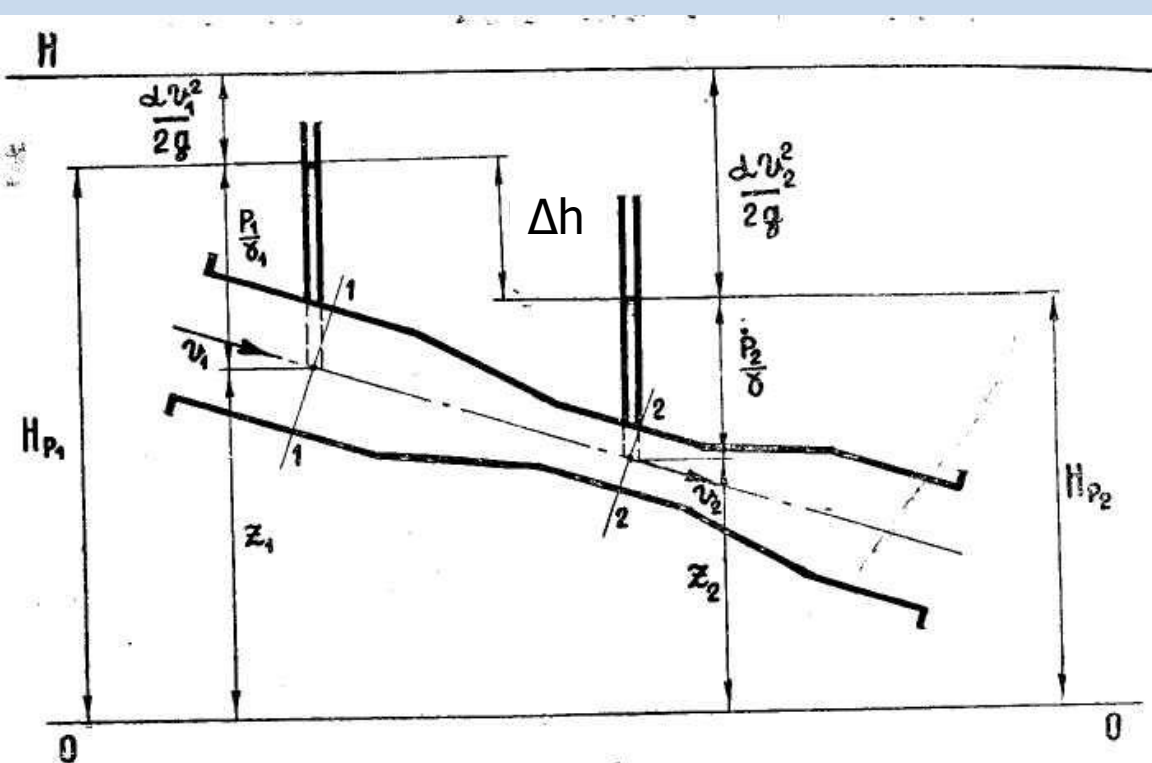


# Водомер Вентури

**Водомер Вентури** – это **прибор**, предназначенный **для измерения расхода** жидкости в трубе. Он позволяет определить расход **через перепад статических напоров**, который создается в потоке путем установки сужающих устройств (конфузор). Выразить расход через перепад статических напоров  $Q=f(\Delta h)$  можно **используя уравнение Бернулли** (уравнение сохранения энергии) и **уравнение неразрывности** (уравнение сохранения количества вещества).

Конструктивно **прибор состоит из двух конусов** (сужающийся по направлению потока – конфузор, расширяющийся по направлению потока – диффузор) **и двух пьезометров**, один из которых устанавливается в широкой части трубы, а второй – в суженной горловине (рис. 1)



При переходе жидкости из сечения 1-1 к узкому сечению 2-2 происходит преобразование части потенциальной энергии потока в кинетическую. Далее от сечения 2-2 жидкость движется по плавно расходящемуся удлиненному конусообразному патрубку до сечения, равного сечению трубопровода за водомером. При этом происходит обратное преобразование кинетической энергии в потенциальную. Часть потенциальной энергии жидкости при ее движении через водомер теряется на преодоление сопротивлений движению.

