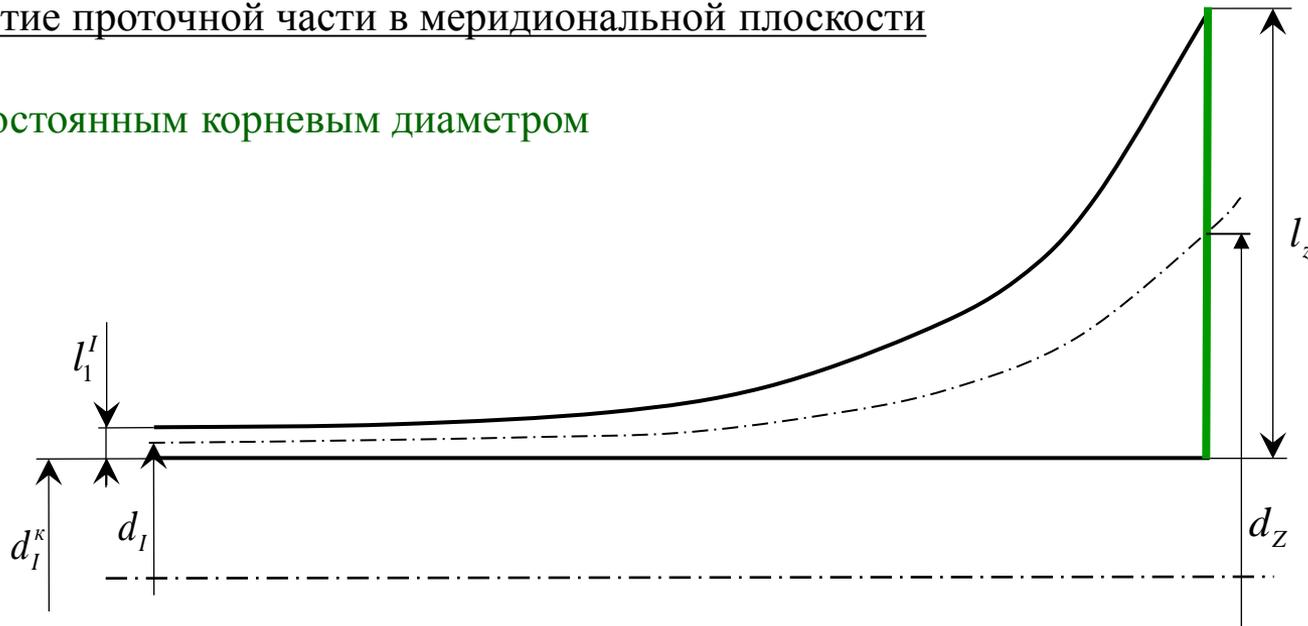


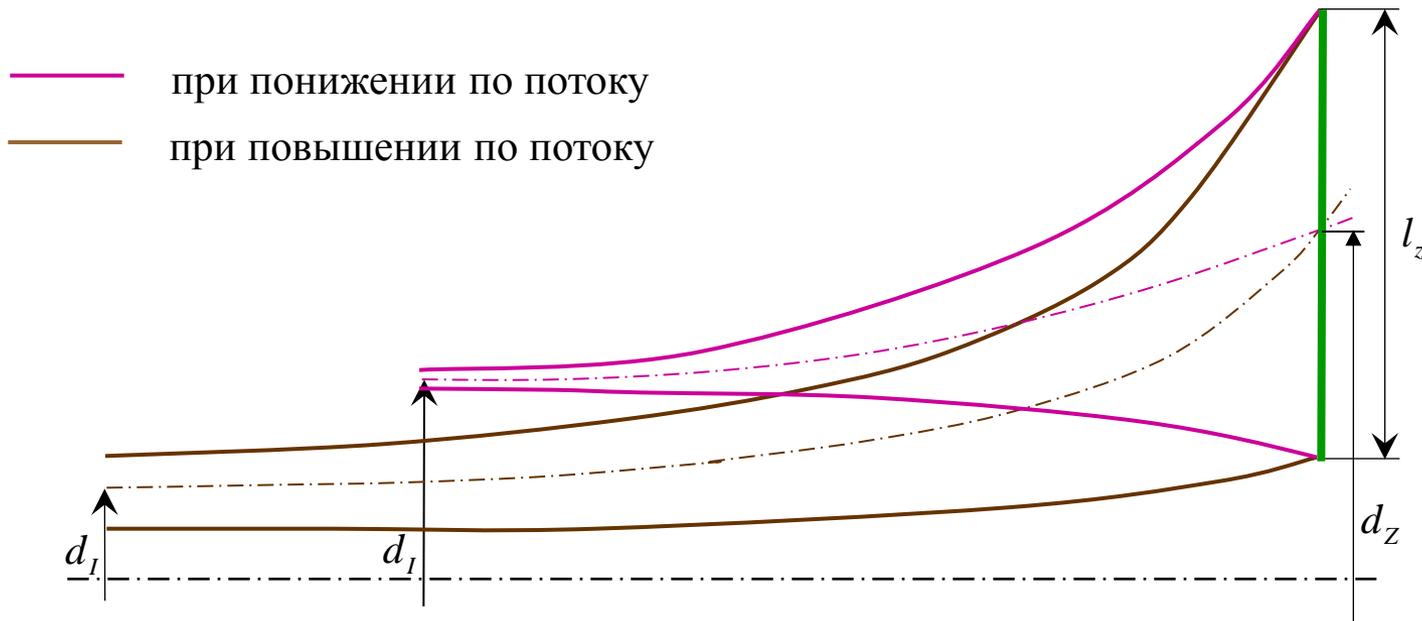
1. $d \uparrow \Rightarrow z \downarrow$
2. $d_j \uparrow \Rightarrow \bar{H}_0^j \uparrow$
3. $(d, \bar{H}_0) \uparrow \Rightarrow (l_1, l_2) \downarrow$

