
Лекция №12

Местные гидравлические сопротивления

Рассматриваемые вопросы:

- 1) Общая характеристика местных потерь напора;
 - 2) Резкое расширение. Формула Борда;
 - 3) Отдельные случаи частных потерь.
-
-
-
-

1. Общая характеристика местных потерь напора

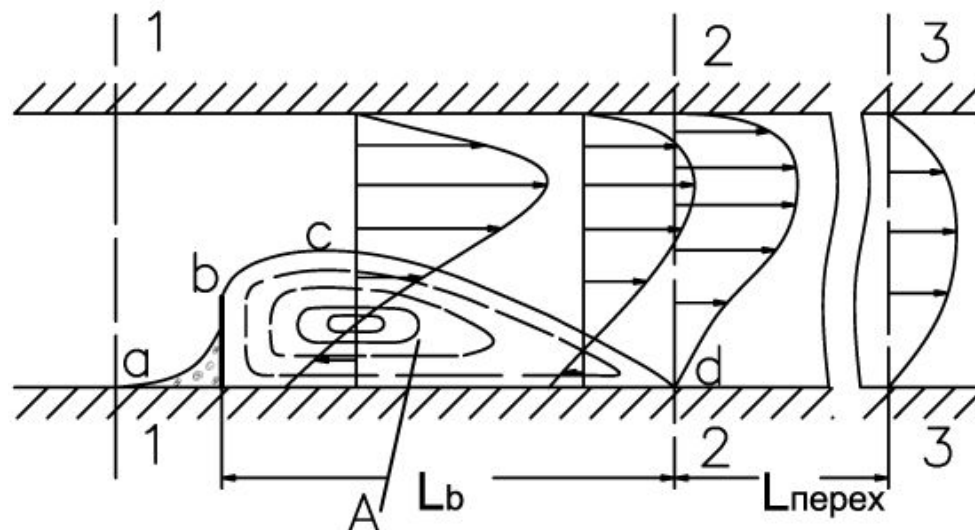
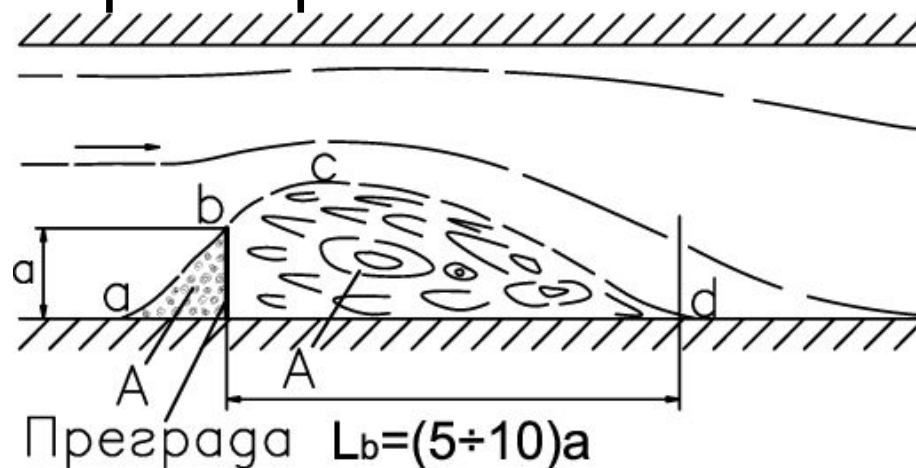


