

# Задача 10

- По трубам одноходового кожухотрубчатого теплообменника (число труб  $n=100$ , наружный диаметр труб **20 мм**, толщина стенки **2 мм**) проходит воздух при средней температуре **50 °С** давлении (по манометру) **2 кгс/см<sup>2</sup>** со скоростью **9 м/с**. Барометрическое давление **740 мм рт.ст.** Плотность воздуха при нормальных условиях **1,293 кг/м<sup>3</sup>**.
- Определить:
  - а) массовый расход воздуха;
  - б) объемный расход воздуха при рабочих условиях;
  - в) объемный расход воздуха при нормальных условиях.



# Решение

Рабочее давление (абсолютное):

$$p = p_{\text{бар}} + p_{\text{ман}} = 740 \cdot 133,3 + 98100 \cdot 2 = 294800 \text{ Па}$$

или:

$$p = p_{\text{бар}} + p_{\text{ман}} = 740 + 735 \cdot 2 = 2210 \text{ мм рт.ст.}$$

Плотность воздуха при рабочих условиях:

$$\rho = \rho_0 \frac{pT_0}{p_0T} = 1,293 \frac{294800 \cdot 273}{101300(273 + 50)} = 3,18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

или:

$$\rho = \rho_0 \frac{pT_0}{p_0T} = 1,293 \frac{2210 \cdot 273}{760(273 + 50)} = 3,18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

# Решение (продолжение)

*Массовый расход воздуха:*

$$m = Q \cdot \rho = wF\rho = wn \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rho = 9 \cdot 100 \cdot 0,785 \cdot 0,016^2 \cdot 3,18 = 0,57 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

*Объемный расход воздуха при рабочих условиях:*

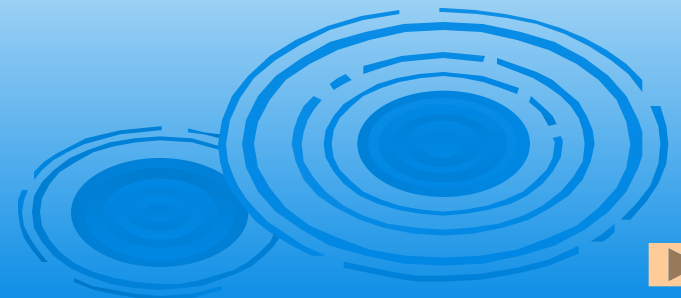
$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{0,57}{3,18} = 0,18 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

*Объемный расход воздуха при нормальных условиях:*

$$Q_0 = \frac{m}{\rho_0} = \frac{0,57}{1,293} = 0,44 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

# Задача 11.

- Теплообменник изготовлен из стальных труб диаметром **76×3 мм**. По трубам проходит газ под атмосферным давлением. Требуется найти необходимый диаметр труб для работы с тем же газом, но под избыточным давлением **5 ат**, если требуется скорость газа сохранить прежней при том же массовом расходе газа и при том же числе труб.



# Решение.

Под давлением 5 ат плотность газа будет:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 p}{T p_0} = \rho_0 \frac{273 \cdot (5 + 1)}{293 \cdot 1} \approx 6 \rho_0$$

т.е. будет в 6 раз больше, чем при атмосферном давлении. Так как массовый расход газа

$$m = Q \cdot \rho = w F \rho$$

должен быть сохранен неизменным, то

$$w_1 n_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \rho_1 = w_2 n_2 \frac{\pi d_2^2}{4} \rho_2$$

# Решение (продолжение)

Подставляя  $w_1 = w_2$ ,  $n_1 = n_2$ ,  $\rho_2 = 6\rho_1$ ,  $d_1 = 0,07$  м,

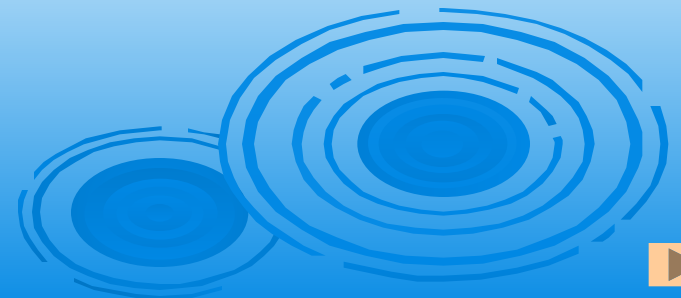
получаем:  $0,07^2 = 6d_2^2$

откуда:

$$d_2 = \sqrt{\frac{0,07^2}{6}} = 0,0286 \text{ м} \approx 29 \text{ мм}$$

# Задача 12.

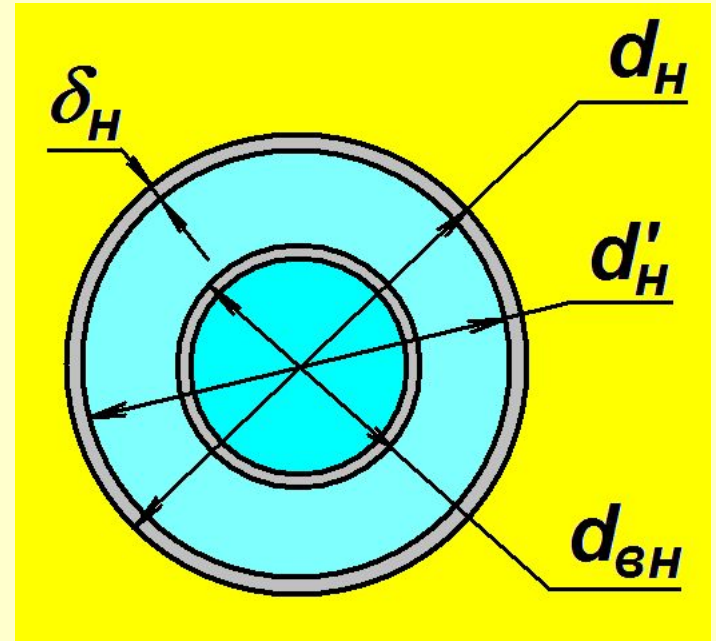
- Определить режим течения жидкости в межтрубном пространстве теплообменника типа «труба в трубе» при следующих условиях: внутренняя труба теплообменника имеет диаметр **25×2 мм**, наружная **51×2,5 мм**, массовый расход жидкости **3730 кг/ч**, плотность жидкости **1150 кг/м<sup>3</sup>**, динамический коэффициент вязкости **1,2·10<sup>-3</sup> Па·с**.



# Решение.

Скорость жидкости из уравнения расхода:

$$w = \frac{Q}{F} = \frac{\frac{m}{3600 \cdot \rho}}{\frac{\pi}{4} \left( (d_H - 2 \cdot \delta_H)^2 - d_{вн}^2 \right)} =$$
$$= \frac{3730}{3600 \cdot 1150 \cdot 0,785 (0,046^2 - 0,025^2)} = 0,77 \frac{м}{с}$$





# Решение (продолжение)

Если обозначить внутренний диаметр наружной трубы через  $d'_н$ , то гидравлический (эквивалентный) диаметр кольцевого сечения:

$$d_{гидр} = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \frac{\pi}{4} \left( (d'_н)^2 - d_{вн}^2 \right)}{\pi (d'_н + d_{вн})} = d'_н - d_{вн} = 0,046 - 0,025 = 0,021 \text{ м}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{w d_{гидр} \rho}{\mu} = \frac{0,77 \cdot 0,021 \cdot 1150}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 15500$$

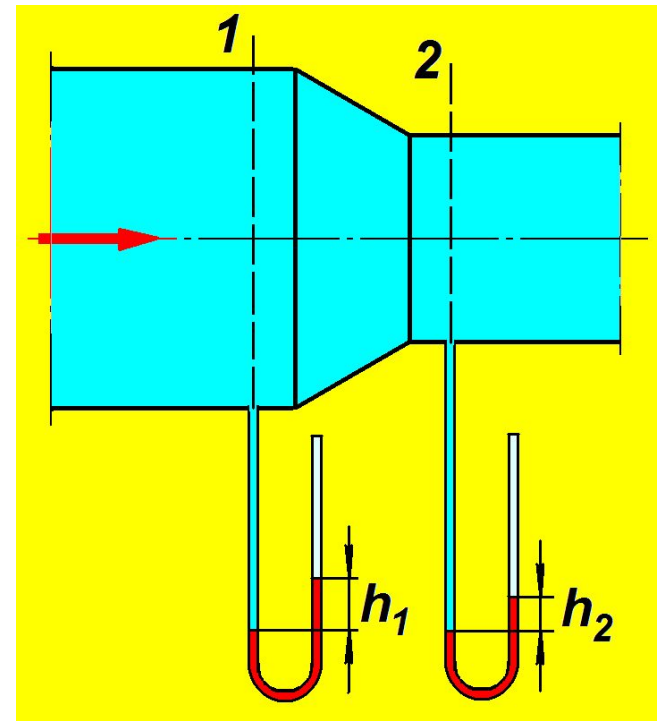
Следовательно, режим турбулентный.

