محاسبه افت فشار بکمك پدیده ((مقاومت))

ترجمهٔ

فیروز رسولی

مربی دانشکده فنی

چکیده : دراین مقاله سعی شده از تشابه بین جریان الکتریسته و جریان سیال استفاده کرده وبا تعریف پدیده مقاومت محاسبات افت فشار را با سهولت بیشتری بانجام برسانیم.

چون هراصطکاکی نتیجه تأثیر دوعامل کاملاً مجزا یکی مربوط به‌خواص سیال (Z) و دیگری مربوط به‌مشخصات دستگاه (R) میباشد با تفکیك این‌دوعبارت درمعادلات افت فشار میتوان آنرا بصورت معادله اصلی جریان الکتریسته $E=I\times R$ (مقاومت × شدت جریان = اختلاف پتانسیل) درآورد. منتهی در مورد افت فشار معادله فوق را بصورت زیر تعریف میکنیم ($F'=RZ$) که F' افت فشار ناشی از اصطکاك براثر عبور جریان E از داخل دستگاهی با مقاومت R میباشد.

محاسبه اصطکاك و افت فشار نه‌تنها برای طرح اولیه مهم میباشد بلکه برای کنترل عملیات و نگهداری لوله‌ها و ستون‌های جذب و تقطیر وغیره کندانسورها و تمام وسائلی که با انتقال سیال سروکار دارند کمال‌اهمیت‌را دارد. تعداد معادلات موجود برای محاسبه افت‌فشار متعدد است. ویك نفر متخصص در پیدا کردن وبکاربردن معادله مناسب با هیچ اشکالی‌مواجه نمیشود. درصورتیکه اشخاص غیرمتخصص نظیرمهندسین گرداننده کارخانه باید با زحمت معادله‌مناسب‌را پیدا کرده و برای مسأله بخصوص خود ازآن استفاده کنند. که خودکار بسیار مشکلی است. چنین اتلاف وقتی ازآن جهت قابل اعتراض است که در اکثر موارد بسیاری از قسمت‌های محاسبه توسط طراح انجام گردیده و این فقط بعلت غیرقابل دسترس بودن کارهای طراح است که مهندس گرداننده کارخانه مجبور است دوباره این محاسبات را تکرار کند.

پدیده مقاومت

منظور ازاین مقاله ارائه طریقه‌ای برای‌دسته‌بندی اطلاعات موجود بصورتی است که بآسانی برای

مهندس گرداننده کارخانه قابل استفاده باشد. برای این منظور از پدیده «مقاومت» درجریان سیال استفاده میکنیم. چون هراصطکاکی نتیجه تأثیر دوعامل کاملاً مشخص و مجزا یعنی خواص سیال و مشخصات دستگاه میباشد، باین‌جهت‌پارامترهای موجود در معادلات افت فشار را به‌دوعبارت که یکی‌مربوط به‌خواص سیال و دیگری مربوط به‌مشخصات دستگاه باشد تجزیه میکنیم. بدین‌ترتیب محاسبات عددی هرقسمت مستقل شده و عملیات آن کمتر میشود، بعلاوه با بکاربردن یک متد استاندارد، معادلات متعدد موجود به‌چند معادله ساده تقلیل مییابد. این عمل درجریان الکتریسته بوسیله معادله $E=IR$ صورت گرفته که درآن I نماینده شدت جریانی است که از سیم عبور میکند و R مقاومت سیمی‌است که ازآن جریان میگذرد و E اختلاف پتانسیل میباشد که مشابه اختلاف فشار در جریان سیال است.

بدست آوردن معادلات عملی

معادله $F'=RZ$ که رابطه بین افت فشار (F') حاصل از عبور جریان Z از داخل دستگاهی‌با مقاومت R مشابه با معادله اصلی الکتریسته میباشد. حال ببینیم R و Z را چگونه باید توصیف کرد. در محاسبات افت فشار با تقریب میتوان افت فشار را متناسب با مجذور سرعت فرض کرد و ضریب تصحیحی راکه بصورت تابعی از عدد رینولدز بیان میشود وارد معادله نمود. بدین‌ترتیب تمام معادلات افت فشار شامل عبارت Velocity head میباشد.

$$H=(V^2\rho)/(2g_c) \qquad (1)$$

که درآن V سرعت برحسب مسافت در واحد زمان، ρ جرم مخصوص (جرم واحد حجم) g_c ثابت ثقل میباشد که واحد جرم را به‌واحد وزن تبدیل میکند. نتیجتاً واحد H برحسب وزن در واحد سطح توصیف میگردد. معادلات موجود برای افت فشار را میتوان چنان تنظیم نمود که افت فشار ناشی‌از اصطکاك را بصورت تابعی از Velocity head بیان نماید.

$$F' = (\varphi)(v^2\rho)/(2g_c) \qquad (2)$$

در رابطه بالا φ اثر شکل دستگاه و ضریب تصحیح و غیره را در بردارد. معادلاتی ازاین نوع عبارت سرعت را هم در برمیگیرند. ولی سرعت هم مربوط به‌خواص سیال میشود و هم‌مربوط به‌خاصیت سیستم. واحد سرعت را میتوان برحسب جرم در واحد زمان یا حجم در واحد زمان اختیار کرد. اما چون اطلاعات و ارقام معمولاً برحسب واحدهای جرم در دست میباشد، بنابراین اگر واحد سرعت را برحسب جرم در واحد زمان درنظر بگیریم خواهیم داشت:

$$V = W/S\rho \qquad (2)$$

که درآن W شدت جریان جرمی برحسب جرم در واحد زمان S سطح مقطع میباشد.

با قراردادن معادله (۳) در معادله (۲) داریم :

$$F' = \varphi \frac{W^2}{2g_c S^2 \rho} \qquad (4)$$

که درآن W و ρ خواص انحصاری سیال میباشند درصورتیکه S از خواص مربوط به‌خود سیستم است.

