

***Тема 1.1 Физические
основы
функционирования
пневмосистем***

Воздух представляет собой газовую смесь, в основном состоящую из двух газов:

азота N_2 (78,08%)

кислорода O_2 (20,95%).

В небольших количествах в нем присутствуют инертные газы

аргон Ar,

неон Ne,

гелий He,

криптон Kr

ксенон Xe

водород H_2 (0,94%)

а также диоксид углерода (углекислый газ) CO_2 (0,03%).

1. Основные параметры газа

Давлени



Рис. 1.1. Иллюстрация действия закона Паскаля

$$p = F/S$$

давление —
 p ,
сила — F ,
площадь — S

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ бар} = 10^6 \text{ Па} = 10^2 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}$$

Температур

а.

Термодинамическая, или абсолютная, температура T [К] и температура по Международной практической шкале t [°С] связаны соотношением $T=t + 273,15$.

Плотност

ь.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

плотность ρ [кг/м³]

Масса вещества m
[кг]

объем V [м³]

Удельный объем.

Удельный объем v [м³/кг] — это величина, обратная плотности: $v = 1/\rho$.

Основные физические свойства газов

Сжимаемость

*Температурное
расширение*

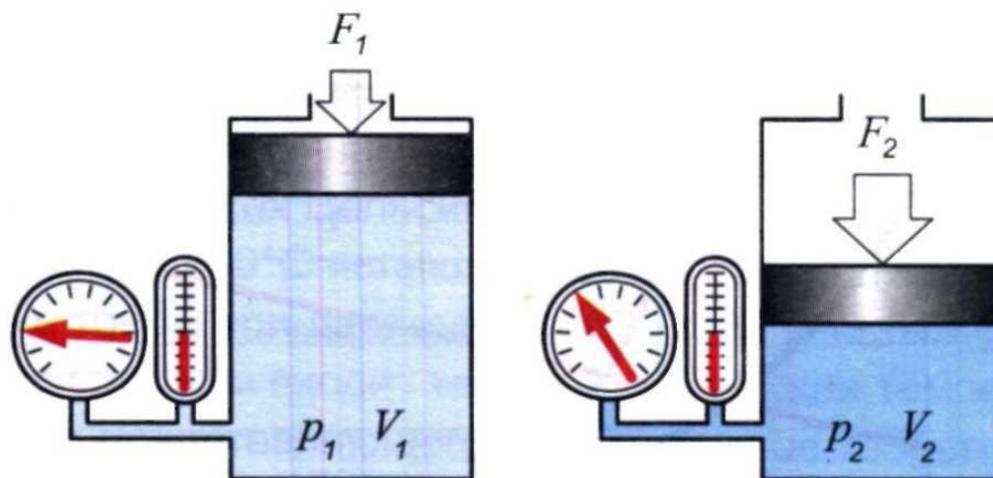
Вязкость

Основные газовые

законы Иллюстрация закона Бойля — Мариотта

$$T = \text{const}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const}$$



Решение задачи.

Закон Бойля – Мариотта.

Атмосферный воздух объёмом 1 м^3 был сжат при неизменной температуре до избыточного давления 6 бар. Какова степень сжатия воздуха? Какой объём будет занимать сжатый воздух?

Решение задачи.

Закон Бойля – Мариотта.

Атмосферный воздух объёмом 1 м^3 был сжат при неизменной температуре до избыточного давления 6 бар. Какова степень сжатия воздуха? Какой объём будет занимать сжатый воздух?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,013 \text{ бар}$$

$$p_{2\text{изб}} = 6 \text{ бар}$$

Найти :

$$V_1/V_2; V_2$$

Решение задачи.

Закон Бойля – Мариотта.

Атмосферный воздух объёмом 1 м^3 был сжат при неизменной температуре до избыточного давления 6 бар. Какова степень сжатия воздуха? Какой объём будет занимать сжатый воздух?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,013 \text{ бар}$$

$$p_{2\text{изб}} = 6 \text{ бар}$$

Решение:

$$V_1 / V_2 = p_2 / p_1;$$

$$V_1 / V_2 = 6 + 1,013 / 1,013 = 7,013 / 1,013 \approx 6,923.$$

$$V_2 = p_1 V_1 / p_2; V_2 = 1,013 * 1 / 7,013 \approx 0,144\text{ м}^3$$

Найти :

