



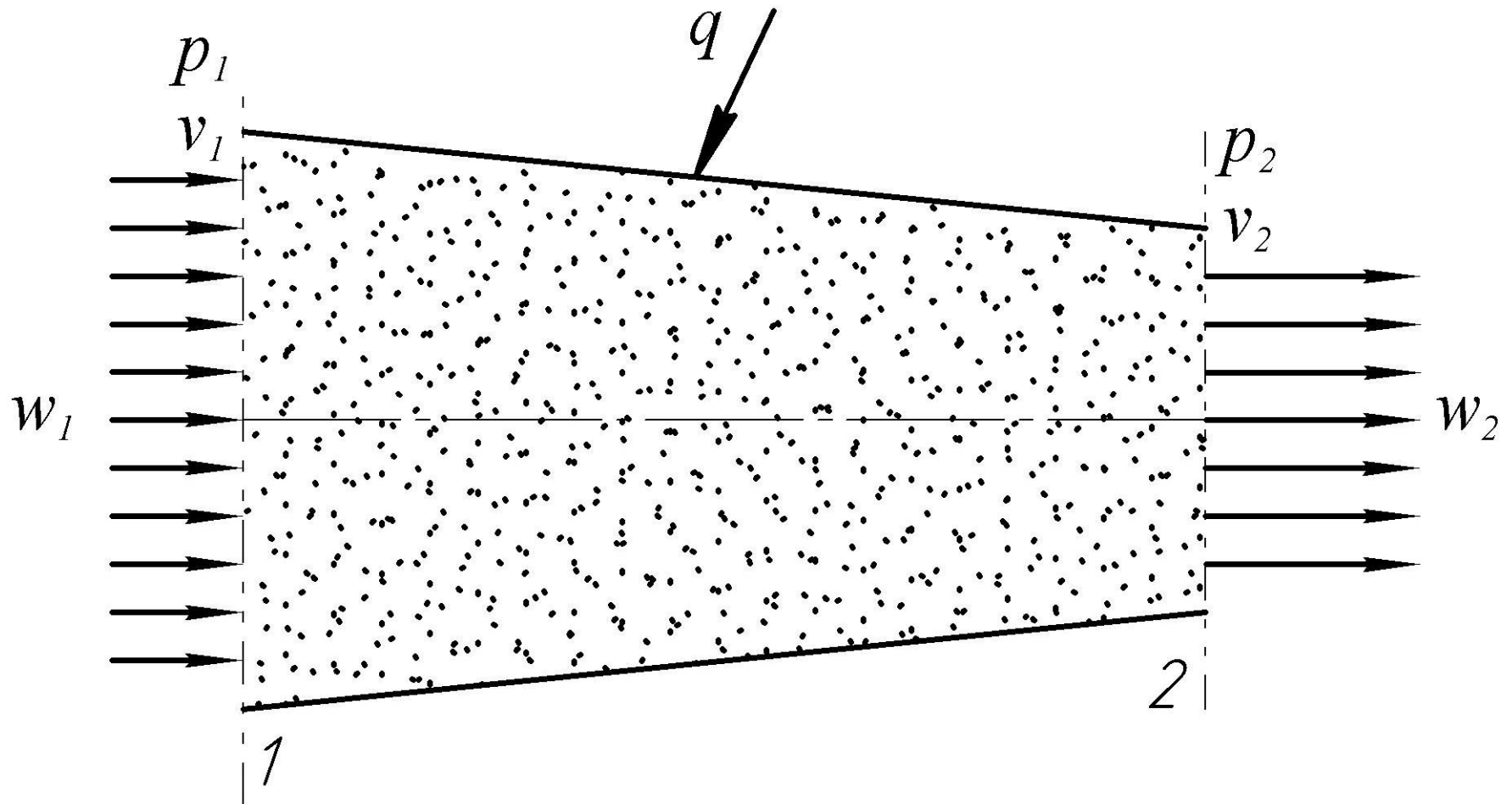
ТЕМА №6


ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗОВ И ПАРОВ

Вопрос №1 Уравнение первого закона термодинамики для потока

Рассмотрим поток газа, протекающий через канал произвольной формы, к которому подводится теплота q .

Схема движения потока газа через канал произвольной формы.