با جدا کردن طرف راست معادله (٤) باین‌دو عامل داریم :

$$F' = \varphi\left(\frac{1}{S^2}\right)\left(\frac{W^2}{2g_c\rho}\right) \qquad (5)$$

درجائیکه :

$$\varphi\left(\frac{1}{S^2}\right) = R \qquad (6)$$

$$\frac{W^2}{2g_c\rho} = Z \qquad (7)$$

بکمک‌معادله (۱) میتوان با در دست داشتن‌دوعبارت، عبارت سوم‌را تعیین کرد. معمول‌ترین‌حالاتی که در موارد عملی با آن مواجه میشویم عبارتند از :

الف) مقدار R از معادلات عمومی یا بطور تجربی در دست میباشد. وبا داشتن Z مجهول F′ محاسبه میشود.

ب) دستگاه بقدری پیچیده است که محاسبه R عملاً غیرمقدور میباشد. درآنصورت از روی اندازه‌گیری افت فشار یک جریان معلوم تعیین میگردد :

$$R = \frac{F'}{Z}$$

ج) علاوه‌بر مسأله معمولی که تعیین مقدار جریان برای یک فشار معین از معادله $Z = \frac{F'}{R}$ میباشد میتوان آنرا برای محاسبه مقدار جریانی که از هریک از شاخه‌های یک سیستم عبور میکند مورد استفاده قرارداد : مشابه قوانین الکتریسته مقاومت کلی قطعاتی از سیستم که بصورت سری باشند برابر با مجموع هریک ازاین مقاومت‌هاست

$$R_s = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

همچنین مقاومت کل اجزاء یک سیستم که بصورت موازی باشند. از رابطه زیر تعیین میشود :

$$\frac{1}{(R_p)^{1/2}} = \frac{1}{(R_1)^{1/2}} + \frac{1}{(R_2)^{1/2}} + \cdots + \frac{1}{(R_n)^{1/2}}$$

بهمین ترتیب سیستم های پیچیده‌تر را میتوان از روابطی مشابه روابط قوانین کیرشوف بدست آورد.

تعیین مقادیر R

مثال زیر طریقه بدست‌آوردن R برای اجزاء معمول سیستم را از معادلات افت فشار نشان میدهد. Enlargement - Exit loss - Expansion - دریک Orfice ایده‌آل که‌افت‌فشار مساوی Velocity head باشد. $F'=H$ مقدار $R=\frac{1}{S^2}$ میگردد. این نتیجه را میتوان با تقریب در مورد خروج جریان از یک‌لوله به‌یک مخزن بزرگ مورد استفاده قرارداد. همین‌نتیجه را میتوان از معادلات افت فشار نیزاستنتاج نمود مثلاً friction head خروج یک جریان بیک مخزن بزرگ از رابطه زیر بدست میآید:

$$F = (V_1^2)/(2g_c)$$

که F همان friction head برحسب ارتفاع مایع میباشد. اگر دوطرف معادله را در ρ ضرب کرده و از معادله ۳ و ۷ درآن قراردهیم خواهیم داشت:

$$F' = (1/S^2)(Z)$$

با ترکیب این معادله با معادله (۱) عبارت R حاصل میشود.

$$R = 1/S^2$$

نظیر همین درمورد خروج جریان ازیک مجرا (duct) با سطح مقطع کوچک S_1 بیک مجرا با سطح مقطع بزرگتر S_2 معادله افت فشار بصورت زیر است:

$$F = \frac{V_2^1}{2g_c}\left(1-\frac{S_1}{S_2}\right)^2$$

که میتوان رابطه R را ازآن بدست آورد:

$$R=\frac{1}{S_1^2}\left(1-\frac{S_1}{S_2}\right)$$

(Entrance loss) Contraction

معادله مربوط به‌کاهش ناگهانی سطح از S_1 به S_2 عبارت است از:

$$F=k\left(\frac{V_2^2}{2g_c}\right)$$

که درآن:

$$\text{برای} \quad \frac{S_2}{S_1} < ۰٫۷۱۵ \qquad k = ۰٫٤ \left(۱٫۲۵ - \frac{S_2}{S_1} \right)$$

$$\text{و برای} \quad \frac{S_2}{S_1} > ۰٫۷۱۵ \qquad k = ۰٫۷۵ \left(۱ - \frac{S_2}{S_1} \right)$$

در نتیجه عبارت مقاومت دراین مورد باین‌صورت میشود :

$$R = (۱/S_2^2)\,(k)$$

Friction for fitings , valves , etc (اصطکاك شیرها ـ بست‌ها وغیره)

رابطه مربوط بآن معمولاً برحسب Velocity head داده میشود که ازآن میتوان مقاومت را محاسبه کرد :

$$R = (۱/S^2)(H)$$

Friction loss is pipes (اصطکاك در لوله‌ها)

از جمله ، مناسب‌ترین معادلات افت فشار در مورد جریان در داخل لوله‌ها وکانالها و مجاری ، معادله Fanning میباشد.

$$F = \frac{fLV^2}{2g_cR_h}$$

که L و R_h بترتیب طول وشعاع هیدرولیکی لوله (پیرامون خیس‌شده / بسطح مقطع $= R_h$) و f ضریب اصطکاك Fannning میباشد و F برحسب ارتفاع مایع درحال جریان میباشد.