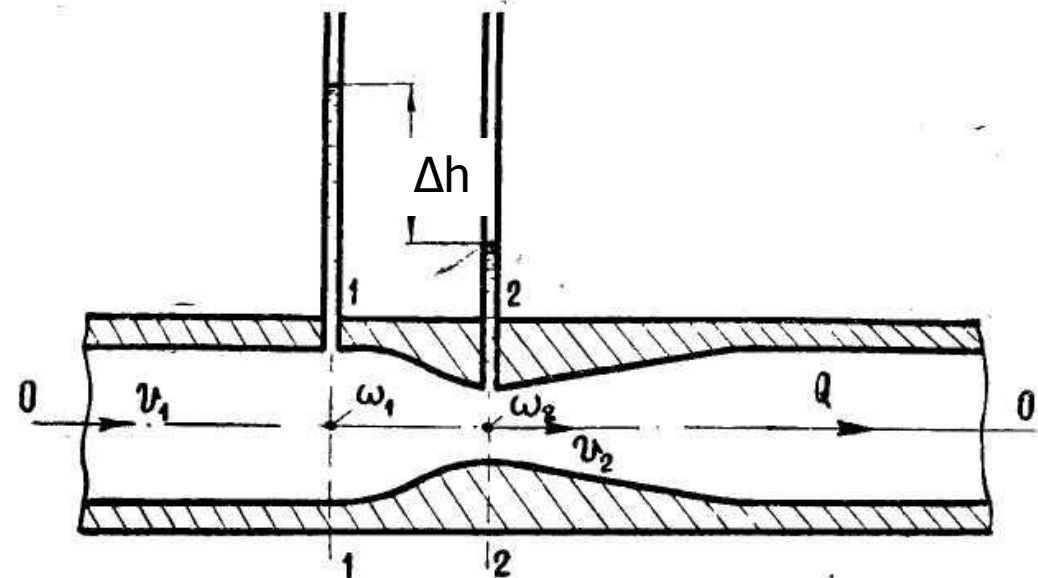


Рис. 4—1

# Уравнение Бернулли

**Уравнение Бернулли** (уравнение сохранения энергии) для 2-х сечений элементарной струйки (сечение бесконечно мало, скорость в нем постоянная  $U$ ) идеальной жидкости (невязкой, однородной и несжимаемой) имеет вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g};$$

для 2-х сечений элементарной струйки вязкой жидкости:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + h_w;$$

для 2-х сечений потока идеальной (невязкой) жидкости:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g};$$

для 2-х сечений потока вязкой (реальной) жидкости:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_w.$$

# Геометрическая и физическая интерпретация уравнения Бернулли

$z$  - удельная (отнесенная к единице веса жидкости) **потенциальная энергия положения; геометрическая высота** расположения центра тяжести сечения струйки или потока над произвольной горизонтальной плоскостью (плоскостью сравнения);

$\frac{p}{\gamma}$  - удельная **потенциальная энергия давления; пьезометрическая высота**, измеряется пьезометрической трубкой;

$\frac{v^2}{2g}$  - **удельная кинетическая энергия; скоростной напор**, измеряется трубкой Пито (скоростная Г-образная трубка, помещается в поток вместе с пьезометром, но в ней уровень жидкости будет больше на величину скоростного напора)

$h_w$  - **потери энергии** или напора;

$\alpha$  - коэффициент кинетической энергии, учитывающий неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении потока и равный отношению максимальной скорости в сечении к средней ( для ламинарного потока его значение составляет примерно 2,0, а для турбулентного - приблизительно 1,0).

# Уравнение неразрывности

**Уравнение неразрывности** или уравнение постоянства расхода для потока имеет вид:

$$Q = v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = \text{const},$$

из чего можно сделать вывод, что

- расход по длине трубы остается постоянным и равным произведению площади сечения на среднюю скорость в нем;
- площади сечений и средние скорости в них находятся в обратно пропорциональной зависимости, то есть при уменьшении площади сечения скорость возрастает, а при увеличении площади сечения скорость в нем уменьшается.

# Вывод теоретической зависимости $Q=f(\Delta h)$

Пренебрегая, в первом приближении, потерями энергии и считая коэффициент кинетической энергии равным 1,0 для турбулентного движения воды в трубе, запишем уравнение Бернулли и уравнение неразрывности для двух сечений водомера Вентури:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g},$$

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2.$$

из второго уравнения:

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

После подстановки в первое уравнение:

$$\Delta h = \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) = \frac{v_1^2}{2g} \left( \frac{D^4}{d^4} - 1 \right),$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{(D/d)^4 - 1}},$$

$$Q_m = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2g\Delta h}{(D/d)^4 - 1}} = A\sqrt{\Delta h},$$

где  $A$  – константа прибора, зависящая от его геометрических характеристик.

# Экспериментальная проверка и уточнение теоретической зависимости $Q=f(\Delta h)$

Полученная зависимость для  $Q_{\text{теор.}}$  не учитывает потери энергии в водомере и требует экспериментальной проверки. Для проверки измерим 3 значения  $\Delta h$  по пьезометрам на лабораторной установке (так как лабораторный прибор расположен горизонтально, то  $z_1=z_2=0$ ) и вычислим соответствующие расходы  $Q_{\text{теор.}}$ . Кроме того, параллельно для сравнения измерим 3 значения расхода объемным способом  $Q_{\text{оп}}=W/t$ .

№ опыта	Диаметр, см		$\omega_1=\pi D^2/4,$ см <sup>2</sup>	Показания пьезометра, см		W, см <sup>3</sup>	t, с	$Q_{\text{оп}}=W/t$	$Q_{\text{теор.}} = A\sqrt{(p_1/\rho g - p_2/\rho g)}$
	D	d		$p_1/\rho g$	$p_2/\rho g$				
1	3.5	1.7				3000			
2	3.5	1.7				3000			
3	3.5	1.7				3000			

Сравнив полученные в каждом из трех опытов  $Q_{\text{теор.}}$  и  $Q_{\text{оп}}$ , убедимся, что  $Q_{\text{теор.}}$  в каждом опыте больше  $Q_{\text{оп}}$ . Это обусловлено тем, что при выводе теоретической зависимости мы не учитывали потери энергии. Потери энергии учитываются введением коэффициента расхода водомера :  $\mu = Q_{\text{оп}} / Q_{\text{теор.}} < 1$ .

С учетом этого коэффициента зависимость  $Q=f(\Delta h)$  примет вид:  $Q = \mu A \sqrt{\Delta h}$ .