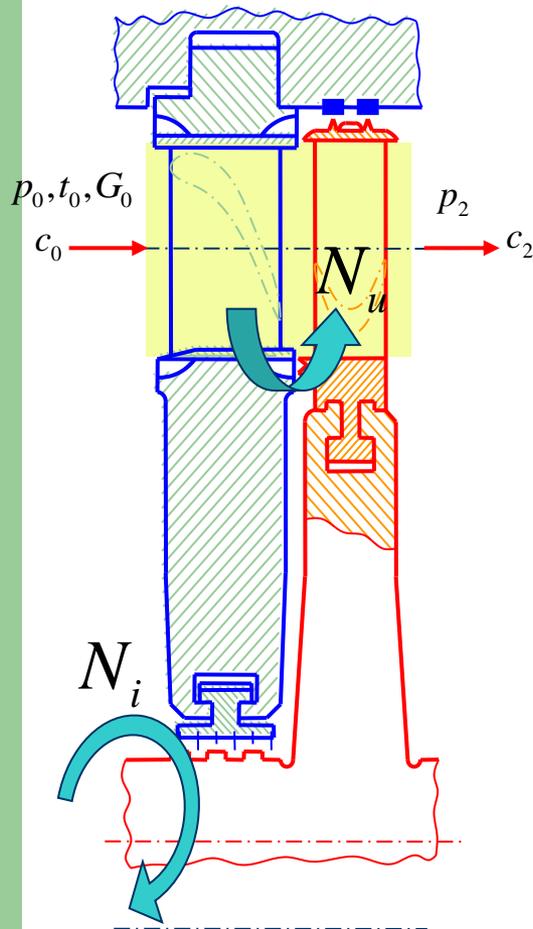


3.6. Относительный внутренний КПД ступени. Дополнительные потери в ступени



$$E_0 - \Delta H_c - \Delta H_p - \Delta H_{\text{вс}} = H_u \quad H_u G_0 = N_u$$

$$\eta_{\text{ол}} = \frac{N_u}{N_0} = \frac{G_0 H_u}{G_0 E_0} = 1 - \xi_c - \xi_p - \xi_{\text{вс}}$$

$$\Delta N_{\text{тр}}, \Delta N_{\text{ут}}, \Delta N_{\text{проф}}, \Delta N_{\text{вл}}$$

$$N_i = N_u - \Delta N_{\text{тр}} - \Delta N_{\text{ут}} - \Delta N_{\text{проф}} - \Delta N_{\text{вл}}$$

Относительный внутренний КПД ступени:

$$\eta_{oi} = \frac{N_i}{N_0} = \eta_{\text{ол}} - \sum \xi_j$$

$$\xi_j = \frac{\Delta N_j}{N_0}$$

$$\eta_{oi} = \eta_{\text{ол}} - \xi_{\text{тр}} - \xi_{\text{ут}} - \xi_{\text{проф}} - \xi_{\text{вл}}$$