با ضرب کردن طرفین معادله در ρ افت فشار که برحسب وزن در واحد سطح بدست میاید :

$$F' = \frac{fLV^2\rho}{2g_cR_h}$$

اگر از معادله (۳) درآن قرار دهیم :

$$F' = \frac{fLW^2}{2g_cS^2R_h\rho}$$

از ترکیب این معادله با معادلات (۱) و (۷) عبارت مقاومت لوله وکانال وغیره بدست میآید :

$$R = \frac{۱}{S^2} \times \frac{L}{R_h} \times f$$

در مورد لوله‌های گرد داریم :

$$R_h = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) / (D\pi) = \frac{D}{4}$$

$$R = \frac{1}{S^2} \times \frac{L}{D} \times 4f$$

که میتوان بصورت زیر خلاصه کرد :

$$R = 6.48\, LD^{-0} f$$

Packed columns (ستون‌های پرشده)

معادلات پیچیده متعددی برای محاسبه افت فشار در داخل ستون‌های پرشده ارائه شده است. که تعمیم آن برای شدت جریان‌هان زیاد مشکل میباشد. ولی برای مواقعی که اصلاً آبیاری نداریم یا آبیاری بسیار کم است (مشابه حالتی که در تقطیر باآن طرف‌هستیم) با تقریب قابل قبولی میتوان از رابطه زیر استفاده کرد :

$$R = \frac{1}{S^2} \times \frac{L}{n_p} \times F_p$$

که S سطح مقطع ستون و L ارتفاع مواد پر کننده و n_p اندازه مواد پر کننده. و F_p ضریب شکل پر کننده‌ها میباشد.

مقدار F_p برای عده‌ای از معمولترین پر کننده‌های سرامیکی بشرح زیر است :

پر کننده	F_p
Rashig Ring	۲۰
Saddles	۱۵
Pall Rings	۸

تجهیزات دیگر

طبق روشی که در بالا ذکر آن گذشت میتوان عبارت R را برای هردستگاهی که معادله افت‌فشار یا اصطکاك آن معلوم باشد محاسبه کرد. حتی مواقعی که هیچ اطلاعاتی در دست نباشد باز میتوان R را تخمین زد مثلاً هنگامیکه بخواهیم مقاومت یک Conical SPRAY nozzle شیپوری مخروطی‌را تخمین بزنیم تقریبات زیررا درنظر میگیریم:

فرض میکنیم شیپوری مایع را در نتیجه مجموع دو سرعت محوری v و مولفه سرعت شعاعی v_r خارج میسازد. سرعت متوسط شعاعی داخل مخروط با زاویه α با توزیع یکنواخت عبارت است از :

$$v_r = \frac{v\tan(\alpha/2}{(2)^{1/2}}$$

سرعت کل عبارت است از :

$$V_T^2 = V^2 + \frac{V^2(\tan\alpha/2)^2}{2} = V^2\left[1 + \frac{(\tan\alpha/2)^2}{2}\right]$$

اگر از اتلاف انرژی ثانویه صرفنظر کنیم. بامحاسبه velocity head و ترکیب آن با معادلات ۳ و ۷ و ۱ خواهیم داشت :

$$R = \frac{1}{S^2}\left[1 + \frac{(\tan\alpha/2)^2}{2}\right]$$

این عبارت با ارقام ارائه شده توسط کارخانه مقایسه شده وبا تقریب چند درصد قابل قبول میباشد.

Choosing units (انتخاب واحدها)

در رابطه (۱) $F' = RZ$ بعد R برحسب طول $^{-4}$ و Z برحسب وزن × طول^2 است در نتیجه بعد F' وزن × طول$^{-2}$ طول میشود فاکتورهائی که R را برای قطعات مختلف دستگاه توصیف میکند بدون بعد میباشند. بنابراین فقط به‌دو واحد طول و وزن احتیاج میباشد.

مسلماً هرواحد وزن و طول‌را میتوان بکار برد ولی برای اینکه از تبدیل تن و فوت و پوند اینچ وغیره بپرهیزیم توصیه میشود از واحدهای SI استفاده شود از جمله مزایای دیگر سیستم S.I. اینست که مقادیراندازه‌گیری‌شده مربوط به‌سیال که از آزمایشگاا میاید معمولاً برحسب سیستم‌متریک هستند علاوه‌برآن دو واحد مهم فشار وزن در واحد سطح و ارتفاع ستون آب برحسب توانهای ۱۰ بهم مرتبطاند.

$$(n\text{ آب} = 1000\ Kg/n^2)$$

باین دلایل واحدهای بین‌المللی Kg و متر دراین مقاله بکار رفته برای کسانی که مایل هستند واحدهای دیگری بکار ببرند لازم است که مقدار ثابت‌های عددی را تغییر دهند.

خلاصه‌تر کردن معادلات اساسی

معادلات Z و R را میتوان بیش‌ازاین هم خلاصه‌تر نمود در مورد T اگر مقدار عددی g_c را در معادله (۷) قرار دهیم:

$$Z = 0{,}0501\, W^2/\rho \qquad (Kg)(m^2) \qquad (17)$$

$$W = 4{,}43\,(Z\rho)^{1/2} \qquad Kg/sec \qquad (18)$$

معادلات (۱۷) و (۱۸) را نمیتوان هم‌برای گازها و بخارها و هم برای مایعات بکار برد در مورد مایعات ρ را میتوان ثابت فرض کرد. ولی در مورد گازها و بخارات ρ برحسب فشار و درجه حرارت تغییر میکند.

وزن مخصوص متوسط گازها و بخارات را میتوان از رابطه زیر بدست آورد :

$$\rho_g = \frac{M(P_i+P_f)}{۸۴۸٫۲۳\,(T_i+T_f)} \qquad (۱۹)$$

که M وزن ملکولی و P_i و P_f فشارهای اولیه و نهائی برحسب K° است.