Рис. 1. Обтекание преграды турбулентным потоком

1. Общая характеристика местных потерь напора

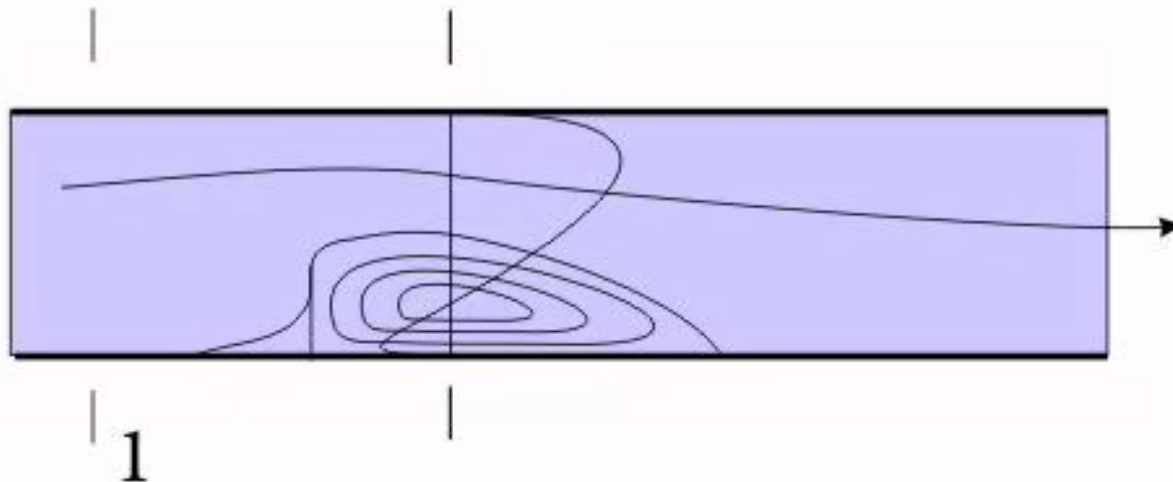


Рис. Изменение эпюры скоростей за местным сопротивлением

2. Резкое расширение. Формула Борда

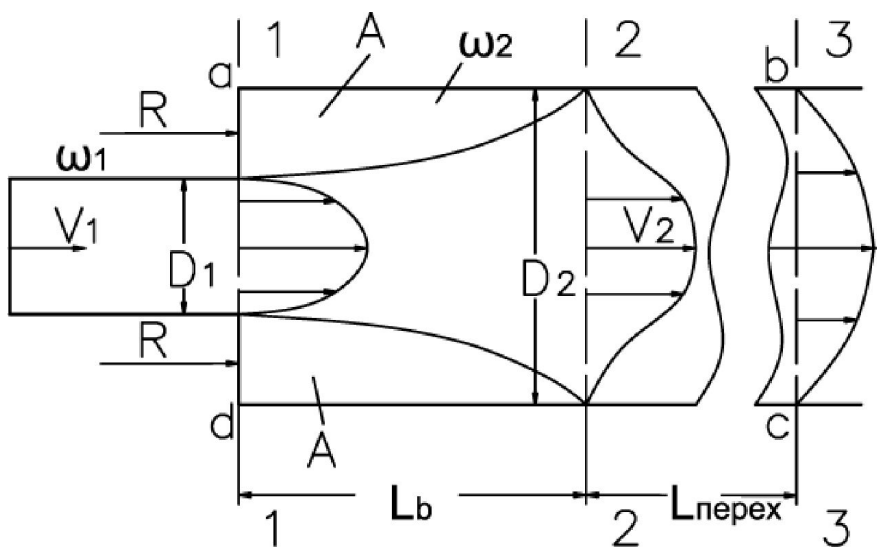
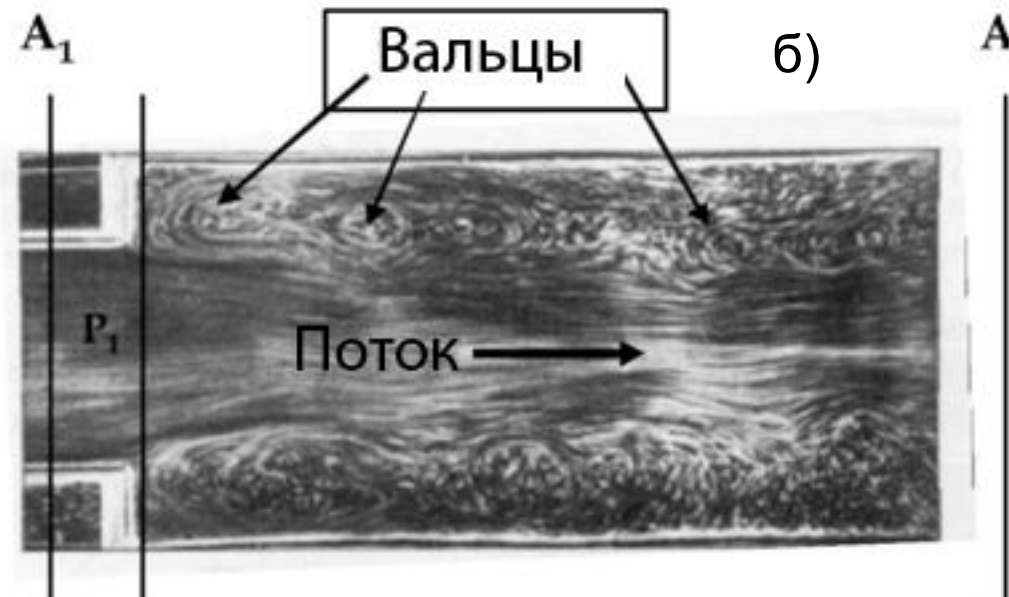


