

# Термодинамика газовых потоков

- Если на пути движущегося газа поставить преграду, то в результате адиабатного торможения потока до нулевой скорости кинетическая энергия единичной массы  $w^2/2$  преобразуется в тепловую с увеличением температуры и энтальпии газа, возрастают также его давление и плотность.
- Параметры заторможенного потока называются *параметрами торможения* и обозначаются  $p^*$ ,  $T^*$ ,  $\rho^*$ .

- Энтальпия торможения  $h^*$  по сравнению с энтальпией  $h$  в потоке газа возрастает на величину кинетической энергии, преобразуемой в теплоту

$$h^* = h + \frac{w^2}{2}$$

Температура газа  $T^* = T + w^2 / (2c_p)$

Давление , плотность, удельный  
объем из условий адиабатного  
процесса

$$p^* = p(T^* / T)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\rho^* = \rho(T^* / T)^{\frac{1}{k-1}}$$

$$v^* = v(T^* / T)^{\frac{1}{1-k}}$$

- С увеличением скорости движения газа его параметры в потоке (статические **параметры**) изменяются - температура  $T$ , давление  $p$  и плотность  $\rho$  уменьшаются, а удельный объем  $v$  растет.
- Параметры торможения в любом сечении **потока остаются неизменными.**

$$T_1^* = T_2^* = T^* = \text{idem};$$

$$p_1^* = p_2^* = p^* = \text{idem};$$

$$\rho_1^* = \rho_2^* = \rho^* = \text{idem};$$

$$h_1^* = h_2^* = h^* = \text{idem}$$

Из условий неразрывности движения стационарного газового потока (не изменяемого во времени) через любое сечение канала с площадью проходного сечения  $A$  следует:

Массовый расход газа

$$G = w \cdot \rho \cdot A$$

ИЛИ

$$G = w \cdot A / \nu$$

Где  $\nu$ - кинематическая вязкость

- Алгебраическая сумма работ сил давления, действующих в сечениях преграды, затрачивается на перемещение газа и называется *работой проталкивания*

$$\Delta W_{\text{проталкивания}} = (p_1 v_1 - p_2 v_2) \Delta M$$

- где  $\Delta M$  – количество газа переместившееся за время  $\Delta t$  в рассматриваемом сечении с преградой.

Первый закон термодинамики для потока газа: *теплота, подведенная к потоку газа, равна алгебраической сумме изменения энтальпии газа, совершаемой им технической работы и изменения кинетической энергии потока*

$$dq = dh + wdw + dW_{\text{техн}}$$

$$w = \sqrt{2(h_1 - h) + w_1^2}$$

$$w = \sqrt{2(h_1^* - h)}$$

- Для повышения давления газа и его перемещения из области низкого в область высокого давления необходима затрата механической энергии.
- Такой процесс происходит, например, в компрессоре, рабочее колесо которого, приводимое во вращение внешним источником энергии, передает получаемую энергию газу.
- В тех случаях, когда техническая работа совершается внешним источником энергии, в уравнениях ( $q$ ) она должна учитываться со знаком минус.
- Полученные уравнения справедливы как для обратимых, так и для необратимых (протекающих при наличии трения) процессов. В необратимых процессах дополнительно затрачивается работа  $W_{\text{тр}}_{\text{рен}}$  на преодоление сил трения, которая полностью переходит в теплоту  $q_{\text{тр}}_{\text{рен}}$ . Так как работа трения  $W_{\text{тр}}_{\text{рен}}$  и теплота  $q_{\text{тр}}_{\text{рен}}$  равны по величине, но имеют разные знаки, то они взаимно уничтожаются и в уравнении теплоты не участвуют.



- В каналах, когда течение газа осуществляется под действием разности давлений без подвода и отвода теплоты и без совершения технической работы, уравнения принимают вид
  - $-vdp = wdw$ ;
  - $-dp/\rho = wdw$ .
- Из этих уравнений следует, что по мере уменьшения давления в канале ( $dp < 0$ ) скорость газа возрастает ( $dw > 0$ ), т. е. потенциальная энергия преобразуется в кинетическую.
- Движение газа возможно и при возрастающем давлении, если на входе в канал газ будет иметь запас кинетической энергии. В этом случае кинетическая энергия газа может быть преобразована в потенциальную, с уменьшением скорости движения ( $dw < 0$ ) давление газа будет возрастать ( $dp > 0$ ).
- С ростом скорости движения энтальпия, а следовательно и температура газа уменьшаются и, наоборот, с уменьшением скорости энтальпия и температура газа возрастают.