با قراردادن معادله (۱۹) در معادله (۱۷) و (۱۸) برای گازها خواهیم داشت :

$$Z_g = \frac{۴۳٫۲۵ \times W^۲ \times (T_i+T_f)}{M \times (P_i+P_f)}\,(Kg)(M^۲) \qquad (۲۰)$$

$$W_g = ۰٫۱۵۲۱ \left(\frac{ZM(P_i+P_f)}{T_i+T_f}\right)^{۱/۲} Kg/sec \qquad (۲۱)$$

فرض معادلات ۱۰-۱۱-۱۲-۱۵-۱۶ مبنی بر اینکه رابطه بین افت فشار و سرعت از درجه دوم باشد قابل‌قبول میباشد. ولی‌بهرحال درمورد لوله‌ها معادلات ۱۳ و ۱۴ رابطه مزبور از درجه دوم نبوده وانحراف مشخص‌مشاهده میشود. که این انحراف‌ها باوارد کردن (f) ضریب اصطکاك تصحیح میشود. این‌ضریب بصورت تابعی از عدد رینولدز بیان میشود که عبارت سرعت درآن مستتر است. بنابراین به‌عکس خواسته و نظر ما عبارت سرعت وارد پدیده مقاومت میگردد.

دراین مورد وموارد مشابه ، نظیر (ستونهای پرشده ـ ذرات گرانوله) ، این مشکل با وارد کردن ضریب اصطکاکی که مستقل از عدد رینولدز باشد برطرف میگردد.

هنگامیکه اطلاعات کافی در دست داشته باشیم بطور تقریبی میتوان نسبت ضریب اصطکاك حقیقی به مقدار قراردادی را بعنوان ضریب تصحیح R بکاربرد. صحت این طرق از مشاهدات تجربی‌تأیید میگردد مثلاً ضریب اصطکاك (f) تا حدود زیادی به درجه زبری سطح بستگی دارد که بجز چند مورد استثنائی قابل تعیین است.

ضریب اصطکاك fanning تحت بسیاری از شرایط عملی‌حدود ۰٫۰۰۶ است. برای مثال ، بابکار بردن این مقدار قراردادی f در معادله ۱۴ برای لوله‌های مدور خواهیم داشت :

$$R = \frac{۱}{S^۲} \times \frac{L}{D} \times ۰٫۰۲۴ \qquad (۲۲)$$

$$f = ۰٫۰۰۶۱۷$$

$$R = ۰٫۰۴\,LD^{-۰}$$

جدول ۱

مقادیر R برای اجزاء مختلف که باید در معادله (۶) بکارود

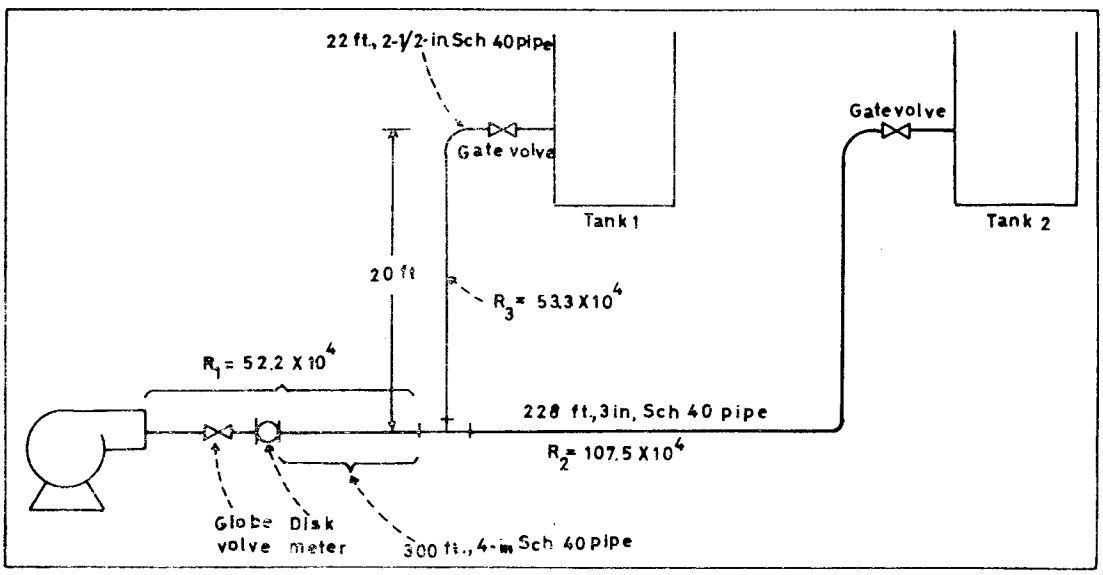
$$R=\Phi(1/S^2)$$

Equipment	Φ
Pipe, round, commercially smooth, $N_R, > 10^5$	$0.024(L/D)$
Others	$4f(L/D)$
Expansion or exit	$[1-(S_1/S_2)]^2$
Contraction or entrance, $S_2/S_1<0.715$	$0.4[1.25-(S_2/S_1)]$
$S_2/S_1>0.715$	$1.75[1-(S_2/S_1)]$
Elbows :	
45°	0.3
90° standard radius	0.74
medium radius	0.60
long sweep	0.46
square	1.3
180_o close bend	1.7
medium - radius bend	1.2
Tee, used as elbow	
entering run	1.3
entering branch	1.9
Open valve	
gate	0.13
globe	6.0
angle	3.0
Water meter	
Disk	8.0
Piston	12.0
Impulse wheel	6.0
Packed column	
Irrigation $< 1.5\times10^{-3}$ m./sec	$(LF_p)/n_p$
F_p Ceramic	
20 Raschig rings	
15 Berl saddles	
8 Pall rings	
Full - cone spray nozzles, spray angle α	$1+\frac{(\tan\alpha/2)^2}{2}$

اگربرحسب شرایط بدقت بیشتری احتیاج داشته باشیم مقدار f را از عدد رینولدز و ارقام زبری (roughness) بدست میآوریم . درآن صورت عبارت $\frac{f}{۰٫۰۰۶}$ را مستقیماً در R بکار میبریم . طریقه متشابهی را میتوان برای حالات دیگر که افت فشار تابع سرعت نباشد بکار برد (نظیر جریان از داخل ذرات گرانوله) ، اصلی را که دراینجا مورد توجه قراردادیم میتوان بطور تئوری برای هرنوع جریانی بکاربرد اگرچه استفاده عملی آن بطور عمده برای جریان مایعات ـ گازها و بخارات با ویسکوزیته و درجه حرارت و فشار متوسط میباشد .