3.6.1. Потери от трения диска и лопаточного бандажа

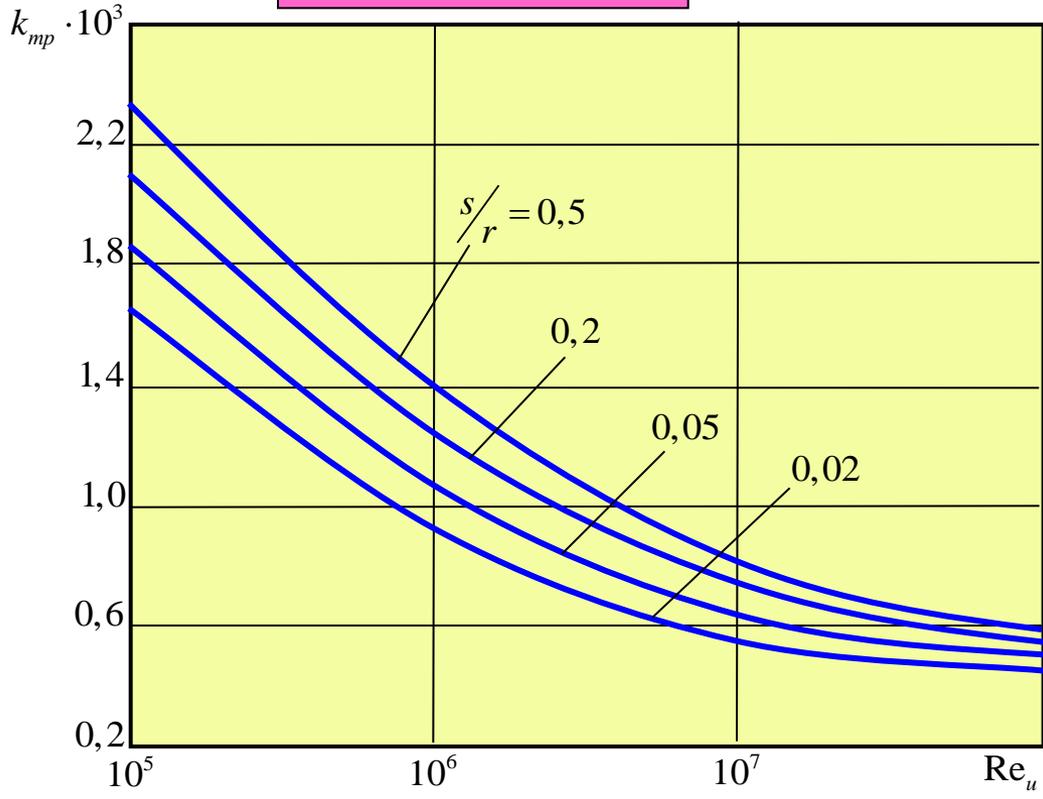
А. Физические причины появления потери от трения



1. Силы аэродинамического сопротивления вращению диска в паровой среде. На преодоление этих сил затрачивается мощность.
Аналогичная затрата мощности на преодоление сил трения между бандажем и корпусом.
2. Образуется циркуляционное течение в меридианальной плоскости.
На поддержание этого течения расходуется дополнительная энергия, отводимая от диска.

Б. Определение потерь от трения.

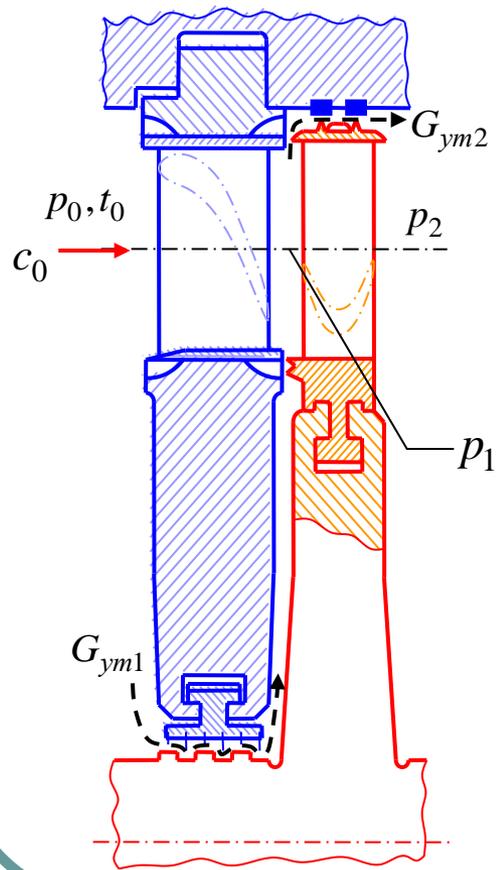
$$\xi_{mp} = \frac{k_{mp}}{\pi e l_1 \sin \alpha_1} \left(\frac{u}{c_\phi} \right)^3$$



Для ступеней паровых турбин обычно $k_{mp} = (0,45...0,8) \cdot 10^{-3}$.

3.6.2. Потери от утечки. Лабиринтовые уплотнения.