Раскрытие проточной части в меридиональной плоскости

А. С постоянным корневым диаметром



Б. С изменяющимся корневым диаметром

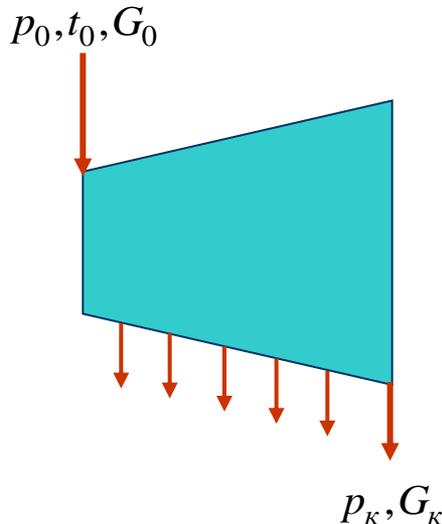


Предельная мощность турбины

А. Понятие (!) предельной мощности

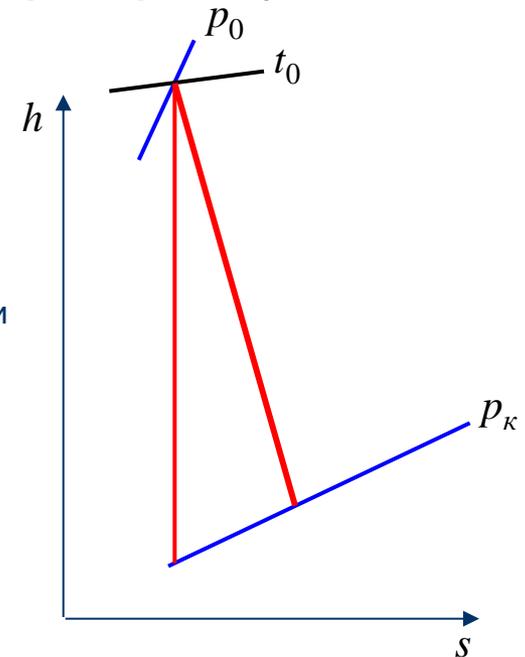
Предельная мощность турбины – это мощность, на которую может быть спроектирована **однопоточная** турбина при заданных **начальных и конечных параметрах** по условиям **прочности лопаток последней ступени**.

Б. Определение предельной мощности



$$N_i = mG_k H_0 \eta_{oi}, (*)$$

m - коэффициент, учитывающий выработку мощности потоками пара, направляемыми в регенеративные отборы