مثال زیر بخوبی کاربرد این مسأله را نشان میدهد .

یک سیستم لوله کشی یک پمپ را به دومخزن متصل میسازد . (شکل ۱) . درعمل این شکل همراه با اطلاعات مربوط به خواص مکانیکی و اندازه مقاومت هرشاخه از قسمت مهندسی فرستاده میشود . درصورتی که مقادیر R در دسترس نباشد بصورت زیر محاسبه میشود .



شکل (۱)

محاسبه مقادیر R_1 : R_1 مشتمل است بر :

a) شیر ازنوع (globe) ، b) وسیله اندازه گیری (disk liquid meter) و c) لوله

(a) = ۶/S^2 جدول ۱

(b) = ۸/S^2 جدول ۱

(c) = ۳۰۰ ft = ۹۱٫۵m (Sch ۴۰ لوله ۴ اینچی) ID = ۴٫۰۲۶ in = ۰٫۱۰۲m

از معادله (۲۲) داریم :

$$R = \frac{1}{S^2} \times \frac{L}{D} \times ٠٫٠٢٤$$

$$= \frac{1}{S^2} \times \frac{٩١٫٥ \times ٠٫٠٢٤}{٠٫١٠٢} = \frac{٢١٫٥}{S^2}$$

$$R_1 = \frac{٦+٨+٢١٫٥}{S^2} = \frac{٣٥٫٥}{S^2} = \frac{٣٥٫٥}{٠٫٦٨ \times ١٠^{-٤}} = ٥٢٫٢ \times ١٠^{٤}\ m^{-٤}$$

محاسبه مقادیر R_2 : R_2 مشتمل است به a) کاهش از ٤ in به ٣ in ، b) دو زانو ، c) شیر ازنوع (gate) ، d) خروج ، e) لوله

(a) $$R = \frac{1}{S^2} \times ٠٫٤ \left(١٫٢٥ - \frac{٣^2}{٤^2} \right) = ٠٫٢٨/S^2$$

(b) $$R = \frac{1}{S^2} \times ٠٫٧٤ \times ٢ = ١٫٤٨/S^2$$

(c) $$R = ٠٫١٣/S^2$$

(d) $$R = ١٫٠/S^2$$

(e) ٢٢٨ft = ٦٩٫٥m ID = ٣٫٠٦٨ in = ٧٫٧٩ × ١٠$^{-٢}$m

$$R = \frac{1}{S^2} \times \frac{٦٩٫٥ \times ٠٫٠٢٤}{٧٫٧٩ \times ١٠^{-٢}} = \frac{٢١٫٤}{S^2}$$

$$R = \frac{(٠٫٢٨ + ١٫٤٨ + ٠٫١٣ + ١٫٠ + ٢١٫٤)}{S^2} = \frac{٢٤٫٣}{S^2}$$

$$= \frac{٢٤٫٣}{٠٫٢٢٦ \times ١٠^{-٤}} = ١٠٧٫٥ \times ١٠^{٤}\ m^{-٤}$$

محاسبه مقادیر R_3 ، R_3 مشتمل است بر : (a) Tee شاخه ورودی به‌لوله ٤in ، (b) کاهش از ٤ in به ٢ ١/٢ اینچ : (c) زانوی ٩٠° ، (d) شیر ازنوع (gate) ، (e) خروج و (f) لوله :

(a) $$R = ١٫٩/S^2 = \left(\frac{١٫٩}{٠٫٦٨ \times ١٠^{-٤}} \right) (٢٫٨ \times ١٠^{٤})$$

(b) $$R = \frac{1}{S^2} \times ٠٫٤ \left(١٫٢٥ - \frac{٢٫٥^2}{٤^2} \right) = ٠٫٣٥/S^2$$

(c) $$R = ٠٫٧٤/S^2$$

(d) $$R = ٠٫١٣/S^2$$

(e) $R = ۱ر۰/S^۲$

(f) $۲۲ft = ۶ر۷۱m$ (sch ۴۰ ازنوع $۲\frac{۱}{۲}$ in لوله) $ID = ۲ر۴۶۹$ in =

$۶ر۲۷ \times ۱۰^{-۲}$ m

$$R = \frac{۱}{S^۲} \times \frac{۶ر۷۱ \times ۰ر۰۲۴}{۶ر۲۷ \times ۱۰^{-۲}} = ۲ر۵۷/S^۲$$

$$R_۳ = ۲ر۸ \times ۱۰^۴ + \frac{۱}{S^۲}(۰ر۳۵ + ۰ر۷۴ + ۰ر۱۳ + ۱ر۰۰ + ۲ر۵۷)$$

$$= ۲ر۸ \times ۱۰^۴ + \frac{۴ر۷۹}{۰ر۰۰۹۵ \times ۱۰^{-۴}}$$

$$= ۲ر۸ \times ۱۰^۴ + ۵۰ر۵ \times ۱۰^۴ = ۵۳ر۳ \times ۱۰^۴ \ m^{-۴}$$

بعد ازاینکه مقادیر R برای این‌سیستم تعیین‌شد ازجمله مسائلی را که میتوان بآسانی حل کرد عبارتند از :

a) فشار خروجی پمپ چقدر باشد تا بتواند ۲۰۰ g.p.m. هیدروکربور با جرم مخصوص ۵۰ $lb/ft^۳$ را به‌مخزن ۱ تلمبه کند (شیرمخزن ۲ بسته است) .