Рис. 2. К выводу формулы Борда. Резкое расширение трубопровода



2. Резкое расширение. Формула Борда

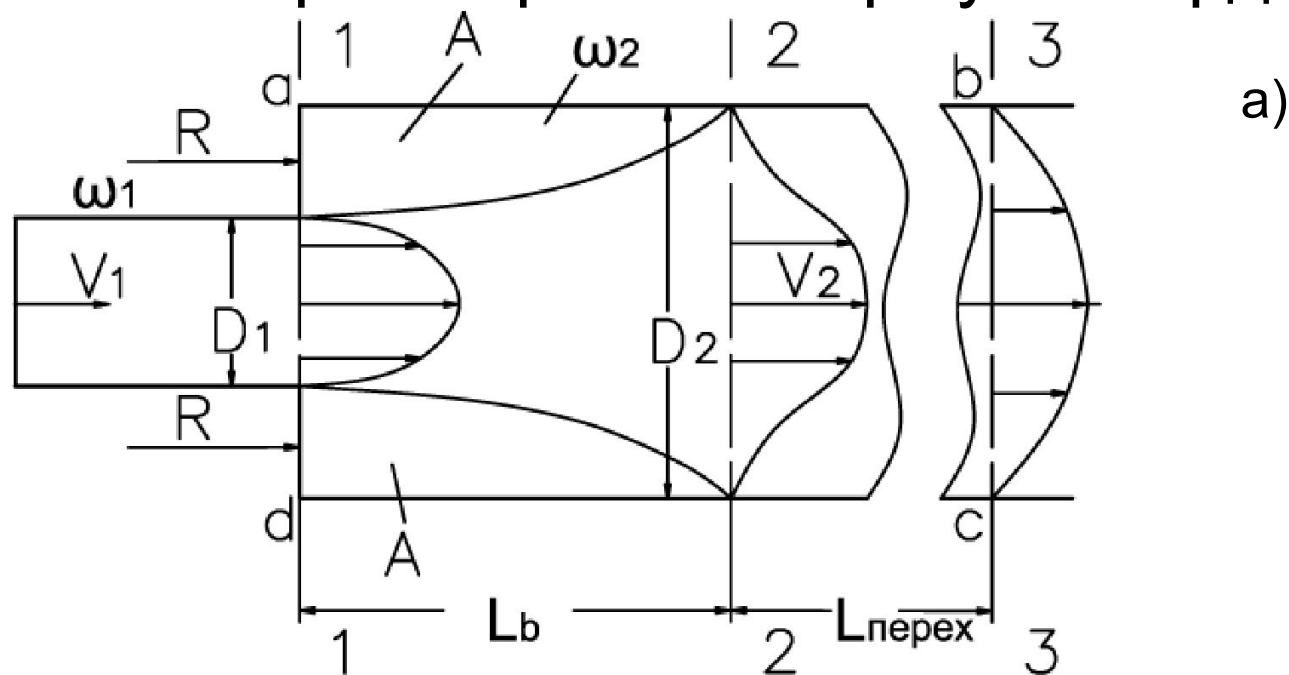
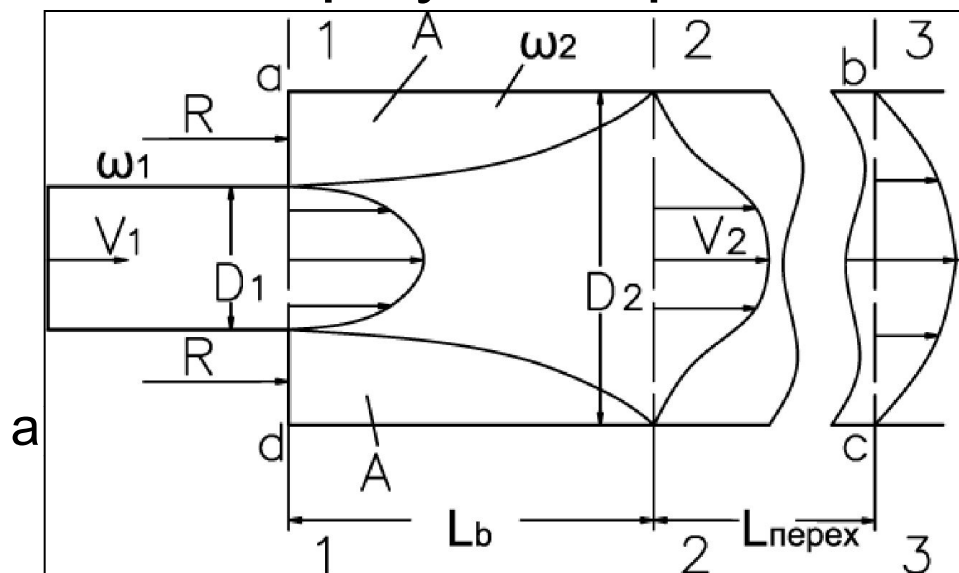