В общем случае уравнение первого закона термодинамики имеет вид

$$q = \Delta u + l.$$

В приведенном выражении работа затрачивается только на преодоление внешних сил при его расширении.



В случае движущегося газового потока работа l складывается из работы проталкивания $l_{\text{п}}$, и работы, затрачиваемой на изменение кинетической энергии газового потока $l_{\text{к}}$.




Следовательно, уравнение первого закона термодинамики для потока принимает вид

$$q = \Delta u + l_{\text{п}} + l_{\text{к}},$$

где $l_{\text{п}}$ – работа проталкивания;


$l_{\text{к}}$ – работа, затрачиваемая на изменение кинетической энергии потока.



Работа проталкивания может быть определена следующим образом.

При прохождении газового потока через сечение l ему необходимо преодолеть давление p_1 , т.е. каждый килограмм рабочего тела может занять объём v_1 лишь затратив на это работу

$$l_{п1} = -p_1 v_1.$$



Для того, чтобы пройти через сечение 2, рабочее тело должно вытолкнуть из него такое же количество газа, находящегося в нём под давлением p_2 , т.е. совершив для этого работу

$$l_{п2} = p_2 v_2.$$



Тогда работа проталкивания будет равна

$$l_{\text{п}} = p_2 v_2 - p_1 v_1 .$$

Работа, затраченная на изменение кинетической энергии одного килограмма газа, вычисляется по формуле

$$l_{\text{к}} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} .$$

Учитывая приведенные выражения, уравнение первого закона термодинамики для потока получим в виде

$$q = u_2 - u_1 + p_2 v_2 - p_1 v_1 + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}.$$

Т.к. $h = u + pv$, то окончательно получим


$$q = h_2 - h_1 + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2},$$




или в дифференциальной форме

$$dq = dh + wdw.$$

Последние два уравнения представляют собой выражения первого закона термодинамики для газового потока:




теплота, подводимая к потоку рабочего тела, затрачивается на увеличение энтальпии рабочего тела и увеличение кинетической энергии потока.



Сравним полученное выражение с
выражением первого закона термодинамики

$$dq = dh - vdp.$$



Поскольку левые части двух выражений равны, можем приравнять их правые части

$$w dw = -v dp.$$

Если давление по движению потока падает ($dp < 0$), то газ расширяется и скорость потока возрастает ($dw > 0$).

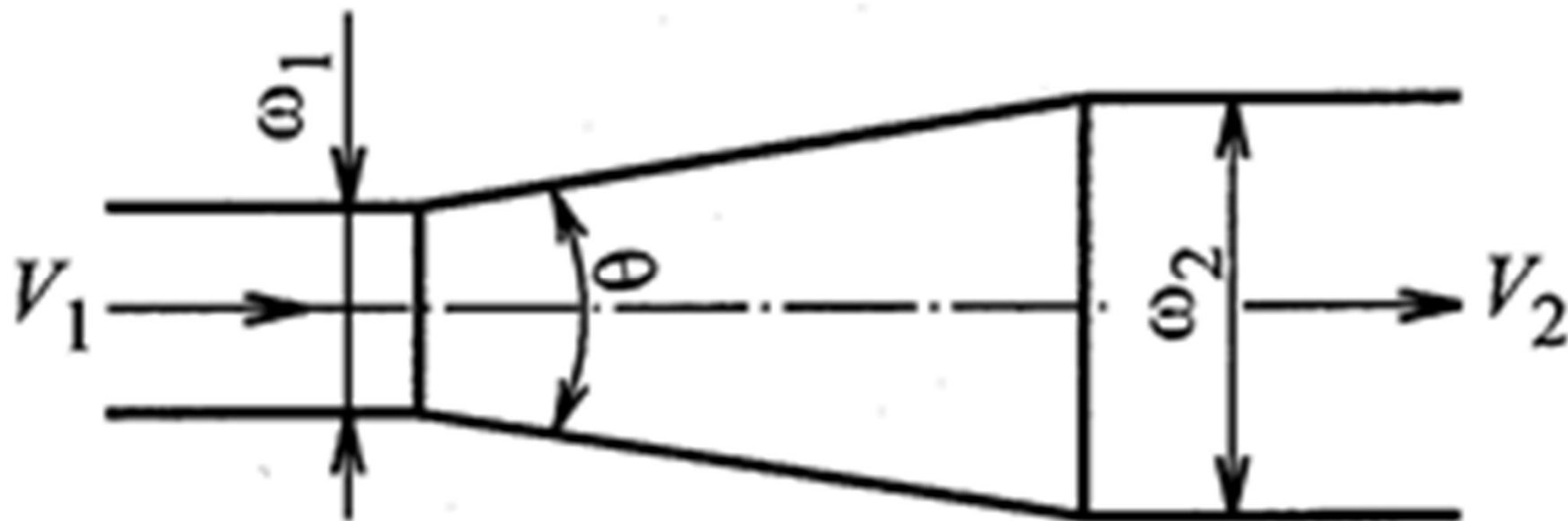
Если давление повышается ($dp > 0$), то газ сжимается и его скорость уменьшается ($dw < 0$).


