الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

نقل الموائع Transportation of fluids

١- موازنة القوة أو السرعة: momentum Balance

momentum تمثل التغير بكمية التحرك

$Kg \cdot m/s^2$

وصف وصف القوة الناتجة

معدل تغير القوة الناتجة $= \dot{m} V \rho$

ρ : كثافة المائع kg/m^3

V : التصريف m^3/s

مثال/ احسب القوة الناتجة من سائل يمر خلال الصنبور المبين في الشكل إذا كان معدل التدفق الكتلي $5\ kg/s$ وكثافة السائل $998\ kg/m^3$. الضغط الجوي $238.3\ kPa$ فوق الضغط الجوي. قطر الفوهة $6\ cm$ عند المخرج، $2\ cm$ عند التصريف. (الحل في الكتاب).

الحل/

افترض أن سرعة السائل في الفوهة منتظمة (أي لا يوجد انحراف بالسرعة عند قطر الأنبوب). عند رسم الأنبوب حدد (كما في الشكل) الحجم المحدد لموازنة momentum (زخم حركي)

$$\dot{m} V_1 + P_1 A_1 + f_x = \dot{m} V_4 + P_4 A_4$$

P_a : الضغط الجوي

P_1 : الضغط فوق الضغط الجوي عند فتحة الصنبور. تصبح موازنة القوة:

$$\dot{m} V_1 + P_a A_1 + P_1 A_1 + f_x = \dot{m} V_4 + P_a A_4$$

$$f_x = \dot{m}(V_4 - V_1) - P_a(A_1 - A_4) - P_1 A_1$$

الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

2 $A = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$ $D_1 = 6\,cm = 0.06\,m$
$D_4 = 2\,cm = 0.02\,m$

$A = 0.002827\,m^2$; $A_4 = 0.001257$

$V_1 = \frac{5\,kg}{s} \cdot \frac{m^3}{998\,kg} \cdot \frac{1}{0.002827\,m^2} = 1.77\,m/s$

$V_1 = \dot{m}/\rho A$

$V_4 = \frac{5\,kg}{s} \cdot \frac{m^3}{998\,kg} \cdot \frac{1}{0.001257\,m^2} = 3.99\,m/s$

ضغط جوي

$F_x = 5(3.99 - 1.77) - 238000(0.002827) - 101,300 (0.002827 - 0.001257) = -1386\,N$

الإشارة السالبة تبين بأن القوة تؤثر باتجاه معاكس لجريان المائع داخل المنظومة والتي تدفع بعيداً عن اتجاه المركبة.

مفهوم الاستمرارية The continuity priciple

مبادئ حفظ الطاقة في المائع المتحرك تتبع المعادلة الاستمرارية.

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 + A \frac{\partial}{\partial t}(\rho V)$$

$$\boxed{A_1 V_1 = A_2 V_2}$$

مثال/ مائع كثافته 1005 kg/m³ يتدفق في خزان قطره 3.5 م من خلال فتحة في جانب الخزان عند أسفل نقطة من الخزان. الفتحة تتكون من أنبوب قصير 1.5 انج - اسطوانة الحجم قطره الداخلي 0.0356 m ID مزود بصمام بوابة. عندما يخرج المائع من الفتحة بمعدل 40 لتر/دقيقة احسب سرعة المائع في الأنبوب. وسرعة عندما مستوى المائع الحر في الخزان.

3

الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

$\bar{m} = q\rho$ $\bar{m}$ هي تابتة

$\bar{m} = 40 * 0.001 / 60 = 0.67 \text{ kg/s}$

(تحويل) ل

سرعة المائع في الأنبوب هي

$$V = \frac{q}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$V_{Pipe} = 0.67 / 1005 * \pi * (0.01781)^2 = 0.669 \text{ m/s}$$

من معادلة الاستمرارية:

$$V_{Pipe} A_{Pipe} = A_{Tank} V_{tank}$$

$$V_{tank} = V_{Pipe} \cdot \frac{A_{Pipe}}{A_{tank}} = 0.669 \frac{\pi 0.01781^2}{\pi (3.5)^2 / 4}$$

$$V_{tank} = 6.92 * 10^{-5} \text{ m/s}$$

رقم رينولد Reynold Number

هو كمية ليست ذات أبعاد، تستخدم لتحليل الكيفية التي تتدفق بها الأنابيب أو الأجسام.

$$Re = \frac{D \bar{V} \rho}{\mu}$$

D : قطر الأنبوب
$\bar{V}$: متوسط السرعة
ρ : الكثافة
μ : اللزوجة

الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

اذا كان $Re < 2000$ الجريان طبقي او انسيابي Laminar

وان مقدار الانخفاض بالضغط لوحدة الطول يحسب :

$$\bar{V} = \frac{\Delta P R^2}{8 L \mu}$$

الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

ΔP : الانخفاض بالضغط

R : نصف القطر .