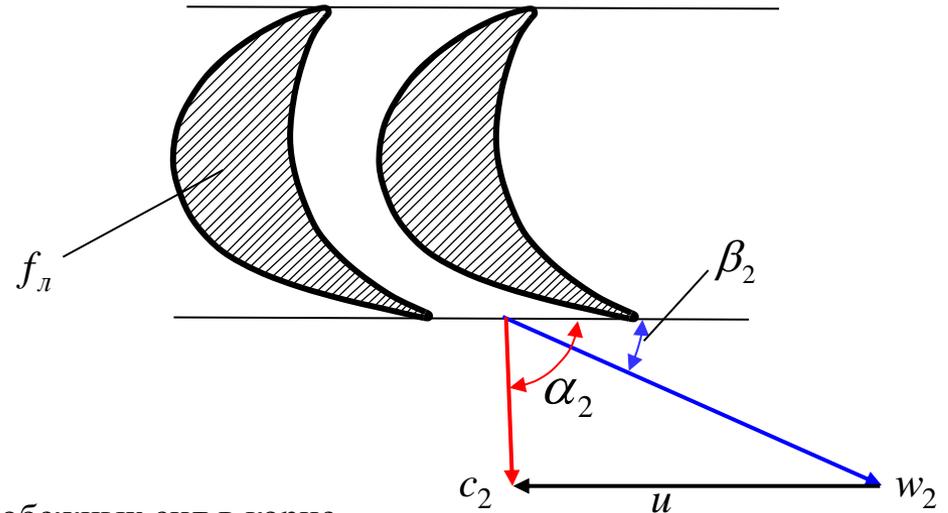
Выразим расход пара G_k по уравнению неразрывности, записанному для сечения за рабочими лопатками последней ступени:

$$G_k = \frac{F_2 c_2}{v_2} = \frac{\pi d_2 l_2 \sin \alpha_2 c_2}{v_2}$$

$$\sin \alpha_2 \approx 1$$

$$\pi d_2 l_2 = \Omega$$

$$G_k = \frac{\Omega c_2}{v_2} \cdot (**)$$



Определим напряжения растяжения от центробежных сил в корне лопатки постоянного сечения:

$$\sigma_p = \frac{C_l}{f_l} = 2\rho_m l_2 d \pi^2 n^2 = 2\rho_m \Omega \pi^2 n^2$$

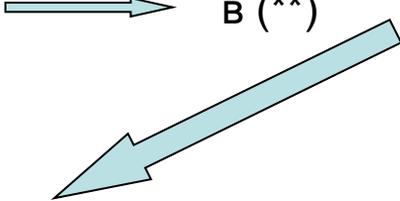
$$C_l = m_l a_u = \rho_m f_l l_2 \frac{u^2}{r} = \rho_m f_l l_2 \frac{2\pi^2 n^2 d^2}{d}$$

Для лопаток переменного сечения ($f_k > f_n$):

$$\sigma_p = \frac{2\rho_m \Omega \pi^2 n^2}{k_{разгр}}; (***)$$

$$\frac{1}{k_{разгр}} = 0,35 + 0,65 \frac{f_n}{f_k}; \quad \left(\frac{f_n}{f_k} \right)_{\min} = 0,1 \div 0,4 \Rightarrow k_{разгр}^{\max} = 2,3 \div 2,4.$$

Из (***):

$$\Omega = \frac{[\sigma] k_{разгр}}{2\pi \rho_{мат} n^2} \quad \longrightarrow \quad \text{В (**)} \quad G_{\kappa} = \frac{[\sigma] k_{разгр} c_2}{2\pi \rho_{мат} n^2 \nu_2}$$


В (*) получим:

$$N_i^{пред} = \frac{m}{2\pi} k_{разгр} H_0 \eta_{oi} \frac{[\sigma] c_2}{\rho_{мат} \omega^2 \nu_2}$$

В. Пути увеличения предельной мощности турбины

$$N_i^{пред} = \frac{m}{2\pi} k_{разгр} H_0 \eta_{oi} \frac{[\sigma] c_2}{\rho_{мат} n^2 v_2}$$

1. Уменьшение частоты вращения вдвое, т.е. переход к четырехполюсному генератору.

$$\frac{[N_i^{пред}]_{n=25c^{-1}}}{[N_i^{пред}]_{n=50c^{-1}}} = 4$$

Это приводит к увеличению радиальных размеров турбины и уменьшению осевых.

2. Увеличение потери с выходной скоростью. (!! Это приводит к ухудшению экономичности собственно турбины.)