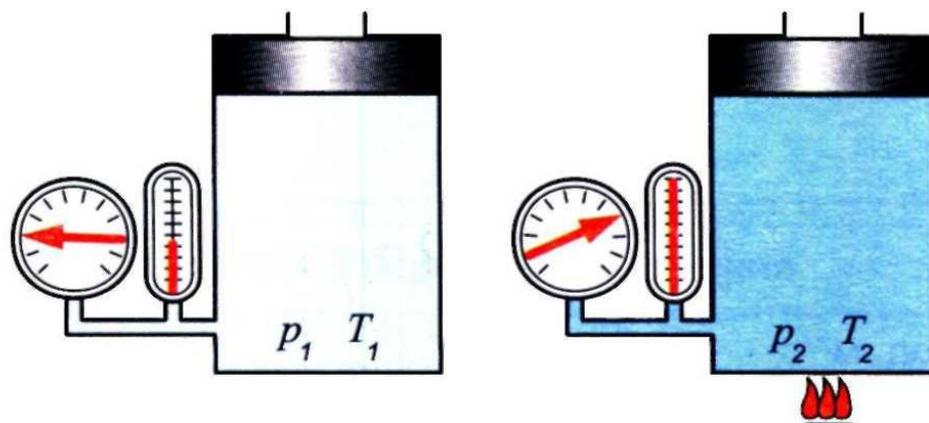
$$V_1 / V_2; V_2$$

Ответ: $V_1 / V_2 \approx 6,923; V_2 \approx 0,144\text{ м}^3.$

Иллюстрация закона Шарля

$V = \text{const}$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



Решение задачи.

Закон Шарля.

В ресивере (пневматической ёмкости) находится воздух под избыточным давлением 5 бар при температуре окружающей среды 18°C . Каковы будут показания манометра, установленного на ресивере, если температура сжатого воздуха в нем повысится на 10°C ?

Дано:

$$p_{1\text{изб}} = 5 \text{ бар};$$

$$t_1 = 18^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 28^{\circ}\text{C};$$

Найти:

$$P_{2\text{изб}}.$$

Решение задачи.

Закон Шарля.

В ресивере (пневматической ёмкости) находится воздух под избыточным давлением 5 бар при температуре окружающей среды 18°C. Каковы будут показания манометра, установленного на ресивере, если температура сжатого воздуха в нем повысится на 10°C?

Дано:

$$p_{1\text{изб}} = 5 \text{ бар};$$

$$t_1 = 18^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 28^\circ\text{C};$$

Найти:

$$P_{2\text{изб}}.$$

Решение:

$$p_2 = p_1 * T_2/T_1.$$

$$p_1 = 5 + 1,013 = 6,013 \text{ бар};$$

$$T_1 = 273,15 + 18 = 291,15\text{K};$$

$$T_2 = 273,15 + 28 + 301,15 \text{ K}.$$

$$p_2 = 6,013 * 301,15/291,15 \approx 6,220 \text{ бар};$$

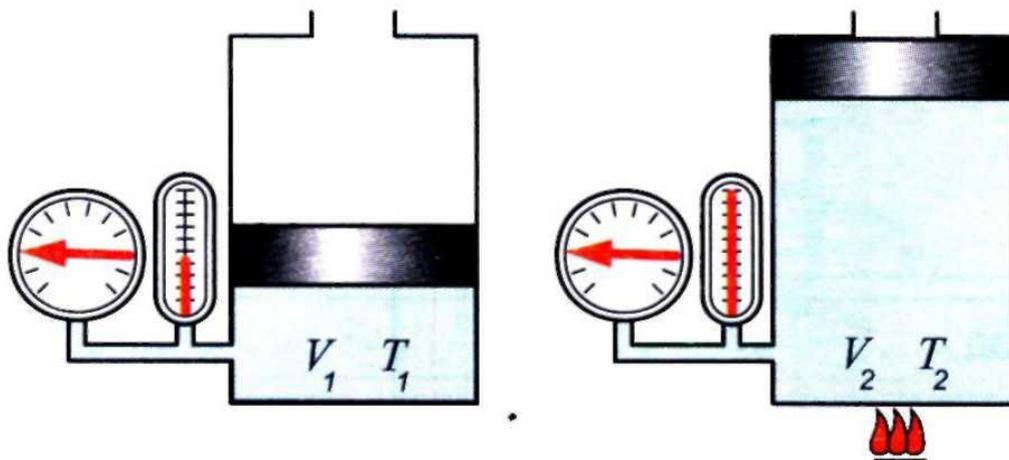
$$p_{2\text{изб}} = 6,220 - 1,013 \approx 5,207 \text{ бар}.$$

Ответ: $p_{2\text{изб}} \approx 5,207 \text{ бар}.$

Иллюстрация закона Гей-Люссака

$$p = \text{const}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



Решение задачи.

Закон Гей – Люссака.

При температуре окружающей среды 22°C воздух, находящийся под избыточным давлением 6 бар, занимает объем 1 м^3 . Какой объем будет занимать воздух, если его температура понизится на 10°C , а давление останется неизменным?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3;$$

$$t_1 = 22^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 12^{\circ}\text{C};$$

Найти: V_2

Решение задачи.