Вопрос №2 Процесс истечения пара в hs -диаграмме

Истечением называется движение газа через относительно короткие каналы специальной формы – *сопла*.

Если в каналах происходит уменьшение скорости движения и увеличение давления, то такие каналы называются *диффузорами*.

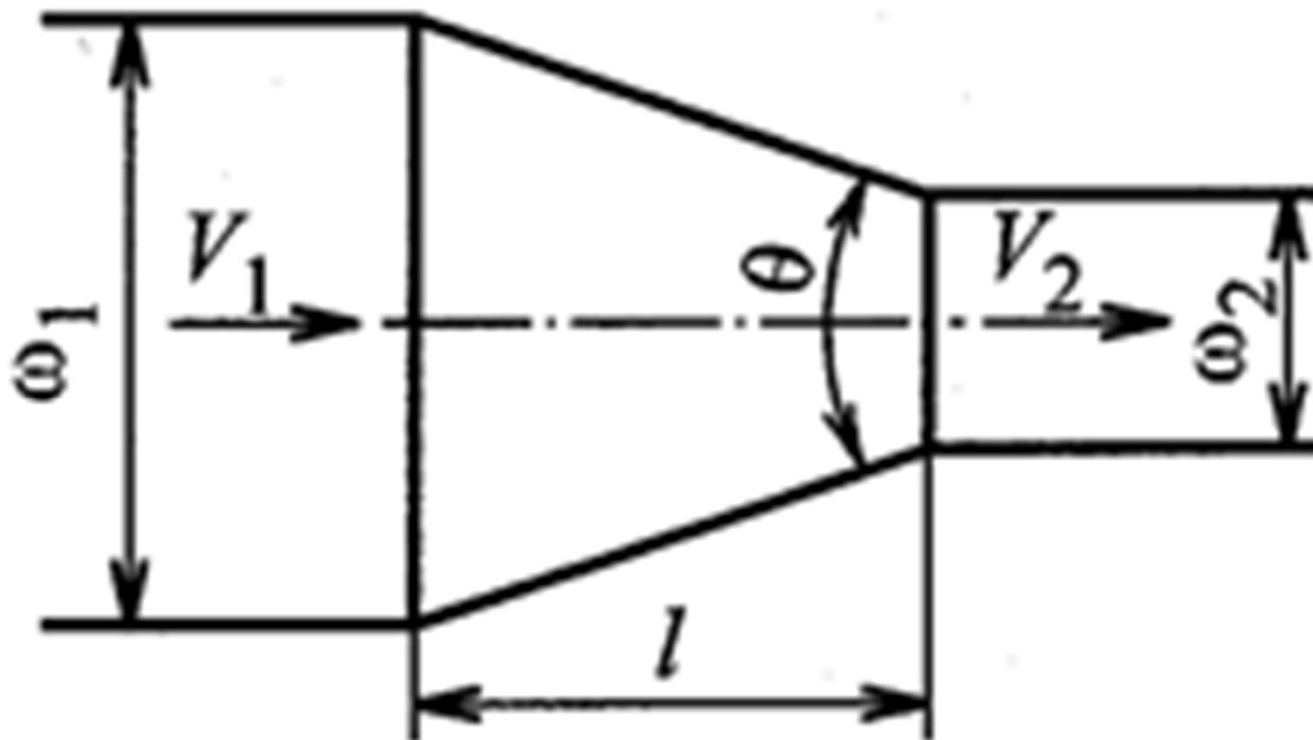
Диффузор



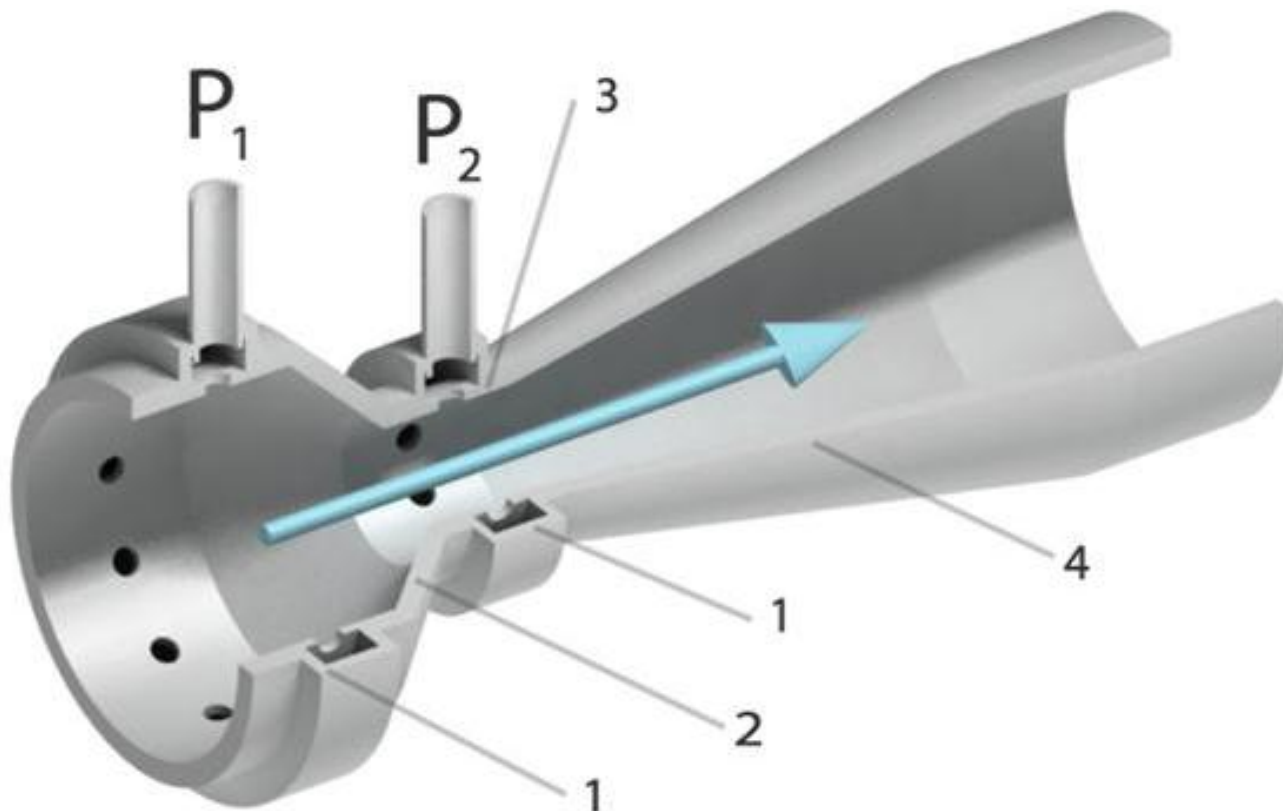


Если в каналах происходит увеличение скорости движения и уменьшение давления, то такие каналы называются *конфузорами*.