Увеличение потери с выходной скоростью в полтора раза приводит:

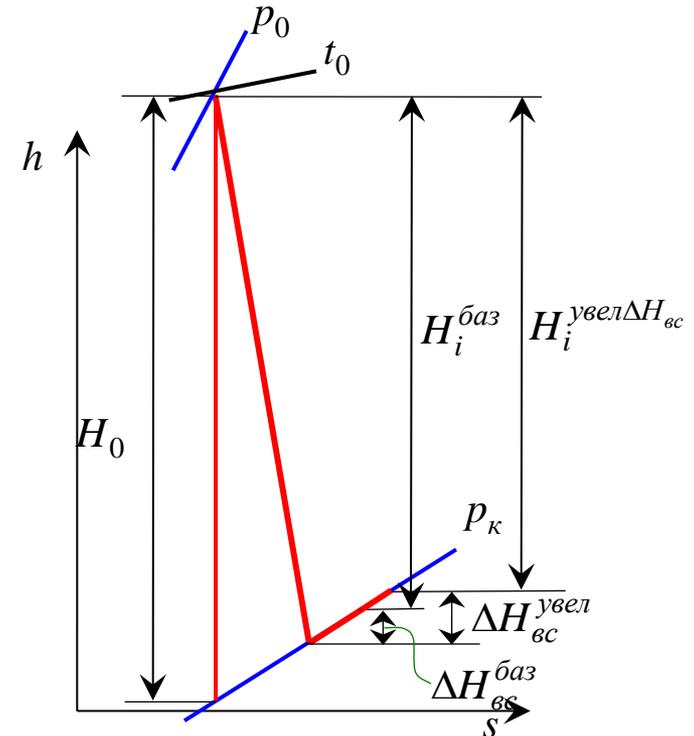
А.
$$\frac{[N_i^{пред}]_{\Delta H_{вс}=1,5\Delta H_{вс}^{баз}}}{[N_i^{пред}]_{\Delta H_{вс}^{баз}}} = 1,22$$

Б. - для турбин высоких параметров

$$\frac{\eta_{oi}^{баз} - \eta_{oi}^{увел\Delta H_{вс}}}{\eta_{oi}^{баз}} = \frac{\Delta\eta_{oi}}{\eta_{oi}^{баз}} = 0,7\%$$

- для турбин насыщенного пара

$$\frac{\Delta\eta_{oi}}{\eta_{oi}^{баз}} = 1,3\%$$



3. Увеличение конечного давления и, следовательно, увеличение удельного объема пара за последней лопаткой. (!!! Это приводит к ухудшению экономичности всей установки.)

Переход от $p_k = 3,5 \text{ МПа}$ к $p_k = 5 \text{ МПа}$ приводит:

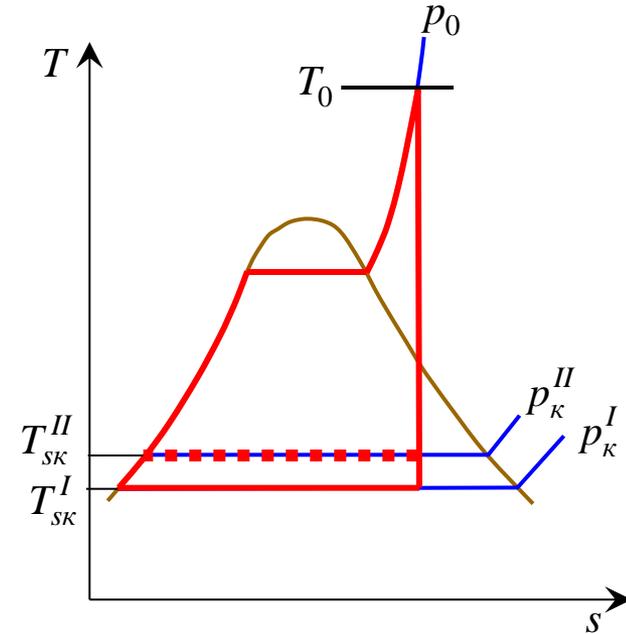
А.
$$\frac{[N_i^{nped}]_{p_k=5 \text{ МПа}}}{[N_i^{nped}]_{p_k=3,5 \text{ МПа}}} = 1,13$$

Б. - для турбин высоких параметров

$$\frac{\eta_{\text{э}}^{p_k=3,5} - \eta_{\text{э}}^{p_k=5}}{\eta_{\text{э}}^{p_k=3,5}} = \frac{\Delta \eta_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}^{p_k=3,5}} = 0,5\%$$

- для турбин насыщенного пара

$$\frac{\Delta \eta_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}^{p_k=3,5}} = 0,9\%$$



4. Применение материалов с меньшей плотностью

Сталь - $\rho_m = 7,78 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Титановый сплав - $\rho_m = 4,5 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$.

5. Применение материалов с высоким допустимым напряжением

Сталь - $[\sigma] = 450 \text{ МПа}$.

Титановый сплав - $[\sigma] = 360 \text{ МПа}$.