Рис. 2. К выводу формулы Борда. Резкое расширение трубопровода

$$(h_j)_{p.p}$$

2. Резкое расширение. Формула Борда

Рис. 2. К выводу формулы Борда.
Резкое расширение
трубопровода



$$h_{p.p} = H_{e1} - H_{e2} = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right) \quad (1)$$

$$h_{p.p} = \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right) \quad (2)$$

2. Резкое расширение. Формула Борда

$$\alpha_0 \cdot \rho \cdot Q \cdot (v_2 - v_1) = (T_0)_S + G_S + P_S + R_S \quad (3)$$

$$\alpha_0 = 1$$

$$(T)_S = 0 \quad \text{(1-е допущение)}$$

$$G_S = 0$$

$$R_S = R$$

$$P_S = P_1 - P_2$$

2. Резкое расширение. Формула Борда

$$P_S + R_S$$

β

$$P_S + R_S = (P_1 - P_2) + R = (P_1 + R) - P_2 \quad (4)$$

$$P_1 + R = p_1 \cdot \omega_2 \quad (5)$$

$$P_2 = p_2 \cdot \omega_2 \quad (6)$$

$$P_S + R_S = p_1 \cdot \omega_2 - p_2 \cdot \omega_2 \quad (7)$$

Примем, что давление по всему сечению 1–1 (по площади ω_2 , охватывающей транзитную струю и водоворотную область) распределяется также по гидростатическому закону

(2-е допущение)

2. Резкое расширение. Формула Борда

Учитывая (7), уравнение (3) переписываем в виде

$$\rho \cdot Q \cdot (v_2 - v_1) = p_1 \cdot \omega_2 - p_2 \cdot \omega_2 \quad (8)$$

откуда, имея в
виду, что

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad v_2 = \frac{Q}{\omega_2}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{Q \cdot (v_2 - v_1)}{\omega_2 \cdot g} = \frac{(v_2 - v_1)}{g} \cdot v_2 \quad (11)$$

2. Резкое расширение. Формула Борда

Подставляя (11) в (2), имеем

$$\begin{aligned} h_{p.p} &= \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{2 \cdot (v_2 - v_1)}{2 \cdot g} \cdot v_2 = \\ &= \frac{v_1^2 - v_2^2 + 2 \cdot v_2^2 - 2 \cdot v_1 \cdot v_2}{2 \cdot g} \end{aligned} \quad (12)$$

или
окончательно

$$h_{p.p} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2 \cdot g} \quad (13)$$

2. Резкое расширение. Формула Борда

Приведем выражение (13) к другому виду. Вынесем за скобки v_1 , тогда получим

$$h_{p.p} = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad (14)$$

Обозначая

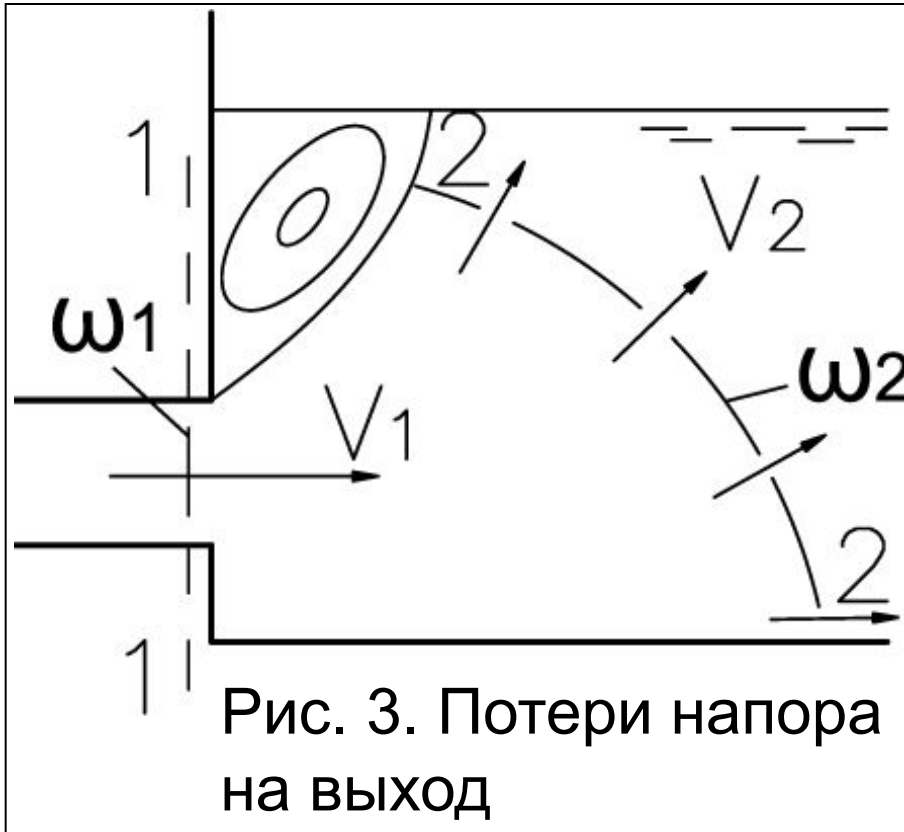
$$\left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \zeta_{p.p} \quad (15)$$

