درصد مولی } A = \frac{0.25\,MW_A}{V_t \cdot P_A} \times 100$$

$$\text{درصد وزنی } B = \frac{0.25\,MW_B}{W_t} \times 100 \qquad \text{درصد مولی } B = \frac{0.25\,MW_B}{V_t \cdot P_B} \times 100$$

$$\text{درصد وزنی } C = \frac{0.50\,MW_C}{W_t} \times 100 \qquad \text{درصد مولی } C = \frac{0.50\,MW_C}{V_t \cdot P_C} \times 100$$

$$V_t = \left(\frac{0.25\,MW_A}{P_A}\right) + \left(\frac{0.25\,MW_B}{P_B}\right) + \left(\frac{0.50\,MW_C}{P_C}\right)$$

مثال: یک گاز مثال C_1 ۸۰٪، C_2 ۱۰٪، C_3 ۴٪ و C_4 ۶٪ در $70^\circ F$ می‌باشد و فشار $250\ Psi$ می‌باشد. وزن دانسیته آن را محاسبه کنید.

$T = 70^\circ F$

$P = 250\ Psi$

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{MW} RT \rightarrow PMW = \left(\frac{m}{V}\right) RT$$

(ρ)

$$\rho = \frac{PMW}{RT}$$ (R برحسب رانکین)

$$MW = (0.18 \times 16) + (0.10 \times 30) + (0.06 \times 44) + (0.06 \times 58) = 22.04 \text{ lb}$$

$$\rho = \frac{250 \times 22.04}{10.73 \times 530} = 0.974$$

$530 = 460 + 70$

www.jozveha.ir

محاسبات واکایش

مثال: یک مخلوط تابع شامل مواد زیر می باشد C_7 ۲۷٪، C_8 ۱۸٪، C_9 ۲۵٪، C_{11} ۲۵٪

که برحسب درصد حجمی بیان شده اند. مطلوب است محاسبه کسر برحسب درصد وزنی:

$$W_t = 0.22(100) + 0.18(114) + 0.25(128) + 0.15(154) = 102.92$$

$$W_{C_7} = \frac{0.27 \times 100}{102.92} \times 100 = \%26.22 \quad ; \quad W_{C_9} = \frac{0.25 \times 128}{102.92} \times 100 = \%31.08$$

$$W_{C_8} = \frac{0.18 \times 114}{102.92} \times 100 = \%19.93 \quad ; \quad W_{C_{10}} = \frac{0.15 \times 128}{102.92} \times 100 = \%22.37$$

مثال: یک تابع شامل مواد زیر می باشد چگالی آن را محاسبه کنید.

	A	B	C	(W_t)
	٪۲۰	٪۳۰	٪۵۰	
°API	۲۸	۳۴	۴۰	

$$\frac{141.5}{Sp.gr} - 131.5 \longrightarrow 0.887 \qquad Sp.gr = \frac{141.5}{131.5 + 28} = 0.887$$

$$\frac{141.5}{Sp.gr} - 131.5 \longrightarrow 0.854 \qquad Sp.gr = \frac{141.5}{131.5 + 34} = 0.854$$

$$\frac{141.5}{Sp.gr} - 131.5 \longrightarrow 0.825 \qquad Sp.gr = \frac{141.5}{131.5 + 40} = 0.825$$

$$(Sp.gr)_t = (0.825 \times 0.50) + (0.854 \times 0.30) + (0.887 \times 0.20) = 0.8435$$

$$A.P.I_t = \frac{141.5}{(Sp.gr)_t} - 131.5 \rightarrow 34.55 \quad ; \quad \rho_{oil} = \rho_{H_2O} \times Sp.gr_t = 62.4

www.jozveha.ir

روش های بینابینی بر PNA :

P : پارافین ها Paraffin

N : نفتن ها Naphthene

A : آروماتیک ها Aromatic

معمولا در روش های نفتی، سبم، چگالی نسبی و وزن مولکولی و سایر ویژگی قابل اندازه گیری هستند. در این روش ها روش هایی که بر پایه ی مواد نفتی ایجاد می شود، در نقطه جوش های متفاوتی است که عموما پنج روش در تعریف نقطه جوش نرمال است.

۱- نقطه جوش میانگین حجمی (VABP)

Volume average Boiling Point

V_i کسر حجمی

T_b نقطه جوش °R

$$V_1 t_1 + V_2 t_2 + \cdots = \sum_i V_i T_{b_i}$$

۲- نقطه جوش میانگین وزنی (WABP)

weight average Boiling point

W_i کسر وزنی

$$W_1 t_1 + W_2 t_2 + \cdots = \sum_i W_i T_{b_i}$$

www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

۳- نقطه جوش میانگین مولی (MABP)

Molar average Boiling Point

x_i کسر مولی

$$x_1 t_1 + x_2 t_2 + \cdots = \sum_i x_i T_{b_i}$$

۴- نقطه جوش میانگین کبی (CABP)

cubic average Boiling Point

$$\left(V_1 T_1^{\frac{1}{3}} + V_2 T_2^{\frac{1}{3}} + \cdots\right)^3 = \left[\sum_i x_i T_{b_i}^{\frac{1}{3}}\right]^3$$

۵- نقطه جوش میانگین حسابی ما (MeABP)

Mean averge Boiling point

$$t_m = \frac{MABP + CABP}{2} = \frac{T_{cubic} + T_{mol}}{2}$$

مثال: یک ماده نفتی دارای این مشخصات است: C_7 ٪۲۷، C_8 ٪۱۱، C_9 ٪۳۰، C_{10} ٪۲۸

Table ۵-۲ را باید. متوسط نقطه جوش این ماده را بدست آورید.