Выбор материала определяется $\frac{\rho_m}{[\sigma]}$,
чем меньше отношение, тем лучше.

Сталь - $\frac{\rho_m}{[\sigma]} = 17,3 \cdot 10^3 \text{ кг} / (\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$.

Титановый сплав - $\frac{\rho_m}{[\sigma]} = 12,6 \cdot 10^3 \text{ кг} / (\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$.

Предельные мощности турбин ($\omega = 50c^{-1}, p_k = 4кПа$)

| Наименование | Значение | | | | |
|---|----------|-------|-------|---------|--------|
| | | | | | |
| $p_0, МПа$ | 8,83 | 12,75 | 23,5 | 29,4 | 5,9 |
| $t_0, ^\circ C$ | 535 | 565 | 580 | 650 | С.н.п. |
| $t_{nn}, ^\circ C$ | | 565 | 565 | 565/565 | 260 |
| $(N_i^{пред})_{\Delta H_{ec}=23кДж/кг}$ | 76,0 | 92 | 104,0 | 118 | 52,4 |
| $(N_i^{пред})_{\Delta H_{ec}=36,5кДж/кг}$ | 96,0 | 116 | 131,0 | 148,6 | 66,0 |

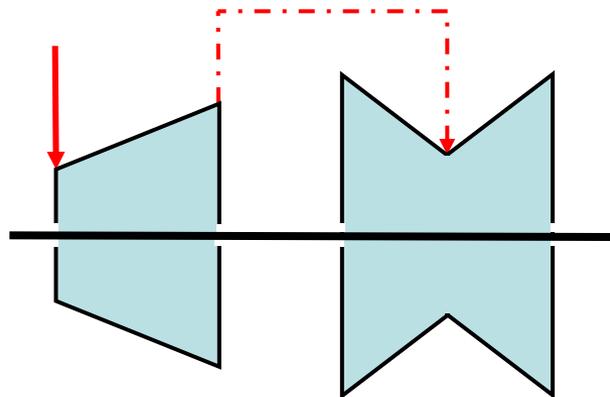
Г. Способы получения мощности турбины выше предельной.

1. Создание многопоточных турбин

$$p_0 = 8,8 \text{ МПа}; t_0 = 535^{\circ} \text{ C}; \Delta h_{\text{вс}} = 23 \text{ кДж / кг} \quad N_i^{\text{np}} = 76 \text{ МВт.}$$