имеем

$$h_{p.p} = \zeta_{p.p} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad (16)$$

3. Отдельные случаи частных потерь

а) Выход из трубопровода



$h_{вых}$ потере «на выход»

$$\omega_2 \gg \omega_1$$

$$\zeta_{вых} = 1,0 \quad (19)$$

$$h_{вых} = \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad (20)$$

3. Отдельные случаи частных потерь

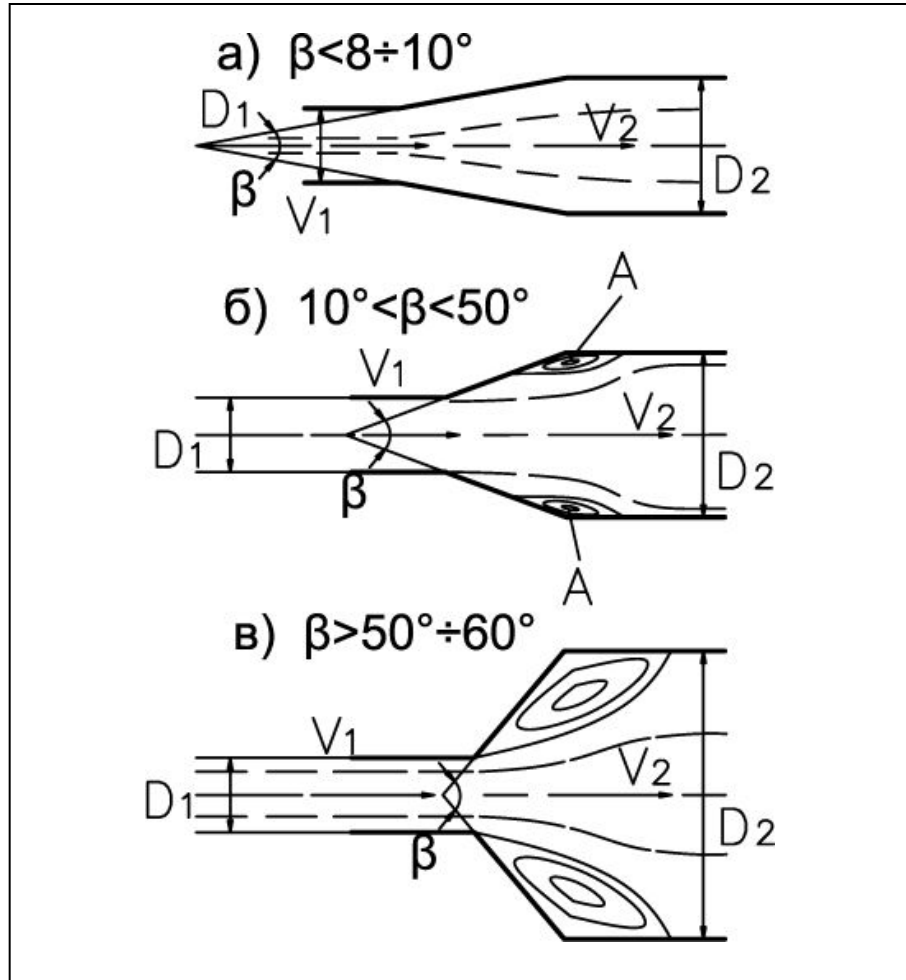
б) Постепенное расширение



Рис. Диффузор

3. Отдельные случаи частных потерь

б) Постепенное расширение



$$0 < \beta < 8 \dots 10^\circ \quad (22)$$

$$8 \dots 10^\circ < \beta < 50 \dots 60^\circ \quad (23)$$

$$\beta > 50 \dots 60^\circ \quad (24)$$

Рис. 4. Диффузоры

3. Отдельные случаи частных потерь