# Задача 13.

□ На трубопроводе с внутренним диаметром **200 мм** имеется плавный переход на диаметр **100 мм**.

По трубопроводу подается **1700 м<sup>3</sup>/ч** метана при **30 °С** и при нормальном давлении. Открытый в атмосферу

U-образный водяной манометр, установленный на широкой части трубопровода перед сужением, показывает избыточное давление в трубопроводе, равное **40 мм вод.ст.** Каково будет показание такого же манометра на узкой части трубопровода? Сопротивления пренебечь. Атмосферное давление **760 мм рт. ст.**



# Решение.

Считаем, что плотность метана не изменяется по длине трубопровода. Составляем уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g}$$

откуда находим:

$$p_1 - p_2 = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \rho$$

Определяем скорости метана в сечениях 1 и 2, принимая, что давление в трубопроводе приблизительно равно атмосферному:

$$w_1 = \frac{1700 \cdot (273 + 30)}{3600 \cdot 273 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2} = 16,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

# Решение (продолжение)

Из уравнения неразрывности потока:

$$w_2 = w_1 \frac{F_1}{F_2} = 16,7 \left( \frac{0,2}{0,1} \right)^2 = 66,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Плотность метана:

$$\rho = \frac{MT_0}{22,4T} = \frac{16 \cdot 273}{22,4 \cdot 303} = 0,645 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Разность давлений:

$$\Delta p = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} \rho = \frac{(66,8^2 - 16,7^2) \cdot 0,645}{2} = 1354 \text{ Па} = 138 \text{ мм вод. ст.}$$

$h_2 = p_2 = p_1 - \Delta p = 40 - 138 = -98 \text{ мм вод. ст.}$   
т.е. манометр в сечении 2 будет показывать вакуум, равный  
**98 мм вод. ст.**

# Задача 14.

Из отверстия диаметром **10 мм** в дне открытого бака, в котором поддерживается постоянный уровень жидкости высотой **900 мм**, вытекает **750 л/ч** жидкости. Определить коэффициент расхода. За какое время опорожнится бак, если прекратить подачу в него жидкости? Диаметр бака **800 мм**.



# Решение

Расход через отверстие при постоянном уровне жидкости в сосуде:

$$Q = \alpha F_o \sqrt{2gH}$$

Отсюда коэффициент расхода:

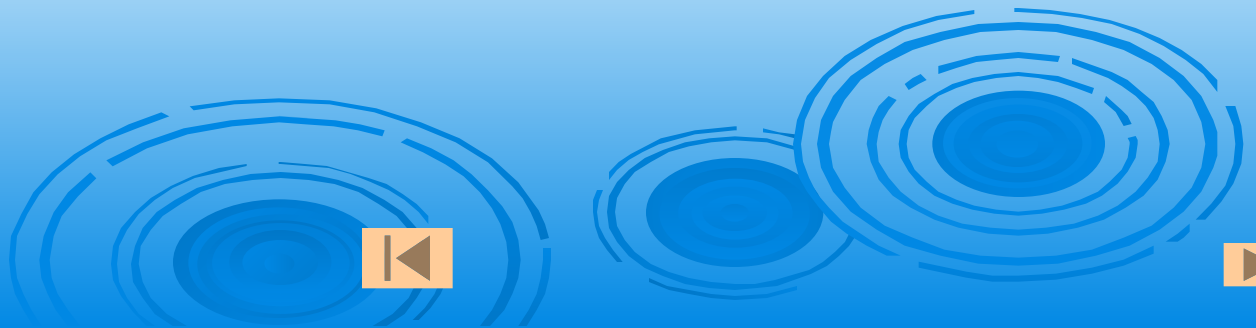
$$\alpha = \frac{Q}{F_o \sqrt{2gH}} = \frac{0,75}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,01^2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,9}} = 0,632$$

Полное время опорожнения сосуда:

$$T = \frac{2F \sqrt{H}}{\alpha F_o \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot 0,785 \cdot 0,8^2 \sqrt{0,9}}{0,632 \cdot 0,785 \cdot 0,01^2 \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 4336 \text{ с} \approx 72 \text{ мин}$$

# Задача 15.

- Определить потерю давления на трение в змеевике, по которому проходит вода со скоростью **1 м/с**. Змеевик сделан из бывшей в употреблении стальной трубы диаметром **43×2,5 мм**, коэффициент трения **0,0316**. Диаметр витка змеевика **1 м**. Число витков **10**.