$$\rho = \frac{۵۰}{۶۲ر۳} \times ۱۰۰۰ = ۸۰۰ \ Kg/m^۳$$

$$W = \frac{۲۰۰ \ gal \times ۱m^۳ \times ۱min \times ۸۰۰ \ Kg}{۱min \times ۲۶۴ر۲gal \times ۶۰ \ Sec \times ۱m^۳} = ۱۰ر۰۸ \ (Kg)(m^۲)$$

$$Z = \frac{۰ر۰۵۱ \ W^۲}{\rho} = \frac{۰ر۰۵۱ \times ۱۰۱ر۶}{۸۰۰} = ۶۴ر۸ \times ۱۰^{-۴} \ (Kg)(m^۲)$$

$$F' = RZ = (R_۱ + R_۳)Z = (۵۲ر۲ \times ۱۰^۴ + ۵۳ر۳ \times ۱۰^۴) \times ۶۴ر۸ \times ۱۰^{-۴}$$

$$= ۱۰۵ر۵ \times ۶۴ر۸ = ۶۸۳۶ \ Kg/m^۲$$

Static head $= ۲۰ \ ft = ۶ر۱m$ مایع $= ۶ر۱ \times ۸۰۰ = ۴۸۸۰ \ Kg/m^۲$

فشار لازم درنقطه خروجی برابر است با :

$$۶۸۳۶ + ۴۸۸۰ = ۱۱۷۱۶ \ Kg/m^۲$$

$$= ۱۶ر۶ \quad lb/in^۲$$

b) درصورتی که شیرمخزن یک بسته باشد با فشار پمپ ۲۰ $lb/in^۲$ جریان ورودی به‌مخزن دو چقدر است .

$$۲۰\ lb/in^۲ = ۱۴۰۶۰ \quad Kg/m^۲$$

$$\text{Static pressure} = ۴۸۸۰ \quad Kg/m^۲$$

$F' = ۹۱۸۰ \quad Kg/m^۲$ افت فشار قابل قبول

$$Z = F'/R = F'/(R_۱ + R_۲) = ۹۱۸۰/(۵۲٫۲ \times ۱۰^۴ + ۱۰۷٫۵ \times ۱۰^۴)$$

$$= ۹۱۸۰/۱۵۹٫۷ + ۱۰^۴ = ۵۷٫۴ \times ۱۰^{-۴} \quad (\text{معادله } ۸)$$

(معادله ۱۸)

$$W = ۴٫۴۳(Zp)^{۱/۲} = ۴٫۴۳(۵۷٫۴ \times ۱۰^{-۴} \times ۸۰۰)^{۱/۲} = ۹٫۵۰ \quad Kg/sec$$

c) درصورتی که فشار خروجی پمپ $۲۰\ lb/in^۲$ باشد با بازبودن هر دو شیر شدت جریانها را حساب کنید.

دراین مورد چون $R_۲$ و $R_۳$ موازی‌اند :

$$۱/(R_{۲,۳})^{۱/۲} = ۱/(R_۲)^{۱/۲} + ۱/(R_۳)^{۱/۲}$$

$$۱/(R_{۲,۳})^{۱/۲} = ۱/(۱۰۷٫۵ \times ۱۰^۴)^{۱/۲} + ۱/(۵۳٫۳ \times ۱۰^۴)^{۱/۲}$$

$$۱/(R_{۲,۳})^{۱/۲} = ۰٫۲۳۳۵ \times ۱۰^{-۲}$$

$$R_{۲,۳} = ۱۸٫۳۵ \times ۱۰^۴$$

$R_{۲,۳}$ و $R_۱$ بصورت سری هستند :

$$R = ۵۲٫۲ \times ۱۰^۴ + ۱۸٫۳۵ \times ۱۰^۴$$

$$R = ۷۰٫۵۵ \times ۱۰^۴ \quad m^{-۴}$$

$$Z = F'/R = ۹۱۸۰/۷۰٫۵۵ \times ۱۰^۴ = ۱۳۰٫۰ \times ۱۰^{-۴}$$

$$W = ۴٫۴۳(ZP)^{۱/۲} = ۴٫۴۳(۱۳۰٫۰ \times ۱۰^{-۴} \times ۸۰۰)^{۱/۲}$$

$$= ۴٫۴۳ \times ۳٫۲۲ = ۱۴٫۳ \quad Kg/scc \quad (\text{معادله } ۱۸)$$

d) درحالت (c) فشار در Tee چقدر است Head لازم‌برای عبور $W = ۱۴٫۳ \quad Kg/se$ از ترکیب دو لوله ۲ و ۳

$$F' = R_{۲,۳} Z = ۱۸٫۴ \times ۱۰^۴ \times ۱۳۰٫۰ \times ۱۰^{-۴} = ۲۳۸۵ \quad Kg/m^۲$$

$$\text{Statichcad} = ۴۸۸۰$$

$۷۲۶۵ \quad Kg/m^۲$ فشارکل

c) درحالت (c) هریک از جریانهای (۲) و (۳) بطور منفرد چقدر است؟

$$Z_2 = F'/R_2 = ۲ر۳۸۵/۱۰۷ر۵ \times ۱۰^{۴} = ۲۲ر۲۰ \times ۱۰^{-۴} \quad (Kg)\,(m^{۲})$$

$$W_2 = ۴ر۴۳\,(Z_2 p)^{۱/۲} = ۴ر۴۳(۲۲ر۲ \times ۱۰^{-۴} \times ۸۰۰)^{۱/۲} = ۴ر۴۳ \times ۱ر۳۳۵ = ۵ر۹۰ \quad Kg/sec$$

$$Z_3 = F'/R = ۲۳۸۵ر۵۰۳ر۳ \times ۱۰^{۴} = ۴۵ر۰ \times ۱۰^{-۴} \quad (Kg)\,(m^{۲})$$

$$W_3 = ۴ر۴۳(Z_3 p)^{۱/۲} = ۴ر۴۳(۴۵ر۰ \times ۱۰^{-۴} \times ۸۰۰)^{۱/۲} = ۴ر۴۳ \times ۱ر۸۹۲ = ۸ر۴۰ \quad Kg/sec$$

مجموع = ۱۴ر۳۰ Kg/sec.