б) Постепенное расширение

$$h_{\text{дифф}} = \varphi_y \cdot h_{p.p} \quad (25)$$

коэффициент полноты
удара, определяемый
по графику рис. 5

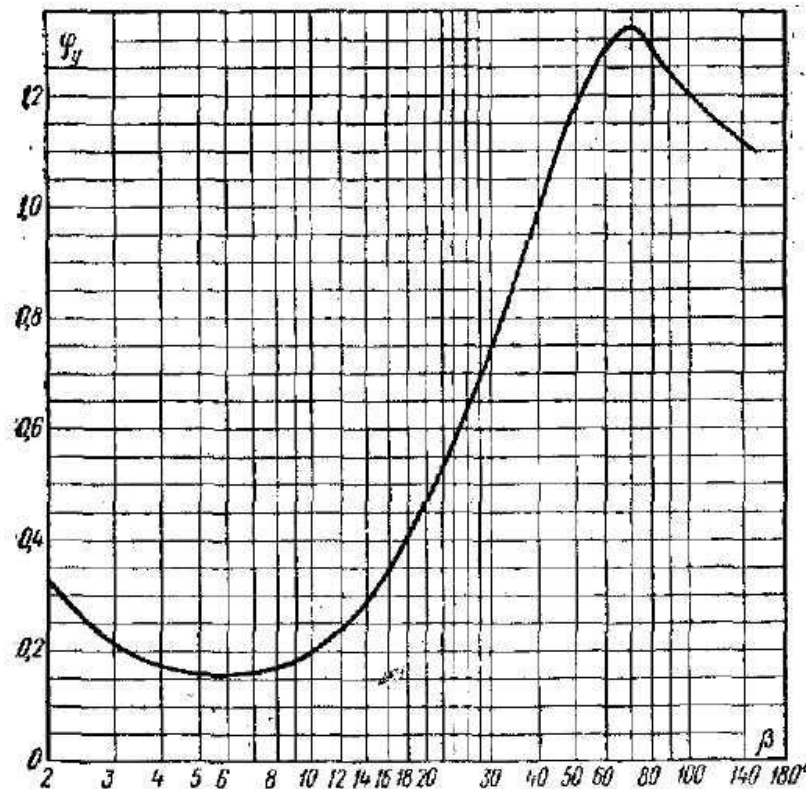


Рис. 5. Коэффициент
полноты удара

3. Отдельные случаи частных потерь

б) Постепенное расширение

В настоящее время используются и другие расчетные подходы

$$\zeta_{\text{дифф}} = 2,6 \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \Rightarrow \beta < 45^\circ$$

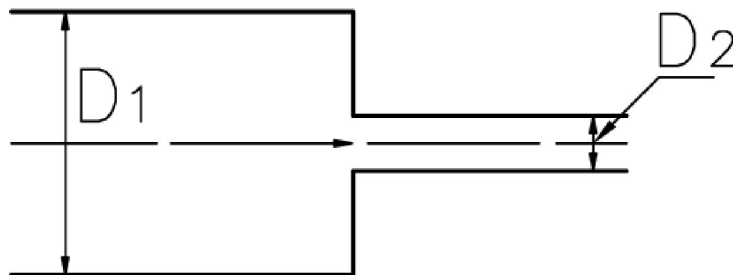
$$\zeta_{\text{дифф}} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \Rightarrow \beta > 45^\circ$$

(26)

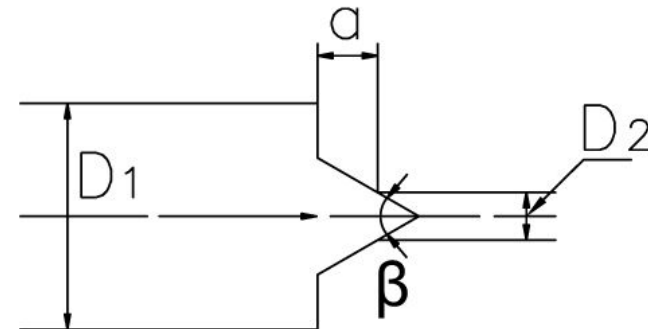
3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод

а) Резкое сужение



б) Постепенное сужение



в) Плавное сужение

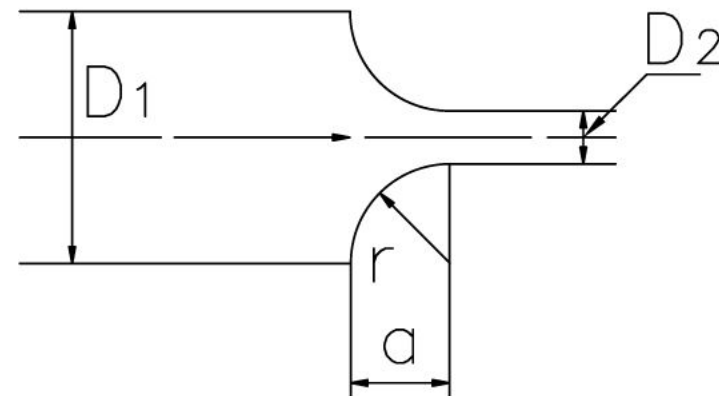


Рис. 7. Сужение
трубопровода

3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод

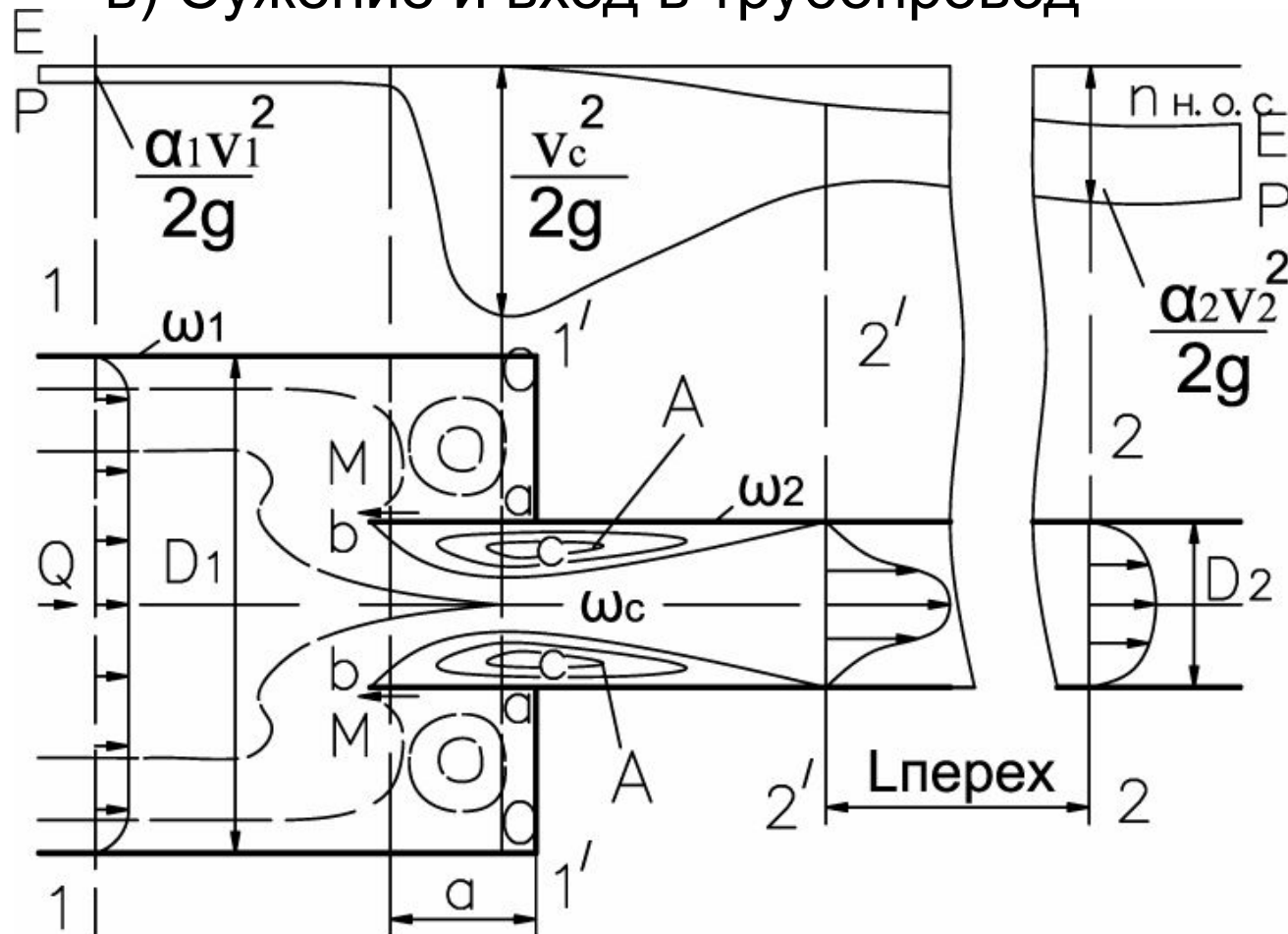


Рис. 8. Наиболее резкое сужение трубопровода

3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод

$$h_{н.р.с} = \frac{(v_C - v_2)^2}{2 \cdot g} = \left(\frac{v_C}{v_2} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_C} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} =$$

$$= \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (29)$$

или

$$h_{н.р.с} = \zeta_{н.р.с} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (30)$$