Конфузор



Труба (сопло) Вентури

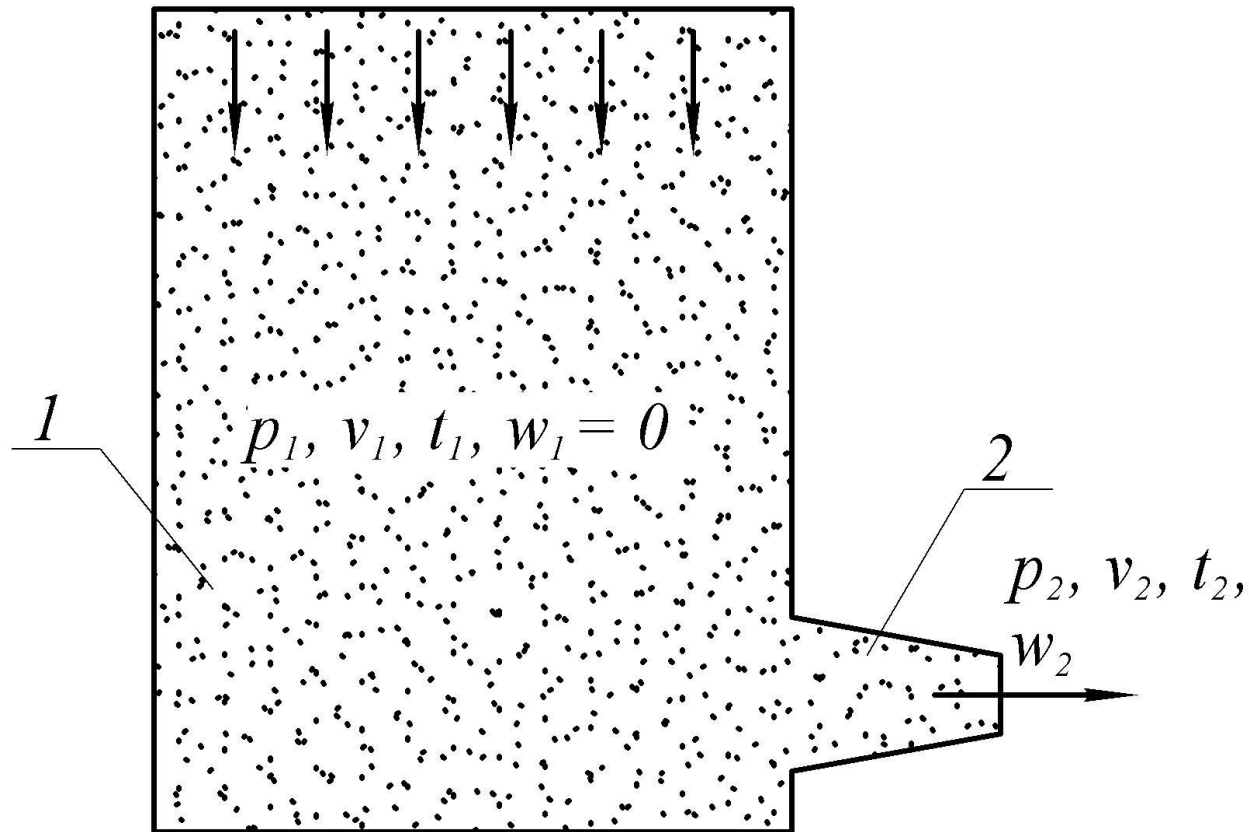


1 – кольцевые камеры для выравнивания давлений;
2 – входной конфузор; 3 – горловина; 4 – диффузор.



Рассмотрим сосуд неограниченной емкости, в котором находится рабочее тело – пар с параметрами состояния p_1, v_1, t_1 .

Схема процесса истечения из сосуда неограниченного объёма



1 – сосуд, 2 – сопло.

Рабочее тело вытекает в среду с давлением $p_2 < p_1$ через отверстие в стенке сосуда.

Параметры состояния пара в среде с давлением p_2 обозначим, соответственно, через v_2 и t_2 .

Ввиду малой длины сопла и времени пребывания пара в нём теплообменом со стенками можно пренебречь и считать, что $q = 0$.