А. Физические причины появления потери от утечки

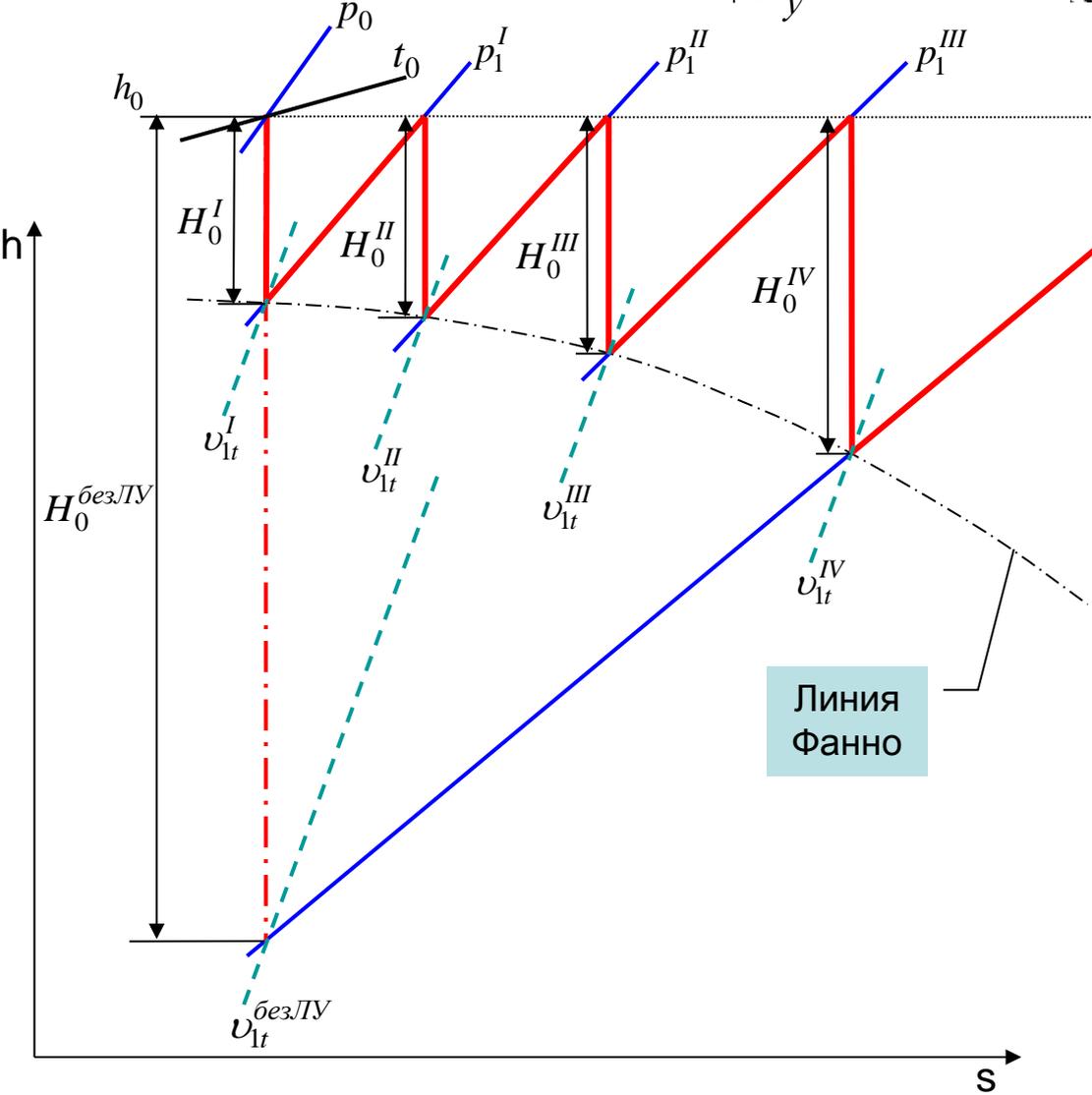
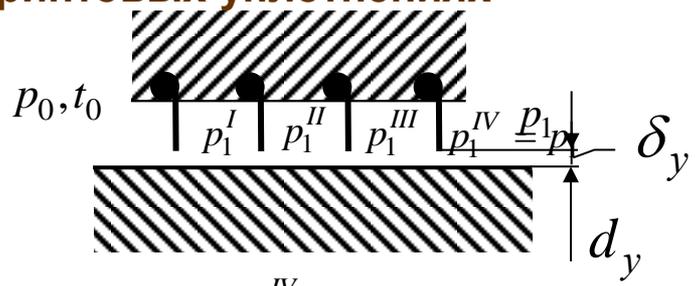
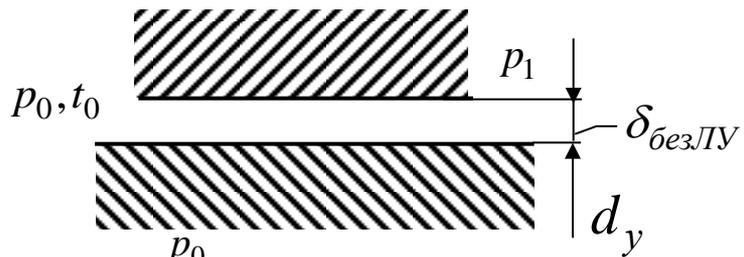