Закон Гей – Люссака.

При температуре окружающей среды 22°C воздух, находящийся под избыточным давлением 6 бар, занимает объем 1 м^3 . Какой объем будет занимать воздух, если его температура понизится на 10°C , а давление останется неизменным?

Дано:

$$V_1 = 1\text{ м}^3;$$

$$t_1 = 22^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 12^{\circ}\text{C};$$

Решение:

$$V_2 = V_1 * T_2 / T_1$$

$$T_1 = 273,15 + 22 = 295,15\text{K};$$

$$T_2 = 273,15 + 12 = 285,15\text{K}$$

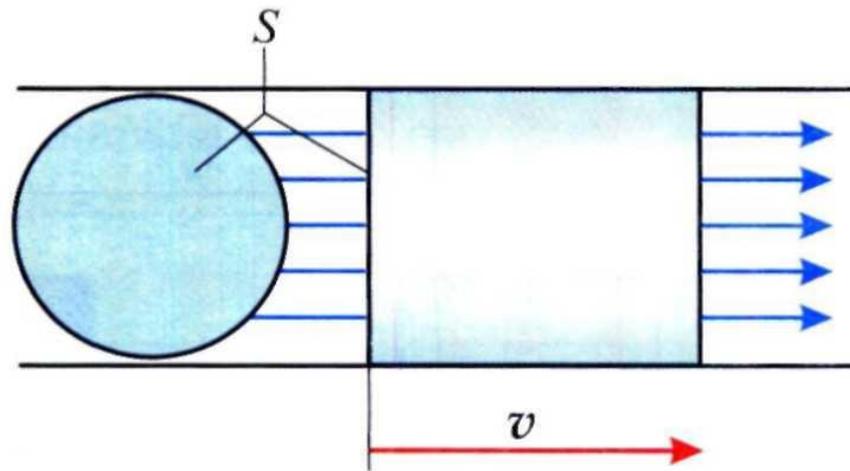
$$V_2 = 1,3 * 285,15 / 295,15 \approx 1,256 \text{ м}^3$$

Найти: V_2

Ответ: $V_2 \approx 1,256 \text{ м}^3$

Течение

газ \mathcal{Q} асход (Q)

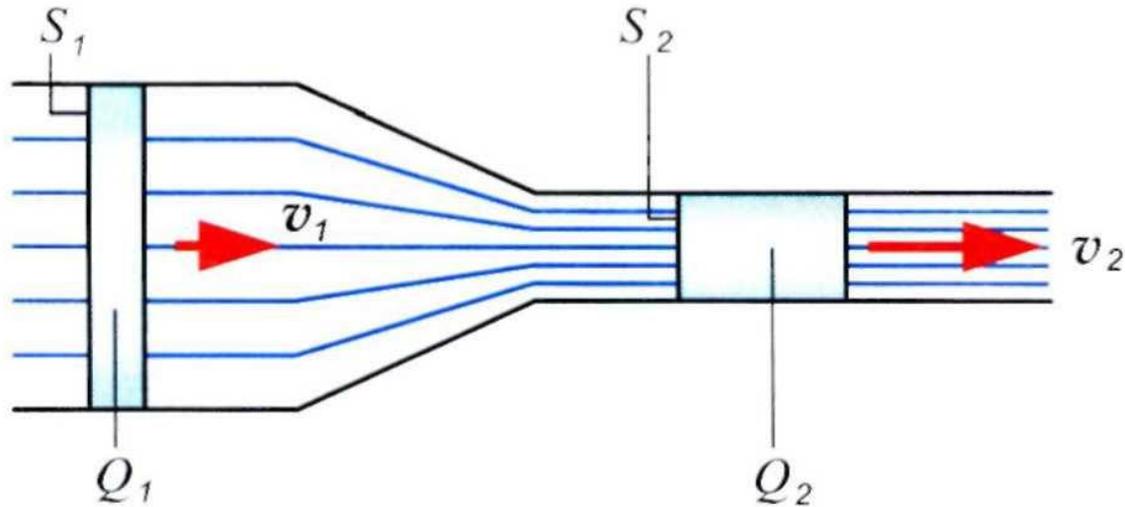


$$Q = u S,$$

где u — средняя по сечению скорость потока, м/с;

S — площадь поперечного сечения трубопровода, м²

Расход жидкости при течении по трубе переменного сечения.