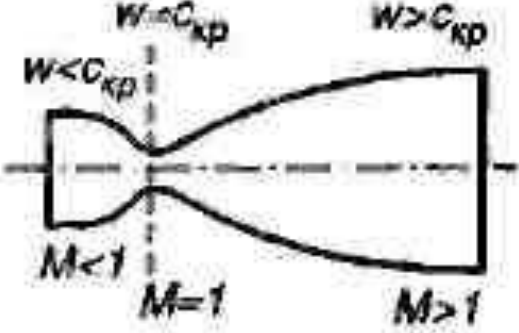
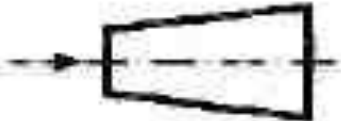

- В *турбине* в соответствии при условии адиабатного течения газа ( $dq=0$ ) работа совершается за счет уменьшения энтальпии газа и его кинетической энергии
- В *компрессоре* при адиабатном сжатии газа ( $dq=0$ ) работа, затрачиваемая на привод рабочего колеса, расходуется на увеличение полной энтальпии газа
- В *проточной камере сгорания* в потоке газа происходит сгорание непрерывно подаваемого топлива, при этом технической работы газ не совершает.
- В *теплообменнике* течение подогреваемого газа также осуществляется с подводом теплоты.
- В этих процессах подведенная теплота затрачивается на увеличение полной энтальпии газа.
- Теплота, отводимая от горячего газа в теплообменнике, равна разности полных энтальпий на входе в канал и на выходе из него, при этом изменение полных энтальпий подогреваемого и горячего (охлаждаемого) газов одинаково.

# Число Маха

- **Отношение скорости газа к местной (в данном сечении канала) скорости звука называют числом Маха**
- Скорость газа при  $w < c$  ( $M < 1$ ) называется дозвуковой, при  $w = c$  ( $M = 1$ ) звуковой и при  $w > c$  ( $M > 1$ ) сверхзвуковой скоростью