درمثال اخیر با تقریب اولیه مقدار $f = ۰ر۰۰۶$ اختیار شد ، درصورتیکه بخواهیم که f را با دقت بیشتری حساب کنیم لازم است از اطلاعاتی که از تقریب اول بدست آوردیم استفاده کنیم ، بدین معنی که مثلاً درمثال b) مقدار حقیقی f دریک لوله ۳ اینچی با فرض $\mu = ۱^{cp}$ بطریقه زیر محاسبه میشود :

$$N_{Re} = \frac{DG}{\mu} = \frac{W}{\pi/۴\, D\mu} = \frac{۹ر۵۰}{۰ر۷۸۶ \times ۷ر۷۹ \times ۱۰^{-۲} \times ۱۰^{-۳}}$$

$$= ۱ر۵۵ \times ۱۰^{۵}$$

از معادله داده شده برای f درمورد یک لوله فولادی تمیز ،

$$f = ۰ر۰۰۱۴ + ۰ر۰۹۰ N_{Re}^{-۰ر۲۷}$$ و

مقدار $f = ۰ر۰۰۵$ میشود با محاسبه مشابهی مقدار f برای لوله ۴ in برابر $f = ۰ر۰۰۵۳$ میگردد .

باتوجه باینکه اختلاف بین ۰ر۰۰۶ و مقدار محاسبه شده بعلت وجود زبری ـ وغیره میباشد قابل قبول بوده و ظاهراً دیگر احتیاجی بیک چنین محاسبه نمیباشد .

بهرحال درصورتیکه تحت شرایط خاصی لازم شود ، محاسبات را برای حالت (b) تکرار میکنیم و برای مقاومت لوله ۴ in :

$$R = \frac{۱}{S^{۲}} \times ۲۱ر۵ \times \frac{۰ر۰۰۵۳}{۰ر۰۰۶} = \frac{۱۹ر۰}{S^{۲}}$$

و برای لوله ۳in

$$R = \frac{۱}{S^{۲}} \times ۲۰ر۱ \times \frac{۰ر۰۰۵}{۰ر۰۰۶} = \frac{۱}{S^{۲}} \times ۱۶ر۷۵$$

درنتیجه مقدار R_1 بجای $۵۲ر۵ \times ۱۰^{۴}$ برابر با $۴۸ر۵ \times ۱۰^{۴}$ و مقدار R_2 بجای $۱۰۷ر۵ \times ۱۰^{۴}$ برابر با $۹۲ر۸ \times ۱۰^{۴}$ میشود در نتیجه جریان حالت (b) خواهد شد .

$$Z = F'/R = F'/(R_1 + R_2)$$

$$= ۹۱۸۰/(۴۸٫۵ \times ۱۰^{۴} + ۹۲٫۸ \times ۱۰^{۴})$$

$$= ۹۱۸۰/۱۴۱٫۳ \times ۱۰^{۴} = ۶۵ \times ۱۰^{-۴}$$

و مقدار W بجای Kg/sec ۹٫۰ برابر :

$$W = ۴٫۴۳ (ZP)^{۱/۲} = ۴٫۴۳ (۶۵ \times ۱۰^{-۴} \times ۸۰۰)^{۱/۲}$$

$$= ۱۰٫۱ \text{ Kg/sec}$$

مساله کوره

در فرایندی از کوره‌ای استفاده میشود که بتواند مخلوط گازی با مشخصات زیر را از ۳۰۰°F به ۱۰۰۰°F برساند :

	lb/hr	Moles/hr
ئیدرژن	۶۰۰	۳۰۰
آب	۶۰۰۰	۳۳۳
ازت	۳۰۰۰	۱۰۷
پروپان	۱۲۰۰۰	۲۷۳
	۲۱۶۰۰	۱۰۱۳

مخلوط در فشار Psig ۱۵ وارد کوره میشود .

افت فشار در کوره نباید از Psi ۶ تجاوز کند .

کوره ازنوع دوعبور بوده (two Pass) که هریک از ۲۰ لوله $\frac{۳}{۴}$ in و ۱۶ gage بطول ۱۵ft تشکیل شده . درعمل مشاهده میشود که افت فشار بیش از مقدار پیش بینی شده میباشد . تعیین علت مورد نظر است .

(۱) $M = ۲۱۶۰۰/۱۰۱۳ = ۲۱٫۳$

(۲) $W = ۲۱۶۰۰/۲٫۲۰۴ \times ۳۶۰۰ = ۲٫۷۲ \text{ Kg/sec}$

(۳) $T_i = ۴۲۲ \qquad T_f = ۸۱۱ K°$

(۴) $P_i = ۲۰٫۸۸ \times ۱۰^{۳} \quad P_f = ۱۶٫۶۶ \times ۱۰^{۳} \text{ Kg/m}^{۲}$

(۵) $F' = ۴٫۲۲ \times ۱۰^{۳} \text{ Kg/m}^{۲}$

$$Z=\frac{۴۳\text{ر}۲۵\times W^{۲}\times (T_i+T_f)}{M\times (P_i+P_f)}=\frac{۴۳\text{ر}۲۵\times ۲\text{ر}۷۲^{۲}\times ۱۲۳۳}{۲۱\text{ر}۳\times ۳۷\text{ر}۵۴\times ۱۰^{۳}}$$

$$=۰\text{ر}۴۹۳\ (Kg)\,(m^{۲})$$

$R=F'/v=۴\text{ر}۲۲\times ۱۰^{۳}/۰\text{ر}۴۹۳=۸\text{ر}۵۶\times ۱۰^{۳}\ m^{-۴}$ حداکثر قابل قبول

سه طریقه برای مقایسه R حقیقی با مقدار حداکثر قابل‌قبول $۸\text{ر}۵۶\times ۱۰^{۳}$ وجود دارد.

