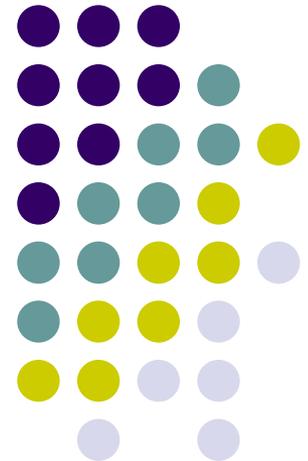
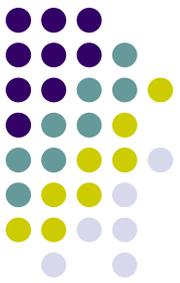


# ПАРОГЕНЕРАТОРЫ АЭС

---

Тема. ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ ПРИ  
ДВИЖЕНИИ ДВУХФАЗНЫХ  
ПОТОКОВ

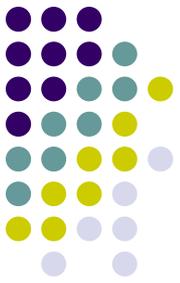




# Основные вопросы

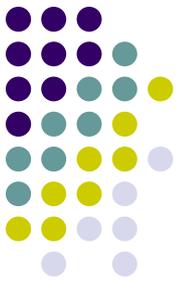
- Расчет гидравлических сопротивлений (потерь на трения и на местных сопротивлениях)
- Расчет потерь давления при обтекании пучков труб
- Расчет потерь давления на ускорение потока
- Расчет нивелирного перепада давления

# Потери на трение двухфазного потока при движении в каналах



- Модель *гомогенного* течения.
- Модель *раздельного* течения (например, метод Локкарта-Мартинелли).

# Расчет потерь на трение по модели **ГОМОГЕННОГО ТЕЧЕНИЯ**



## Метод ЦКТИ

Для круглых труб

$$\Delta p_{тр} = \xi \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{(\rho \omega)^2}{2 \cdot \rho'} \cdot \left[ 1 + \psi \cdot \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right]$$

где  $\psi$  определяется по номограммам;

$\xi$  - коэффициент трения однофазного потока для течения  
равного количества жидкости

# Расчет потерь на трение по модели ГОМОГЕННОГО течения



## Метод ЦКТИ

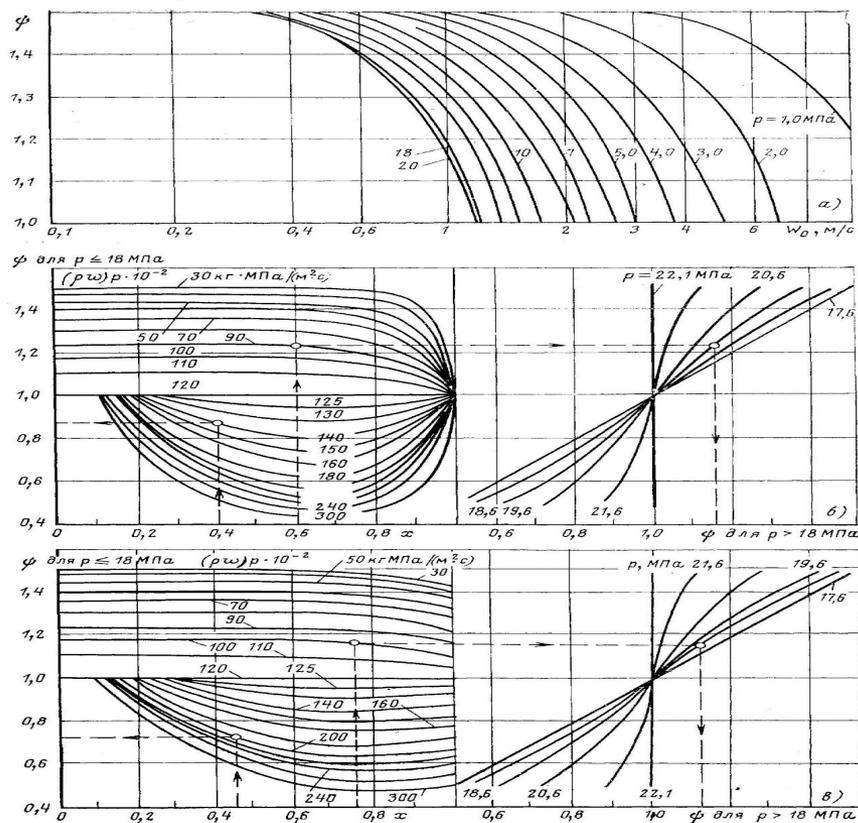


Рис. 2.5. Значения коэффициента  $\phi$  для  $x < 0,7$  и  $w_0 < 10 \text{ м/с}$  (а), для необогреваемых труб при  $w_0 > 10 \text{ м/с}$  (б), обогреваемых труб при  $w_0 > 10 \text{ м/с}$  (в)