а) под действием перепада давления p_0-p_1 через диафрагменное уплотнение проходит расход G_{ym1}

б) под действием перепада давления p_0-p_1 через надбандажное уплотнение проходит расход G_{ym2}

Для уменьшения «вредных» протечек пара через зазоры в турбинах используются **лабиринтовые уплотнения.**

Теоретический процесс расширения в лабиринтовых уплотнениях



1. $\delta_y < \delta_{\text{безЛТУ}} \implies F_j = \pi d_y \delta_j \implies F_y < F_{\text{безЛТУ}}$

Т.о., существует возможность уменьшения площади проходного сечения зазора между диафрагмой и валом.

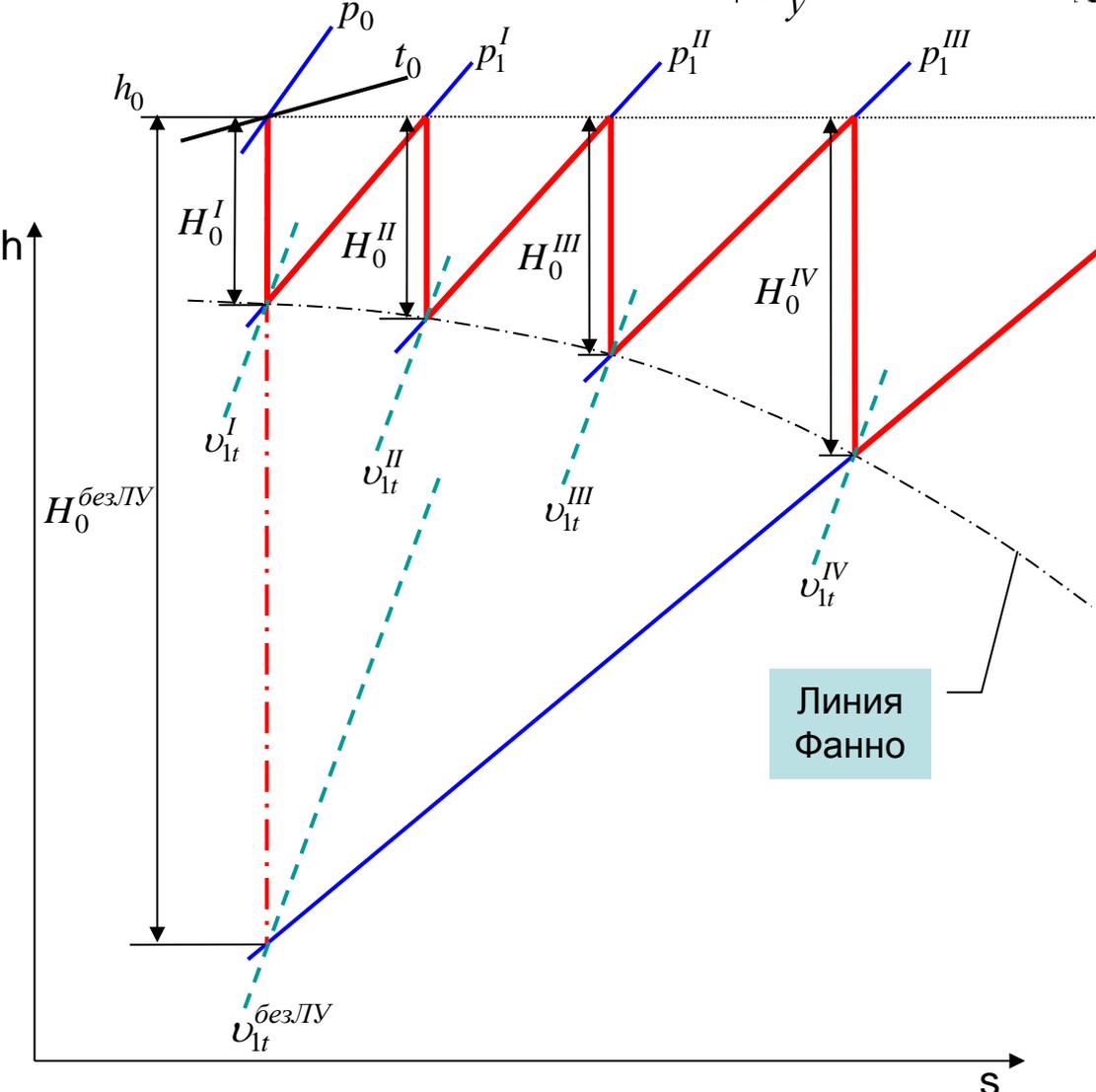