۱ - محاسبه تئوری ، ۲ - اندازه‌گیری درحالت خشک ، ۳ - field test

محاسبه تئوری :

قطر داخلی لوله $\frac{۳}{۴}$ in و ۱۶ gage برابر است با :

$$ID=۰\text{ر}۶۲۰\ in=۱\text{ر}۵۷\times ۱۰^{-۲}\,m \qquad S=۱\text{ر}۹۴\times ۱۰^{-۴}$$

$$S^{۲}=۳\text{ر}۷۶\times ۱۰^{-۸} \qquad L=۱۵ft=۴\text{ر}۵۷\,m$$

مقاومت هرلوله مشتمل است بر : (a) اتلاف ورودی ، (b) اتلاف خروجی ، (c) اصطکاک درامتدادلوله

(a) اتلاف ورودی

$$R=\frac{۱}{S^{۲}}\times ۰\text{ر}۴\,(۱\text{ر}۲۵-۰)=۰\text{ر}۵/S^{۲}$$

(b) اتلاف خروجی

$$R=\frac{۱}{S^{۲}}$$

(c) لوله‌ها

$$R=\frac{۱}{S^{۲}}\times\frac{L}{D}\times ۰\text{ر}۰۲۴=\frac{۱}{S^{۲}}\times\frac{۴\text{ر}۵۷\times ۰\text{ر}۰۲۴}{۱\text{ر}۵۷\times ۱۰^{-۲}}=\frac{۱}{S^{۲}}\times ۶\text{ر}۹۸$$

$R=\frac{۱}{S^{۲}}\,(۰\text{ر}۵+۱+۶\text{ر}۹۸)=\frac{۱}{S^{۲}}\times ۸\text{ر}۵$ یک لوله

$$=\frac{۸\text{ر}۵}{۳\text{ر}۷۶\times ۱۰^{-۸}}=۲\text{ر}۲۶\times ۱۰^{۸}$$

$R=۴\text{ر}۵۲\times ۱۰^{۸}$ برای‌لوله‌ها بحالت سری

$\frac{۱}{(R_p)^{۱/۲}}=۲۵۰/(۴\text{ر}۵۲\times ۱۰^{۸})^{۱/۲}=۱\text{ر}۱۷۳\times ۱۰^{-۲}$ برای ۲۵۰ لوله هر گروه بطور موازی

$$R_p=۷\text{ر}۲۷\times ۱۰^{۳}$$

مقایسه مقدار حداکثر قابل‌قبول $۸٫۵۶ \times ۱۰^{۳}$ با مقدار تئوری $۷٫۲۷ \times ۱۰^{۳}$ ، دال براین است که مسئولیت افزایش افت فشار مربوط به‌طرح نمیباشد.

بررسی تأسیساتی

ازآنجا که کوره درهنگام نصب با ۱۷۰۰۰ lb/hr هوای ۲۵^{oc} که از داخل آن دمیده شود مورد آزمایش قرارگرفته و افت فشار آن ۵۰ in $H_۲O$ بوده میتوان R تجربی را محاسبه کرد :

$W = ۲٫۱۴$ $F' = ۱۲۷۰$ $P_i = ۱۱۶۰۰$ $P_f = ۱۰۳۳۰$

$T_i = ۲۹۸$ $T_f = ۲۹۸$

$$Z = \frac{۴۳٫۲۵ \times W^{۲}(T_i + T_f)}{M \times [P_i + P_f)}$$

$$= \frac{۴۳٫۲۵ \times ۲٫۱۴^{۲} \times (۲۹۸ + ۲۹۸)}{۲۹(۱۱۶۰۰ + ۱۰۳۳۰)} = ۰٫۱۸۵۵$$

$$R = F'/Z = ۱۲۷۰/۱۸۵۵ = ۶٫۸۵ \times ۱۰^{۳}$$

این امتحان‌هم حاکی ازآن است که مقاومت باید درحدود اعلام شده باشد. بنابراین باید از field test کمک گرفته شود.

ficld test

شرایط عمل کاملاً مشابه مقدار طرح بوده باستثنای فشار خروجی ۷ lb/in^{۲} gege و ترکیب مخلوط که مطابق صورت زیر میباشد.

	lb/hr	Moles/hr
ئیدرژن	۱۶۰۰	۸۰۰
آب	۶۰۰۰	۳۳۳
ازت	۳۰۰۰	۱۰۷
پروپان	۱۱۰۰۰	۲۵۰
مجموع	۲۱۶۰۰	۱۴۹۰

$W = ۲٫۷۲$

$M = ۱۴٫۵$

$F' = ۵۶۲۰$

$$Z = \frac{۴۳٫۲۵ \times W^{۲}(T_i + T_f}{M \times (P_i + P_f)} = \frac{۴۳٫۲۵ \times ۲٫۷۲^{۲} \times}{۱۴٫۵(۲۰/۸۸ \times ۱۰^{۳} + ۱۵٫۲۳ \times ۱۰^{۳})}$$

$$= ۰٫۷۵۲$$

$$R = F'/Z = ٥٦٢٠/٠٫٧٥٢ = ٧٫٤٧ \times ١٠^{٣}$$

مقاومت کوره درحدود اعلام شده بوده و افت فشار ناشی از تغییر ترکیب کننده‌ها میباشد.

کاربردهای دیگر

علاوبر کاربردهائی که دراین مثال نشان داده شد . پدیده مقاومت درتمام مواردی که بتوان افت فشار friction head و غیره را بصورت تابعی از مجذور سرعت نشان داد بکار میرود. مقادیر عددی را میتوان نظیر ابعاد برروی نقشه دستگاه وارد کرد و برای کنترل طرح ازآنها استفاده نمود.

منبع

١ - Chemical engineering