Исходя из закона сохранения вещества, а также из предположения о сплошности (неразрывности) потока для установившегося течения несжимаемой жидкости, можно утверждать, что объемный расход через любое сечение одинаков

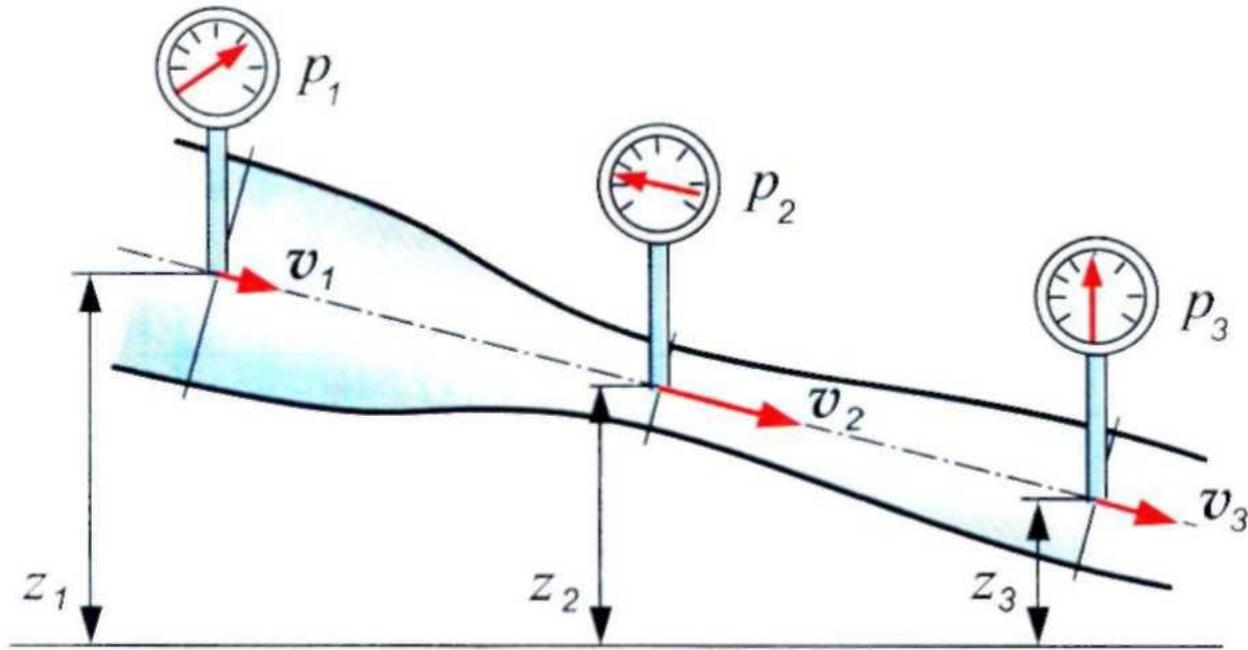
Это явление описывается уравнением неразрывности

$$Q_1 = S_1 v_1 = S_2 v_2 = Q_2 = \text{const.}$$

Из данного уравнения следует, что в узком сечении трубы поток ускоряется:

$$v_2 = v_1 S_1 / S_2$$

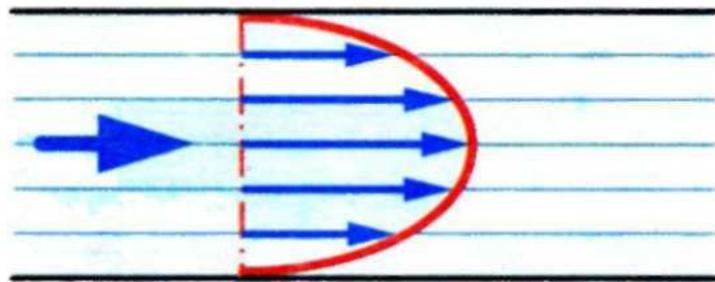
Уравнение Бернулли



$$gz_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} = gz_3 + \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2}$$

Режимы течения

Ламинарный режим



Турбулентный режим

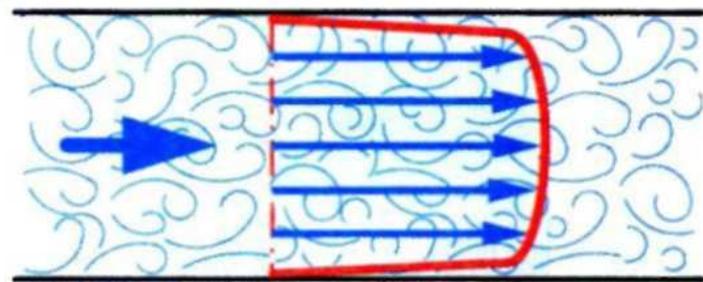


Рис. Эпюры скоростей при различных режимах течения

Ламинарный режим характеризуется упорядоченным движением (слоями) жидкости или газа, причем скорости внешних слоев меньше, чем внутренних. Когда скорость движения превысит некоторую критическую величину, слои начинают перемешиваться, образуются вихри; течение становится турбулентным, возрастают потери энергии.



Чебоксарский
Электромеханический
Колледж