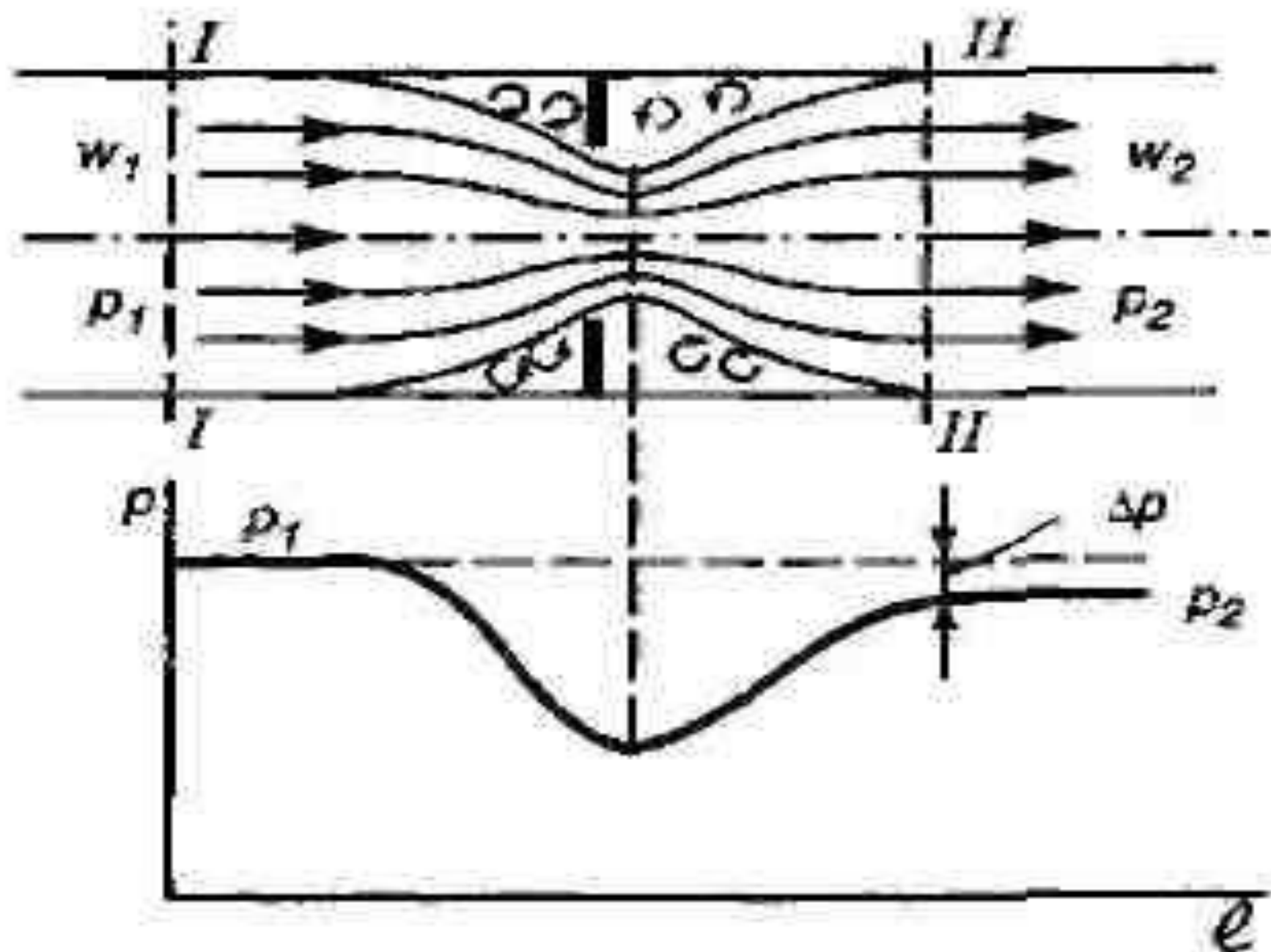
# СОПЛА И ДИФФУЗОРЫ

- Канал, в котором с уменьшением давления скорость газового потока возрастает, называется *соплом*,
- канал, в котором скорость газа уменьшается, а давление возрастает, называется *диффузором*.

	Сопло $dw > 0; dp < 0;$ $dT < 0; dv > 0$	Диффузор $dw < 0; dp > 0;$ $dT > 0; dv < 0$	Сопло Лавала
$w < c_{кр}$ ( $M < 1$ )			
$w > c_{кр}$ ( $M > 1$ )			

# ДРОССЕЛИРОВАНИЕ

- Дросселированием называется необратимый процесс протекания газа (пара) через местное сопротивление, в результате которого понижается давление газа без совершения им технической работы.
- Местное сопротивление потоку создают установленные в трубопроводе вентиль, задвижка, кран, клапан, диафрагма, пористая перегородка, капиллярная трубка и другие устройства



# Дроссель-эффект Джоуля—Томсона

- Величина снижения давления зависит от природы газа, параметров его состояния, скорости движения и степени сужения трубопровода.
- После дросселирования удельный объем и скорость газа возрастают ( $v_2 > v_1$  и  $w_2 > w_1$ ), а температура газа в зависимости от его природы и параметров состояния перед дросселированием может как увеличиваться, так и уменьшаться, или оставаться неизменной.