# Решение.

Потерю давления на трение находим по формуле для прямой трубы, а затем вводим поправочный коэффициент для змеевика по формуле:

$$\psi = 1 + 3,54 \frac{d}{D} = 1 + 3,54 \frac{0,038}{1} = 1,134$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубы, а  $D$  - диаметр витка змеевика.

Приблизительно длина змеевика равна:

$$l = \pi D n = 3,14 \cdot 1 \cdot 10 = 31,4 \text{ м}$$

Потеря напора на преодоление трения в прямой трубе:

$$\Delta p_{np} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2 \rho}{2} = 0,0316 \frac{31,4 \cdot 1^2 \cdot 1000}{0,038 \cdot 2} = 13100 \text{ Па}$$

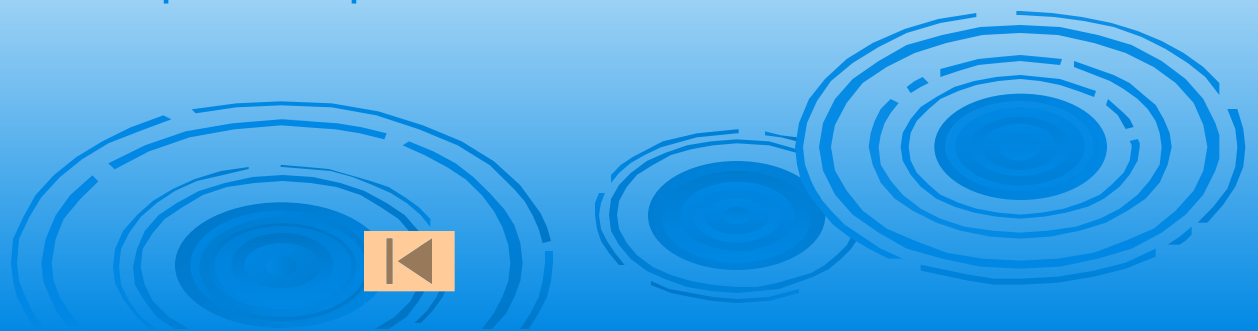
Потеря напора с учетом поправочного коэффициента:

$$\Delta p_{зм} = \Delta p_{np} \psi = 13100 \cdot 1,134 = 14800 \text{ Па}$$



# Задача 16.

- Определить полную потерю давления на участке трубопровода длиной **500 м** из гладких труб внутренним диаметром **50 мм**, по которому подается вода при температуре **20 °C** со скоростью **1 м/с**. Динамический коэффициент вязкости воды  **$1 \cdot 10^{-3}$  Па·с**. На участке трубопровода имеются вентиль с коэффициентом сопротивления **3,0**; 3 колена (с коэффициентами сопротивления **1,1**); 2 отвода (с коэффициентами сопротивления **0,14**) и наполовину закрытая задвижка (коэффициент сопротивления **2,8**). Какова будет потеря напора?



# Решение.

Режим течения жидкости в трубе:

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,05 \cdot 1000}{1 \cdot 10^{-3}} = 50000$$

Для гладких труб при турбулентном движении можно применить формулу Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3165}{Re^{0,25}} = \frac{0,3165}{50000^{0,25}} = 0,0212$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\sum \xi_m = 3,0 + 3 \cdot 1,1 + 2 \cdot 0,14 + 2,8 = 9,38$$

Потеря давления:

$$\Delta p = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right) \frac{w^2 \rho}{2} = \left( 0,0212 \frac{500}{0,05} + 9,38 \right) \frac{1^2 \cdot 10^3}{2} = 110690 \text{ Па}$$

Потеря напора:

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{110690}{10^3 \cdot 9,81} = 11,28 \text{ м}$$