где коэффициент
сопротивления
наиболее резкого
сужения потока равен

$$\zeta_{н.р.с} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \quad (31)$$

3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод

Условимся обозначать далее коэффициент сжатия для «наиболее резкого сжатия» $\varepsilon_{н.р.с}$ через

$$\varepsilon_{н.р.с} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}}} \quad (32)$$

3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод

$$h_c = \zeta_c \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (33)$$

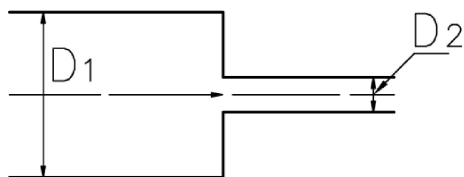


$$\zeta_{в \text{ п } c} = \xi \cdot \zeta \dots = \xi \cdot \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$$

3. Отдельные случаи частных потерь

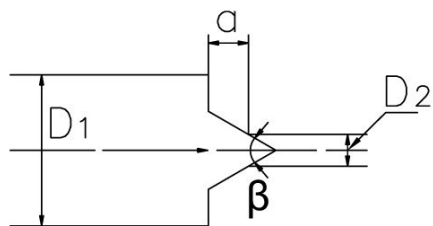
в) Сужение и вход в трубопровод

а) Резкое сужение



$$\xi = 0,5$$

б) Постепенное сужение

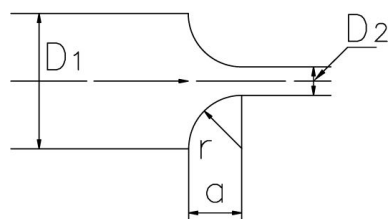


находится в зависимости от

угла β
и отношения a/D_2

β

в) Плавное сужение



находится в зависимости от

угла β
и отношения r/D_2

β

Рис. 7. Сужение
трубопровода

3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод

$$\zeta_{в} = \xi \cdot \zeta_{с} = \xi \cdot \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$$

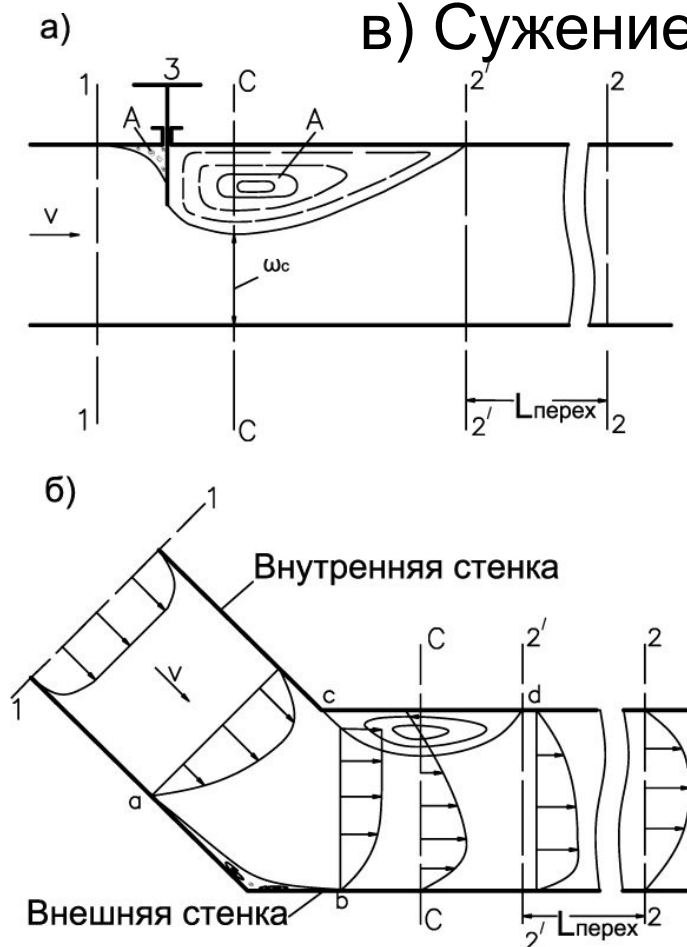
$$\omega_1 = \infty \longrightarrow \zeta_{вх} = \xi$$

$$\boxed{\zeta_{вх} = 0,5}$$

для случая «резкое
сужение»

3. Отдельные случаи частных потерь

в) Сужение и вход в трубопровод



$$h_j = \zeta_j \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (38)$$

формула Вейсбаха

Рис. 9. Протекание жидкости при наличии задвижки (а) и при наличии поворота трубы (б)