Тогда уравнение первого закона термодинамики для потока примет вид

$$0 = h_2 - h_1 + \frac{w^2}{2},$$

ИЛИ

$$h_1 - h_2 = \frac{w^2}{2}.$$

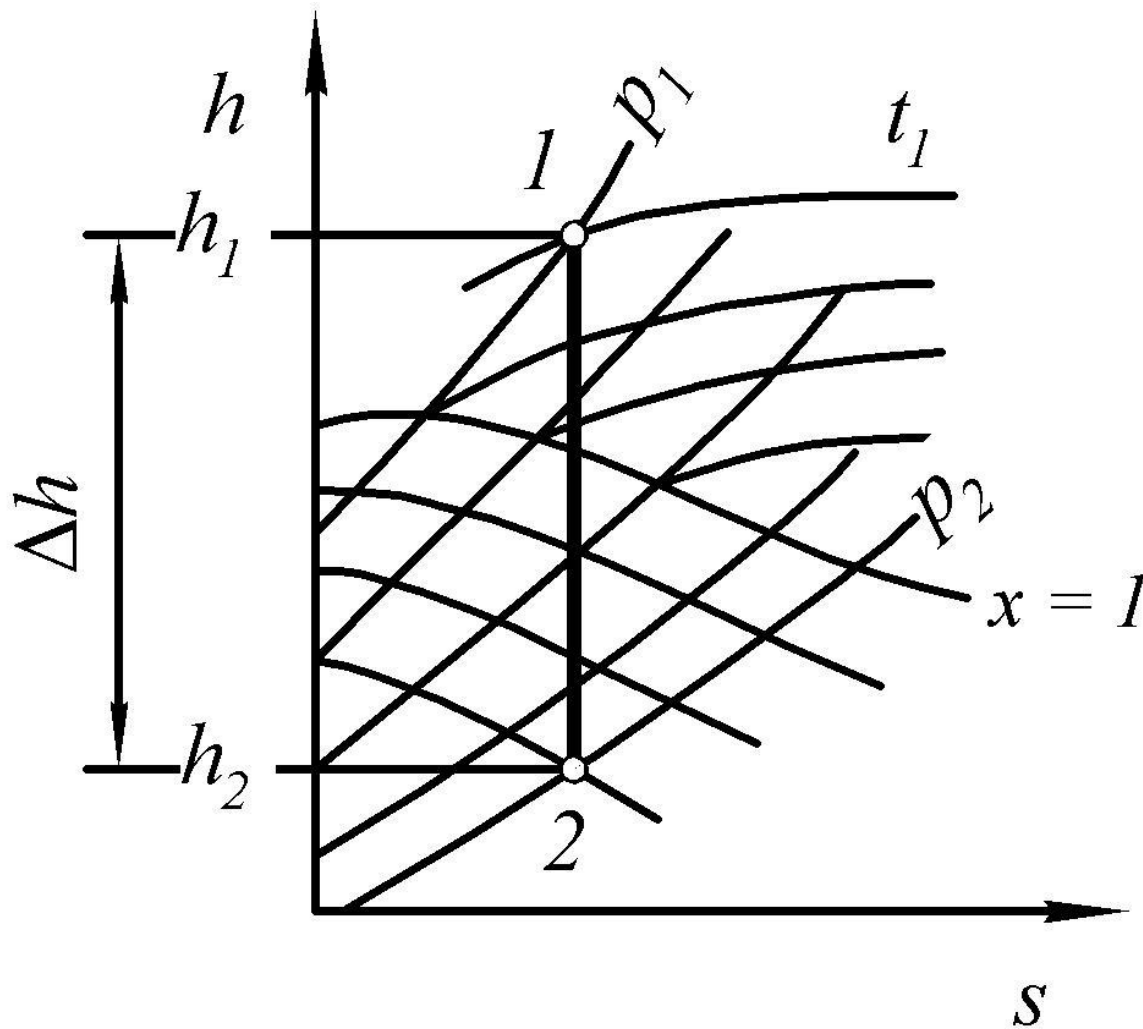



Т.е. при адиабатном истечении пара уменьшение его энтальпии равно увеличению кинетической энергии потока пара.

Следовательно, работа l_k может быть определена через изменение энтальпии и графически в hs -диаграмме будет изображаться отрезком

$$\Delta h = h_1 - h_2.$$

Теоретический процесс истечения пара в hs -диаграмме.





Скорость истечения пара из сопла определится из уравнения

$$w = \sqrt{2(h_1 - h_2)}.$$

Если значения энтальпии в кДж/кг, то формула принимает вид

$$w = 44,72\sqrt{h_1 - h_2}.$$

Для идеальных газов скорость истечения из сопла равна

$$w = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)},$$

где k – показатель адиабаты.