بالنسبة للموائع النيوتونية Newtonian fluid

عندما $Re > 2100$ فان الجريان يصبح مضطرب turbulant

ويحسب الانخفاض بالضغط له معادلات خاصة .

الانابيب pipes and tubes

Tubes : هي عبارة عن انابيب ذات السطوانية ذات جدران رقيقة ولها حجوم تقدم القطر الخارجي ..

pipes : هي انابيب لها جدران أسمك من tubes ومجال تعيين القطر الداخلي .

sianitary pipe : وتستعمل في معامل الأغذية حيث تستعمل انابيب خاصة تصنع من الصلب المقاوم للصدأ ، وتعيين قطرها بقياس tubing

المقاومة الاحتكاكية لجريان الموائع النيوتونية

الجريان ضد الانابيب يرافقه انخفاض في الضغط ، وهذا الانخفاض يكافئ الاجهاد الذي يجب ان تكون عليه طبقة الموائع لاحداث الجريان. وهذا الاجهاد تكون نتيجة مقاومة الاحتكاك للجريان. العمل من هذا الاجهاد يتطلب طاقة في نقل الموائع .

الدكتور
للحيايه / د. نسيم حمن الحلفي

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{32 \bar{V} \mu}{D^2}$$

$$\boxed{\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{2 f \bar{V}^2 L}{D}}$$

fanning eq. $\boxed{f = \frac{16}{Re}}$

أما عند انسياب الاضطراب

$$f = 0.048 (Re)^{-0.20} \quad 10^4 < Re < 10^6$$

$$f = 0.193 (Re)^{-0.25} \quad 3 \times 10^3 < Re < 10^4$$

مثال / ماهو الضغط الذي يجب ان تكون عليه عند تصريف مضخة تبعد 100 m بمعدل 100 L/min لسائل وزنه النوعي 1.02 ولزوجته 100 centipoise ؟ القطر الداخلي للأنبوب 1.5 in. وطوله 50 m ، الأنبوب مستقيم وملساء ومركب أفقيا عند الضغط الجوي.

$$Re = \frac{D \bar{V} \rho}{\mu}$$

$$\gamma = \frac{\rho_{\text{مادة}}}{\rho_{\text{ماء}}} \Rightarrow \rho = \gamma * 1000$$

$$\rho = 1.02 * 1000 = 1020 \ kg/m^3 \quad \leftarrow \left(SG = \frac{\rho_{\text{مادة}}}{\rho_{\text{ماء}}} \right)$$

$$D = 1.402 \ in = 1.402 * 0.0254 = 0.0356 \ m$$

$$\bar{V} = \frac{q}{A} = \frac{0.00167}{\frac{\pi}{4} \cdot (0.0356)^2} = 1.677 \ m/s$$

الدكتور
أسامة رحمن الحلفي

موازنة الطاقة الميكانيكية: معادلة برنولي

Mechanical Energy balance: the Bernoulli eq.

عندما ينتقل المائع من نقطة الى أخرى، تتم العملية عبر الأنابيب، بسبب ان المائع يتعرض الى مقاومة كبيرة، لفقد في الطاقة يدعى انتقال المائع باتجاه الكبيرة حول الأنبوب. اذا كان مستوى الطاقة الاولي اعلى من الطاقة عند اي نقطة باتجاه الكبيرة، المائع سوف يجري تلقائياً.

اذا كانت لتغيرات الطاقة ~~الطاقة~~ مطلوب لأخذ المائع الى نقطة باتجاه الكبيرة تزيد عن مستوى الطاقة الاولية، الطاقة يمكن ان تكون مطبقة لتدفق المائع بعيداً باتجاه النظام، هذه الطاقة تأتي من الطاقة المضخة pump.

انواع الطاقة المشتركة في موازنة الطاقة الميكانيكية لجريان المائع في الأنابيب هي:-

① الطاقة الكامنة potential energy

$$P_E = m\frac{P}{\rho} \qquad J/kg \quad \div kg$$

$$P_{el.} = mgh \qquad kg(m\cdot s^{-2})m \quad \text{pressure elevation}$$

② الطاقة الحركية: Kinetic energy

$$K_E = \frac{1}{2}mv^2 \qquad kg(m\cdot s^{-1})^2$$

③ الشغل الداخل من المضخة:

Work input (from Pump)

$$W, \quad J \text{ or } J/kg \quad (\div kg)$$

Frictional resistance المقاومة الاحتكاكية

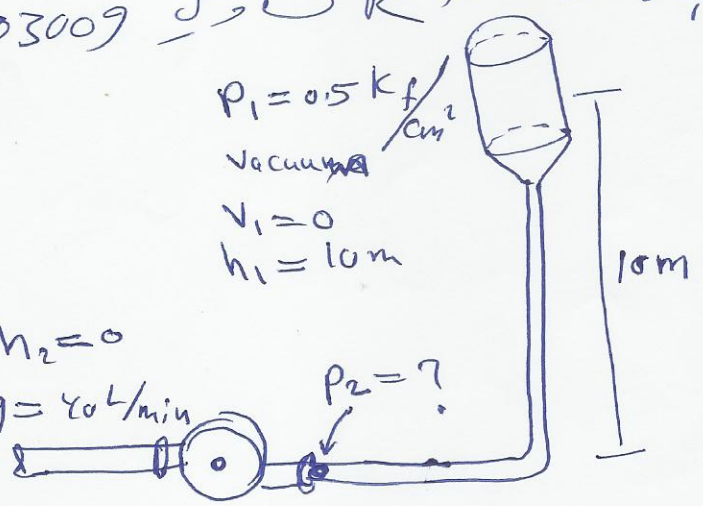
$$F_r = \frac{m \Delta P_f}{\rho} \qquad \text{Joule/kg} \quad \div \text{kg}$$

معادلة برنولي هي: الدكتور أسعد رحمن الحلفي

$$\frac{P_1}{\rho} + gh_1 + \frac{V_1^2}{2} + W_s = \frac{P_2}{\rho} + gh_2 + \frac{V_2^2}{2} + \frac{\Delta P_f}{\rho}$$

الضغط — الكثافة — التعجيل — الارتفاع — السرعة — الشغل — الضغط الفقد بالاحتكاك

مثال/ مضخة استخدمت لسحب الكاتشب catsup الطعام من اسفل خزان الهواء. مستوى السائل في خزان الهواء هو 10 m فوق مستوى المضخة. ضغط الهواء يعمل على تخليل الضغط مقداره 0.5 kgf/cm² الانبوب لوصل المضخة بخزان التهوية قطره 2.5 in. من كبريت الطعام الصلب، طوله 8 m ويتصل بكوع بزاوية 90°. كثافة الطعام 1130 kg/m³. دليل القوامية K هو 10.5 Pa·s^n حيث n دليل الانسيابية ومقداره 0.45. اذا كان معدل الانسياب 40 L/min احسب الضغط عند فتحة خروج المضخة P_2 اذا كان معدل الانسياب المطلوب. علماً ان R تساوي 0.003009.



الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

$$Vacuum = 0.5 \frac{kg_f}{cm^2} \cdot \frac{0.8\ m.kg}{kg_f \cdot s^2} \cdot \frac{100^2\ cm^2}{m^2} = 49\ kPa$$

$$P_1 = P_{atm.} - Vacuum = 101 - 49 = 52\ kPa.$$

$$q = 40 \frac{L}{min} \cdot \frac{0.001\ m^3}{L} \cdot \frac{1\ min}{60\ s} = 0.0006666\ m^3/s$$

مساحة المقطع لأنبوب:

$$A = \frac{\pi}{4}(0.06019)^2 = 0.002845\ m^2$$

$$\bar{V} = \frac{q}{A} = \frac{0.0006666}{0.002845} = 0.2343\ m/s$$

$$Re = \frac{8 \bar{V}^{2-n} R^n \rho}{K \left[\frac{3n+1}{n}\right]^n}$$

$$Re = \frac{8(0.2343)^{2-0.45}(0.03009)^{0.45}(1130)}{10.5 * \left[\frac{3(0.45)+1}{0.45}\right]^{0.45}} = 8.921$$

∴ الجريان انسيابي

$$\frac{\Delta P_f}{\rho} = \frac{2\left(\frac{16}{Re}\right)\bar{V}^2 L}{D}$$

$$\frac{\Delta P_f}{L_\rho} = \frac{2(16/8.92)(0.2343)^2}{0.06019} = 3.272\ J/(kg.m)$$

الدكتور
أسعد رحمن الحلفي

L : تمثل طول الأنبوب المستقيم + الطول المكافئ للعكسات

$= .35$

$$\frac{\Delta P_f}{\rho} = \frac{\Delta P_f}{L_p} * L$$

$$\frac{\Delta P_f}{\rho} = 3.272 * 10.1 = 33 \text{ J/kg}$$

$$L = 8 + 1(35)(0.00619) = 10.1 \text{ m}$$

D

ضغط الجو

$$\frac{P_1}{\rho} + gh_1 + \frac{V_1^2}{2} + W_s = \frac{P_2}{\rho} + gh_2 + \frac{V_2^2}{2} + \frac{\Delta P_f}{\rho}$$

$W_s = 0$, $h_2 = 0$, $V_1 = 0$

$$\frac{P_1}{\rho} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + \frac{\Delta P_f}{\rho}$$

$$\frac{52000}{1130} 9.8*10 = \frac{P_2}{1130} + \frac{0.2345^2}{2} + 33$$

$P_2 = 125.4$ kPa absolute