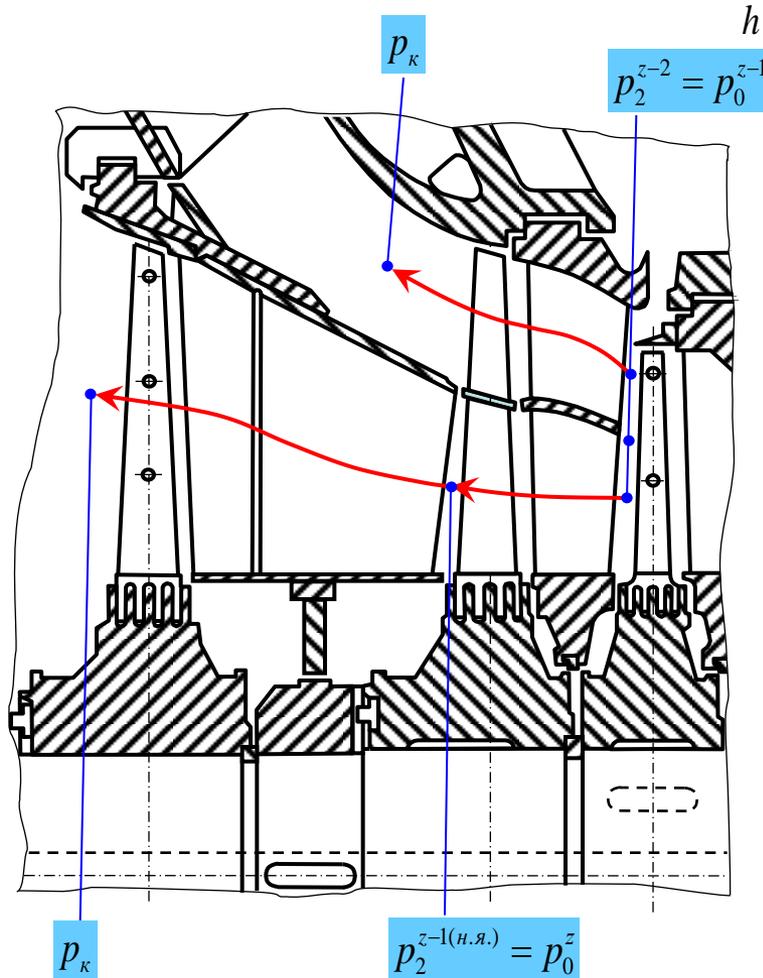
$$N_g = 100 \text{ МВт}$$

К-100-90

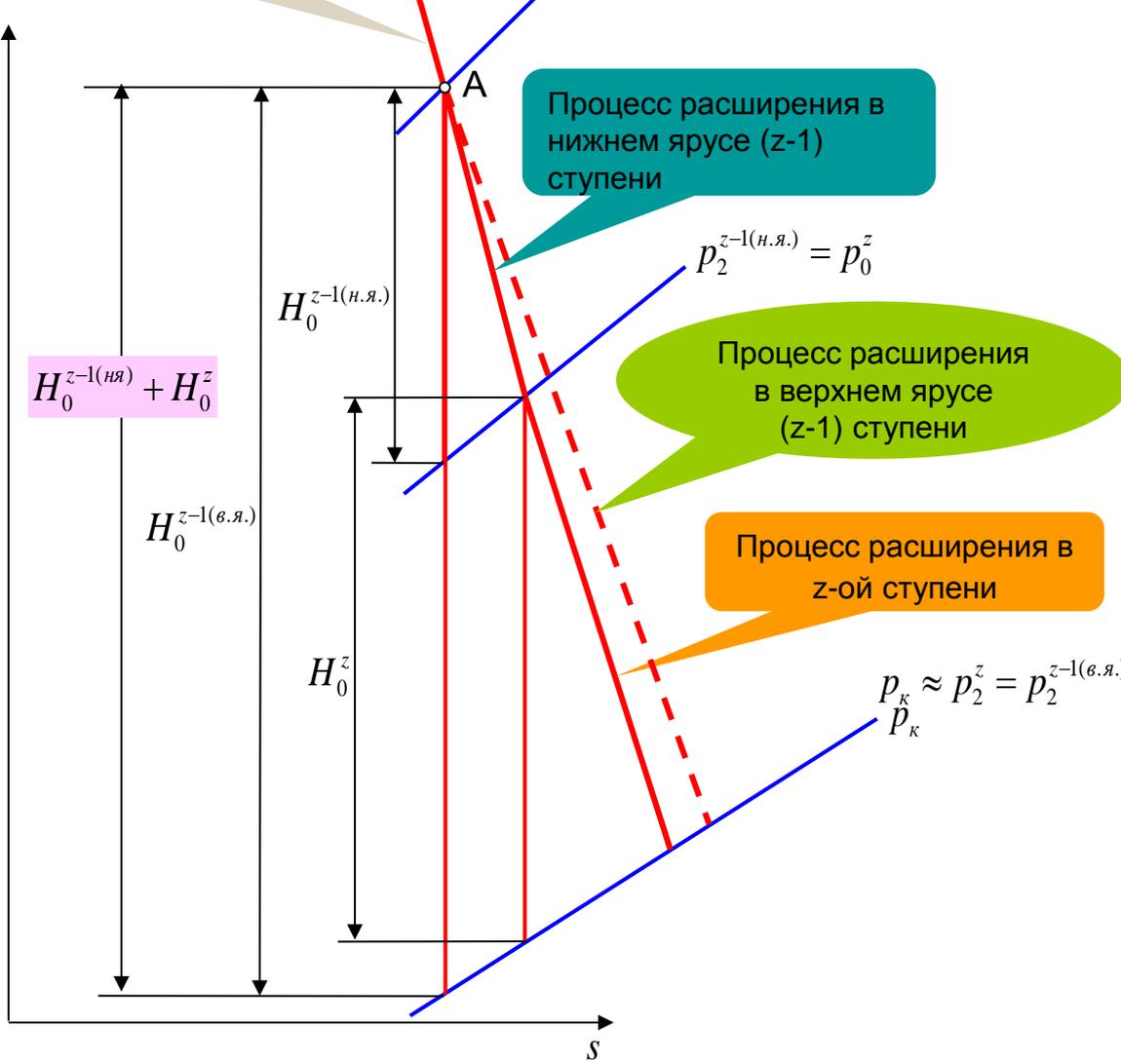


2. Полуплоский выхлоп

2.1. Ступень Баумана



Процесс расширения в (z-2) ступени



2.2.