$C_7 = 100/12$ MW ; $C_9 = 128/15$ MW

$C_8 = 114/14$ MW ; $C_{10} = 134/14$ MW

$C_7 = 209\,^\circ t_b$; $W_i = (0/27 \times MW) + (0/11 \times MW) + (0/32 \times MW) + (0/30 \times MW)$

$C_8 = 258\,^\circ t_b$

$$W_i \cdot T_b = W_1 \cdot T_1 + W_2 \cdot t_2 + W_3 \cdot t_3 + W_4 \cdot T_4$$

$$W_1 = \frac{0/27}{W_i}$$

www.jozveha.ir

(۱۲)

برای یک سیستم نفتی که دارای API ۳۰° می باشد و ضریب شخصه آن K=۱۱٫۳۵ است. اگر این ماده دارای سه جزء A(۳۰۰°F, ۴۰٪) ، B(۴۰۰°F, ۳۲٪) ، C(۴۵۰°F, ۲۸٪) بر حسب حجمی باشد. محاسبه نمایید دمای جوش میانگین T_b، نقطه جوش میانگین ها T_m.

برای ماده A:

$$A\begin{cases} K=11,35 \\ T=300^\circ F \\ API=44 \xrightarrow[178]{\text{جدول ضمیمه}} API=\frac{141,5}{sp.gr}-131,5=0,806 \end{cases}$$

$$\rho_{A\,oil}=(0,806)(62,4)=50,31\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

$$B\begin{cases} K=11,35 \\ T=400^\circ F \\ API=37 \longrightarrow API=\frac{141,5}{sp.gr}-131,5=0,838 \end{cases}$$

$$\rho_{B\,oil}=(0,838)(62,4)=52,29\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

$$C\begin{cases} K=11,35 \\ T=450^\circ F \\ API=35 \longrightarrow A.P.I=\frac{141,5}{sp.gr}-131,5=0,845 \end{cases}$$

$$\rho_{C\,oil}=(0,845)(62,4)=52,7\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

اطلاعات مثال قبل:

T_b نقاط جوش $= V_1 t_1 + V_2 t_2 + V_3 t_3 + \cdots$

$T_b = (0.4 \times 300) + (0.22 \times 500) + (0.38 \times 650) = 374$

$$T_{mean} = \frac{T_{cubic} + T_{mol}}{2}$$

$$W_t = (0.4 \times 50.21) + (0.22 \times 74.49) + (0.38 \times 52.3) = 61.75$$

$$W_A = \frac{0.4 \times 50.21}{61.75} = 0.49$$

$$W_B = \frac{0.22 \times 74.49}{61.75} = 0.32$$

$$W_C = \frac{0.38 \times 52.3}{61.75} = 0.19$$

$$T_{cubic} = \left[W_1 (t_1)^{\frac{1}{3}} + W_2 (t_2)^{\frac{1}{3}} + W_3 (t_3)^{\frac{1}{3}} \right]^3$$

$$= \left[0.49 (300)^{\frac{1}{3}} + 0.32 (500)^{\frac{1}{3}} + 0.19 (650)^{\frac{1}{3}} \right]^3 = 427.82$$

T_{mol} { $k = 11.85$, $API = 30$ } $\xrightarrow[\text{صفحه ۱۸۸}]{\text{ترجمه ۹-۵}}$ 525

$$T_{mean} = \frac{427.82 + 525}{2} = \checkmark$$

www.jozveha.ir

گرمای تبخیر "Latent heat of Vaporization"

گرمای تبخیر مقدار حرارتی است که به واحد جرم جسم داده می شود تا تبدیل به بخار شود

در مورد هیدروکربن ها، این تبدیل در دما و فشار ثابت انجام می شود، تعالی که در مورد مخلوط ها فقط یکی از این دو پارامتر ثابت است.

$$\Delta H = \gamma \Delta H \frac{T}{T_B}$$

$$\frac{kcal}{kg} \quad ; \quad \frac{kcal}{Kmol}$$

$$\frac{Btu}{Lb} = 0/55 \frac{kcal}{kg}$$

گرانروی بخار: Vapor Viscosity

در مورد گازها، ترکیبات شیمیایی اثر تا چیز بر گرانروی دارد، تعالی که اثر فشار قابل ملاحظه است

همین «هوگن - واسون» رابطه این گرانروی و فشار و دما را بدست آورده اند.

$$\mu_c = \frac{V_{IV}\sqrt{MW}\, P_c^{\frac{2}{3}}}{T_c^{\frac{1}{6}}} = \frac{V_{IV}\, MW^{\frac{1}{2}}\, P_c^{\frac{2}{3}}}{T_c^{\frac{1}{6}}}$$