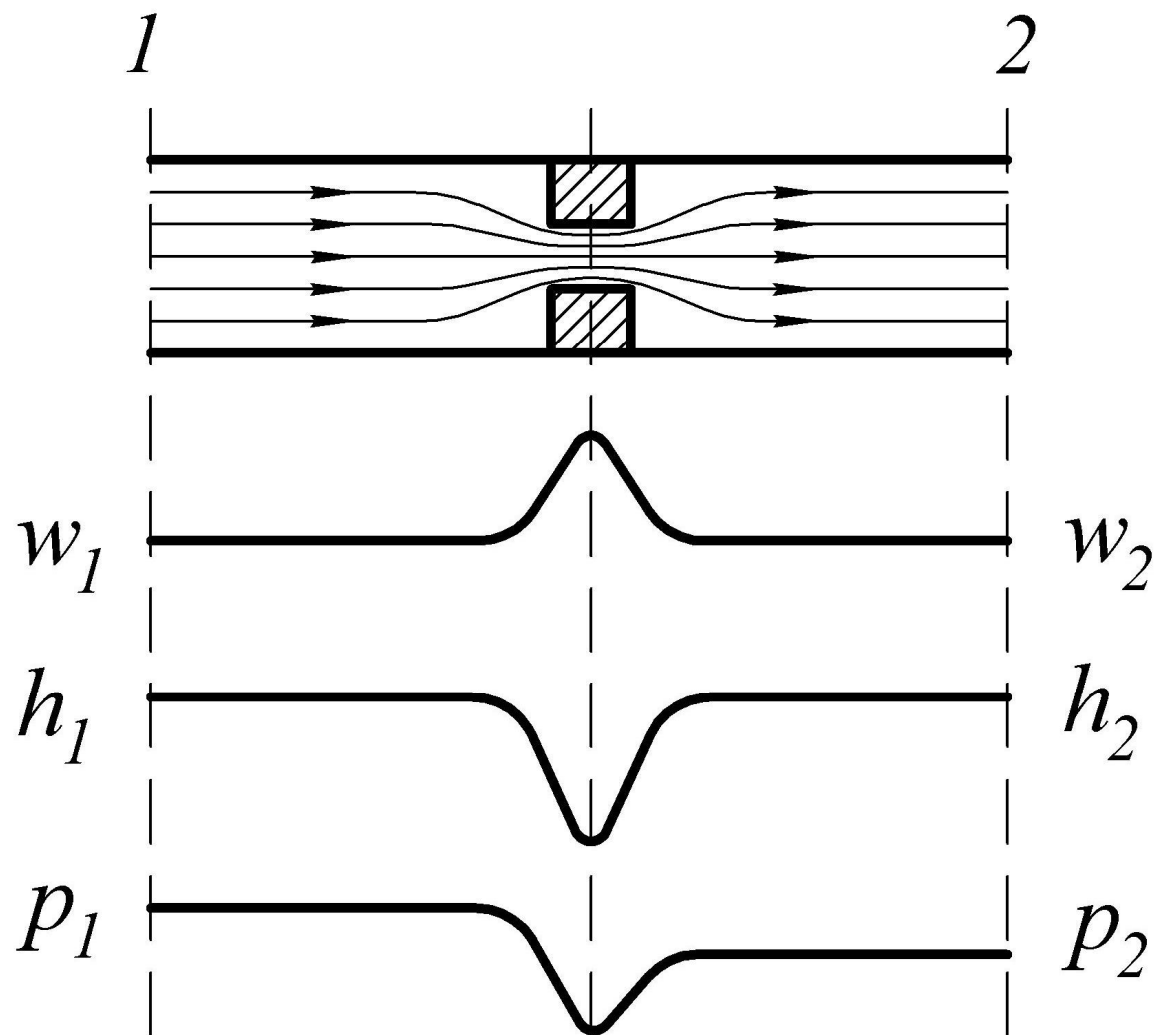
Вопрос № 3


Процесс дросселирования пара в hs -диаграмме

Дросселированием называется необратимый процесс снижения давления газа при прохождении его через местное сужение проходного сечения без совершения газом внешней работы и без подвода или отвода теплоты.

Любое сопротивление в трубопроводе (вентиль, задвижка, шайба, кран, клапан и т.д.) вызывает дросселирование газа, а, следовательно, и падение давления.

Схема процесса дросселирования пара






При отсутствии теплообмена потока пара с окружающей средой в соответствии с уравнением первого закона термодинамики для потока получим

$$h_1 - h_2 = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2},$$

где h_1 и h_2 – энтальпия пара в сечениях 1 и 2.