# ЭЖЕКТИРОВАНИЕ

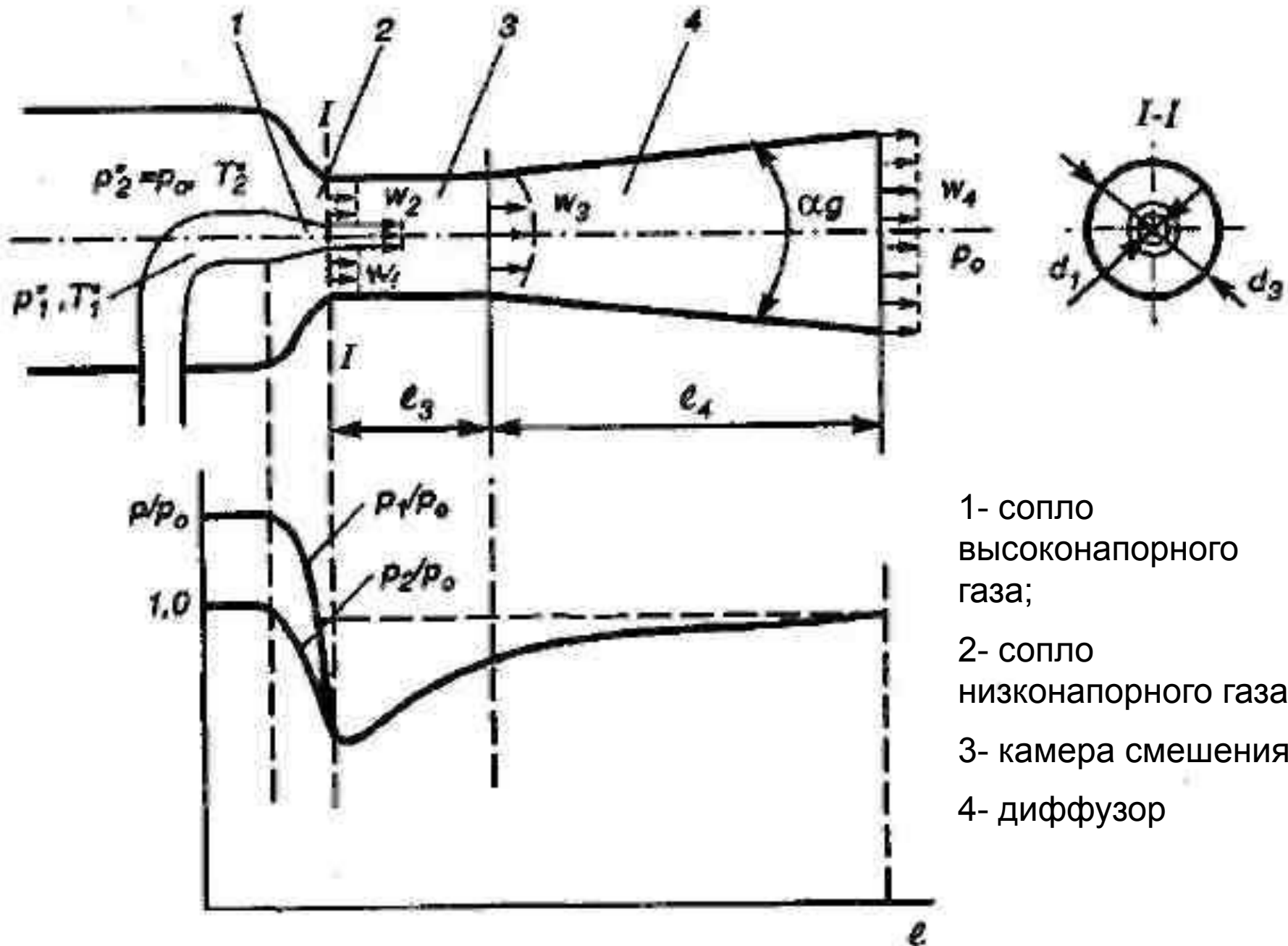
- Эжектированием называется процесс приведения в движение газа под действием разрежения, создаваемого другим газом, движущимся с большой скоростью.
- Высоконапорный газ, создающий разрежение, называется эжектирующим (активным), а приводимый в движение - эжектируемым (пассивным). В процессе эжектирования в результате турбулентного смешения происходит передача энергии от высоконапорного к низконапорному газу и выравнивание их скоростей и параметров.
- Эжектирование лежит в основе работы эжекторов (струйных вентиляторов) и инжекторов (струйных компрессоров и насосов).



По устройству и принципу действия эжекторы и инжекторы одинаковы. Подробнее процессы, протекающие в них, рассмотрим на примере эжектора.

- В эжекторе количество эжектирующего газа обычно меньше чем эжектируемого, а статическое давление их смеси на выходе равно давлению окружающей среды.
- Эжекторы находят применение для вентиляции помещений, для удаления из различных установок отработавших газов, в эжекционных системах охлаждения двигателей для просасывания атмосферного воздуха через радиатор и др.
- В инжекторе количество эжектирующего тела **обычно больше**, чем эжектируемого.
- Инжектор предназначен для повышения давления газов и паров, для нагнетания жидкости в резервуары и различные устройства. В струйном насосе для эжектирования жидкости могут использоваться газы и пары.
- По устройству и принципу действия эжекторы и инжекторы **одинаковы**.

1- сопло высоконапорного газа;



1- сопло  
высоконапорного  
газа;

2- сопло  
низконапорного газа;

3- камера смешения;

4- диффузор