μ_c ویسکوزیته بحرانی

T_r دمای نقصانی $= \frac{T}{T_c}$

T_c = دمای بحرانی K°

P_r فشار نقصانی $= \frac{P}{P_c}$

P_c = فشار بحرانی atm

MW جرم مولکولی

www.jozveha.ir

محاسبات پالایش

مثال: یک گازوئیل که دارای دمای جوش یا نگین $250^\circ F$ می‌باشد وهمین دارای $API = 40$ است.

$$\begin{cases} A.P.I = 40 \xrightarrow[\text{صفحه } 178]{\text{جدول } 5-9} MW = 102 \\ T_b = 250^\circ F \\ \\ gas_oil \xrightarrow[\text{صفحه } 181]{\text{جدول } 5-12} T_c = 540^\circ F \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_b = 250^\circ F \\ \\ \xrightarrow[\text{صفحه } 181]{\text{جدول } 5-12} P_c = 640\ Psia \\ \\ T_c = 540^\circ F \end{cases}$$

$$\mu_c = \frac{7.7 \times (102)^{\frac{1}{2}} (21.29)^{\frac{2}{3}}}{540 + 460} = 249.28 \simeq 270$$

$$\frac{640\ Psia \mid 1atm}{14.7\ Psia} = 21.29$$

برای محاسبه‌های تقسیمی و شارتقسیمی جدول 5-14 مراجعه کنید تا μ_r را بدست آورید مثل

$$P = 50\ Psia,\quad T = 540^\circ F$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{50}{640} = 0.109$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{540 + 460}{540 + 460} = 0.91$$

$$\mu_r = 0.42 \quad ; \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_c} \Rightarrow \mu = \mu_r \cdot \mu_c = 0.42 \times 270 = 114.1$$

www.jozveha.ir

e.g: A mid base narrow-boiling range fraction has a gravity of 35 API the Laten heat of this fraction at atmospheric pressure and also 500°F is Desired?

$K = 11,9$

$h = \gamma T_B \frac{T}{T_b}$

$\frac{T_B}{T_c} = \frac{850 + 460}{900 + 460} = 0,938$

$K = 11,9$, API $= 35$ $\xrightarrow{\text{Fig } 5-5}$ $T_b = 850$, $T_c = 900$

$\frac{T}{T_c} = \frac{500 + 460}{900 + 460} = 0,964$

$\gamma \xrightarrow[\text{۱۷۴ صفحه}]{\text{Fig } 5-4} 1,14$

$L = \Delta H_{vap} \xrightarrow{\text{Fig } 5-3}$ $T_b = 850°F$, API $= 35$ $\longrightarrow 94$

$K = \frac{T_b}{\gamma}^{\frac{1}{3}}$

$h = 1,14 \times 94 \left(\frac{500 + 460}{850 + 460} \right) = 98$

www.jozveha.ir

مثال: محاسبه گرمای مورد نیاز h^2 از یک ماده نفتی با گرمای ویژه در فشار ثابت

$C_p = 0/۴۷ + ۴/۲ \times 10^{-۴} T + ۶/۱۵ \times 10^{-۵} T^۲$ در دمای $۲۰۰^\circ F$ تا $۴۰۰^\circ F$ چقدر می‌باشد

$$C_p = 0/۴۷ + ۴/۲ \times 10^{-۴} T + ۶/۱۵ \times 10^{-۵} T^۲$$

$$Q = n \int_{T_1}^{T_۲} C_p \, dT \qquad n = \frac{M}{MW} = \frac{\rho \cdot V}{MW}$$

$$\rho = \frac{n}{V}$$

$$Q = n \int_{۲۰۰}^{۴۰۰} \left(0/۴۷ + ۴/۲ \times 10^{-۴} T + ۶/۱۵ \times 10^{-۵} T^۲ \right) dT$$

مثال: محاسبه گرمای مورد نیاز برای ماده‌ای از $۲۰۰^\circ F$ تا $۱۰۰^\circ F$ که دارای وزن $۱۰۰ lb_m$ می‌باشد

$$C_p = 0/۴۵ + ۲/۱۸ \times 10^{-۴} T + ۴/۹۵ \times 10^{-۵} T^۲ \quad \frac{Btu}{lb_m F}$$

$$Q = m \int_{۱۰۰}^{۲۰۰} \left(0/۴۵ + ۲/۱۸ \times 10^{-۴} T + ۴/۹۵ \times 10^{-۵} T^۲ \right) dT$$

$$Q = m \left(0.۴۵ (۱۰۰) + \frac{۲/۱۸ \times 10^{-۴}}{۲} \left(۳۰۰^۲ - ۱۰۰^۲ \right) + \frac{۴/۹۵ \times 10^{-۵}}{۳} \left(۲۰۰^۳ - ۱۰۰^۳ \right) \right)$$

$$Q = m \times ۱۸۵/۷ = ۱۸۷/۵ \frac{Btu}{lb_m} \times ۱۰۰ lb_m = ۱۸۵۰ Btu$$