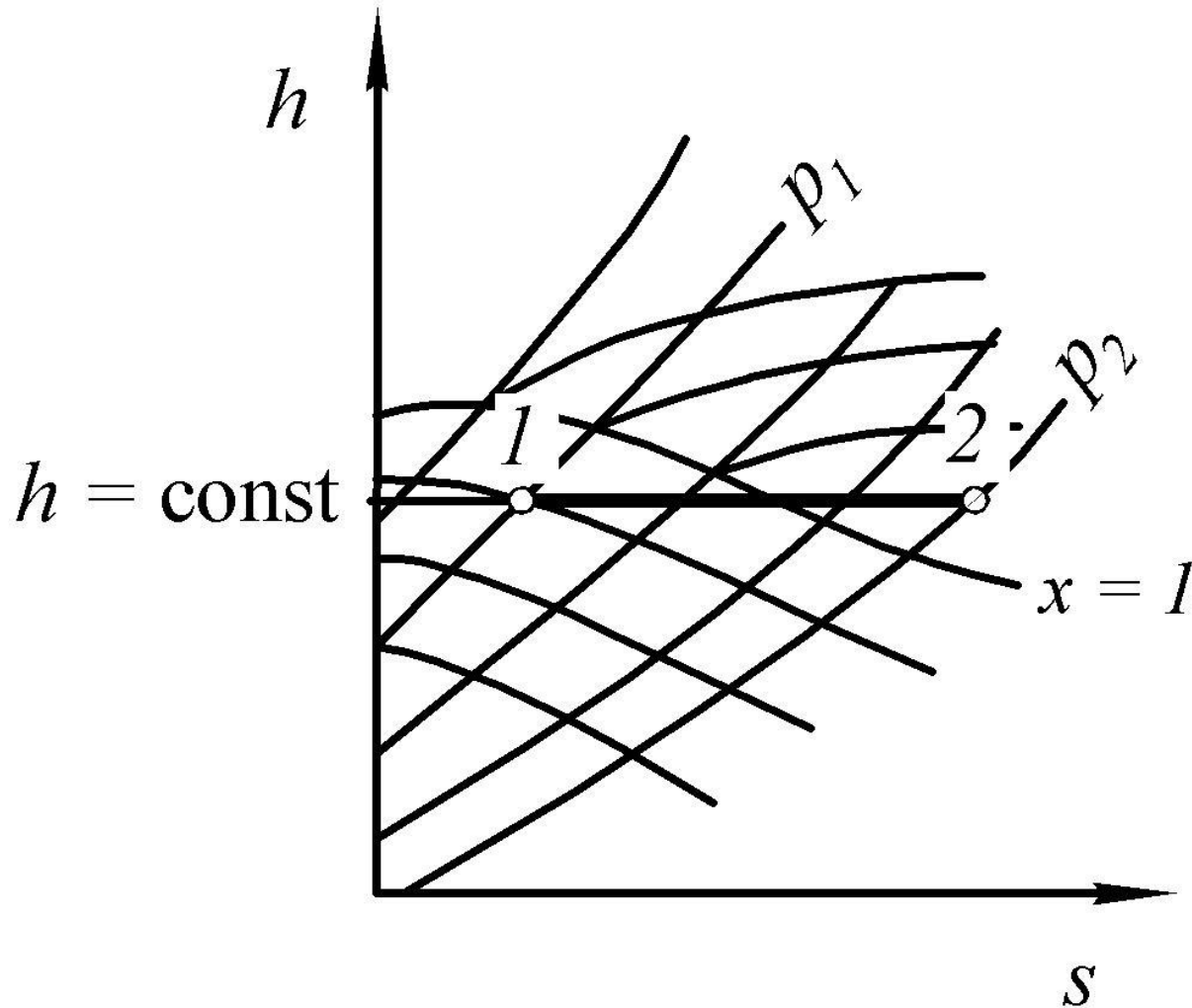



Учитывая, что скорость в сечениях 1 и 2 практически не изменяется, изменение кинетической энергии при дросселировании равно нулю, тогда

$$h_1 = h_2 .$$

Следовательно, в hs -диаграмме процесс дросселирования пара изображается горизонтальным отрезком $1-2$.

Теоретический процесс дросселирования пара в hs -диаграмме.





При дросселировании увеличивается энтропия пара и снижается его работоспособность, однако этот процесс находит широкое применение в технике.

Эффект дросселирования применяется в расходомерах (трубка Вентури).

Дросселирование также применяется в компрессорных холодильных установках для испарения жидкого хладагента.