# Расчет потерь на трение по модели гомогенного течения



*Из справочника Кириллова П.Л.*

$$\Delta p_{тр} = \Delta p_0 \cdot \frac{A(p)}{1-\varphi} \cdot Fr^{0,75/p}$$

где  $A(p) = 1,05 \cdot 10^{0,0149 \cdot \rho'/\rho''}$

$$Fr = \frac{w^2}{g \cdot d}$$



# Метод Локкарта-Мартинелли

$$\Phi_B^2 = \frac{dP/dZ}{(dP/dZ)_B};$$
$$\Phi_{II}^2 = \frac{dP/dZ}{(dP/dZ)_{II}};$$
$$X^2 = \frac{(dP/dZ)_{II}}{(dP/dZ)_B}$$

$$\Phi_B^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2};$$
$$\Phi_{II}^2 = 1 + C \cdot X + X^2$$

# Примерный порядок расчета потерь на трение по методу Локкарта-Мартинелли



$$Re_{II} = \frac{x \cdot d \cdot (\rho \omega)}{\mu''};$$
$$Re_B = \frac{(1-x) \cdot d \cdot (\rho \omega)}{\mu'}$$

$$\zeta = \frac{0,04}{Re} \quad \text{при } Re > 2000;$$
$$\zeta = 0,079 \cdot Re^{-0,25} \quad \text{при } Re \leq 2000$$

$$-\left(\frac{dP}{dZ}\right)_{II} = \frac{2 \cdot \zeta'' \cdot x^2 \cdot (\rho \omega)^2}{d \cdot \rho''};$$
$$-\left(\frac{dP}{dZ}\right)_B = \frac{2 \cdot \zeta' \cdot (1-x)^2 \cdot (\rho \omega)^2}{d \cdot \rho'}$$

# Примерный порядок расчета потерь на трение по методу Локкарта-Мартинелли



$$X^2 = \frac{(dP/dZ)_{\Pi}}{(dP/dZ)_B}$$

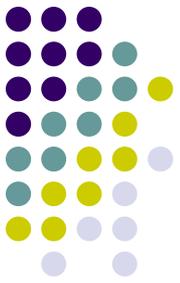
$$\Phi_B^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2};$$

$$\Phi_{\Pi}^2 = 1 + C \cdot X + X^2$$

Режим (вода-пар)	C
Турбулентно-турбулентный	20
Ламинарно-турбулентный	12
Турбулентно-ламинарный	10
Ламинарно-ламинарный	5

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right) = \Phi_B^2 \cdot \left(\frac{dP}{dZ}\right)_B \quad \text{или} \quad \left(\frac{dP}{dZ}\right) = \Phi_{\Pi}^2 \cdot \left(\frac{dP}{dZ}\right)_{\Pi}$$

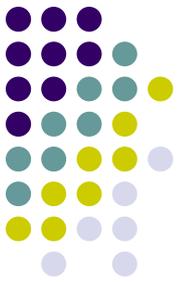
# Потери на местных сопротивлениях при движении двухфазных потоков



$$\Delta p_m = \Delta p_{m.оф} \left[ 1 + x \left( \frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right]$$

где  $\Delta p_{m.оф}$  - местное сопротивление однофазного потока для течения равного расхода среды плотностью  $\rho'$

# Потери на ускорение при движении двухфазных потоков



$$\Delta p_{\text{уск}} = \rho'_k w_{0,k}^2 \left[ 1 + x_k \left( \frac{\rho'_k}{\rho''_k} - 1 \right) \right] - \rho'_n w_{0,n}^2 \left[ 1 + x_n \left( \frac{\rho'_n}{\rho''_n} - 1 \right) \right]$$

Где  $x_k, x_n$  - конечное и начальное паросодержание;

$\rho_k, \rho_n$  - плотности воды и пара в конце и начале участка, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{0,k}, w_{0,n}$  - скорости циркуляции в конце и начале участка, м/с.

# Нивелирный перепад давления при движении двухфазных потоков



Нивелирный перепад давления в элементе определяется как алгебраическая сумма весов столбов среды для всех его участков. Нивелирный перепад давления при течении на  $j$ -ом участке пароводяной смеси рассчитывается по уравнению

$$\Delta p_{\text{нив},j} = \left[ \bar{\varphi}_j \rho'' + (1 - \bar{\varphi}_j) \rho' \right] h_j g$$

*Примечание. Нивелирный перепад считается положительным для участков с подъемным движением среды и отрицательным для опускных участков.*



**Спасибо за внимание**