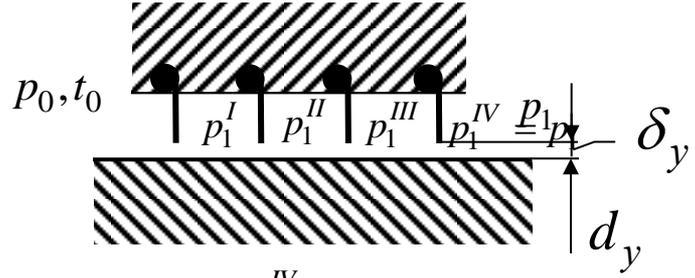
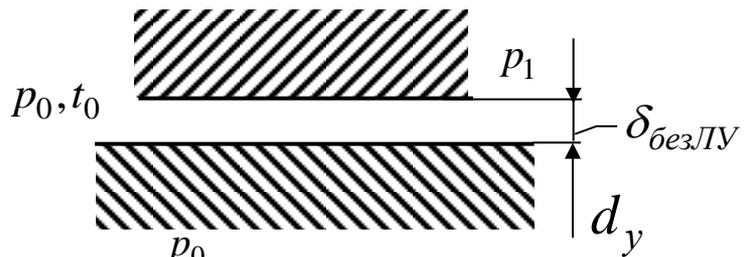
2. $G_{\text{безЛТУ}} = \frac{\mu_{\text{отв}} F_{\text{безЛТУ}} \sqrt{2H_0^{\text{безЛТУ}}}}{v_{1t}^{\text{безЛТУ}}}$

$G_y = \frac{\mu_{\text{отв}} F_y \sqrt{2H_0^j}}{v_{1t}^j}$

$H_0^{\text{IV}} < H_0^{\text{безЛТУ}}; v_{1t}^{\text{IV}} > v_{1t}^{\text{безЛТУ}}$

следовательно $G_y < G_{\text{безЛТУ}}$

Теоретический процесс расширения в лабиринтовых уплотнениях



1. $\delta_y < \delta_{\text{безЛП}} \xrightarrow{F_j = \pi d_y \delta_j} F_y < F_{\text{безЛП}}$

Т.о., существует возможность уменьшения площади проходного сечения зазора между диафрагмой и валом.

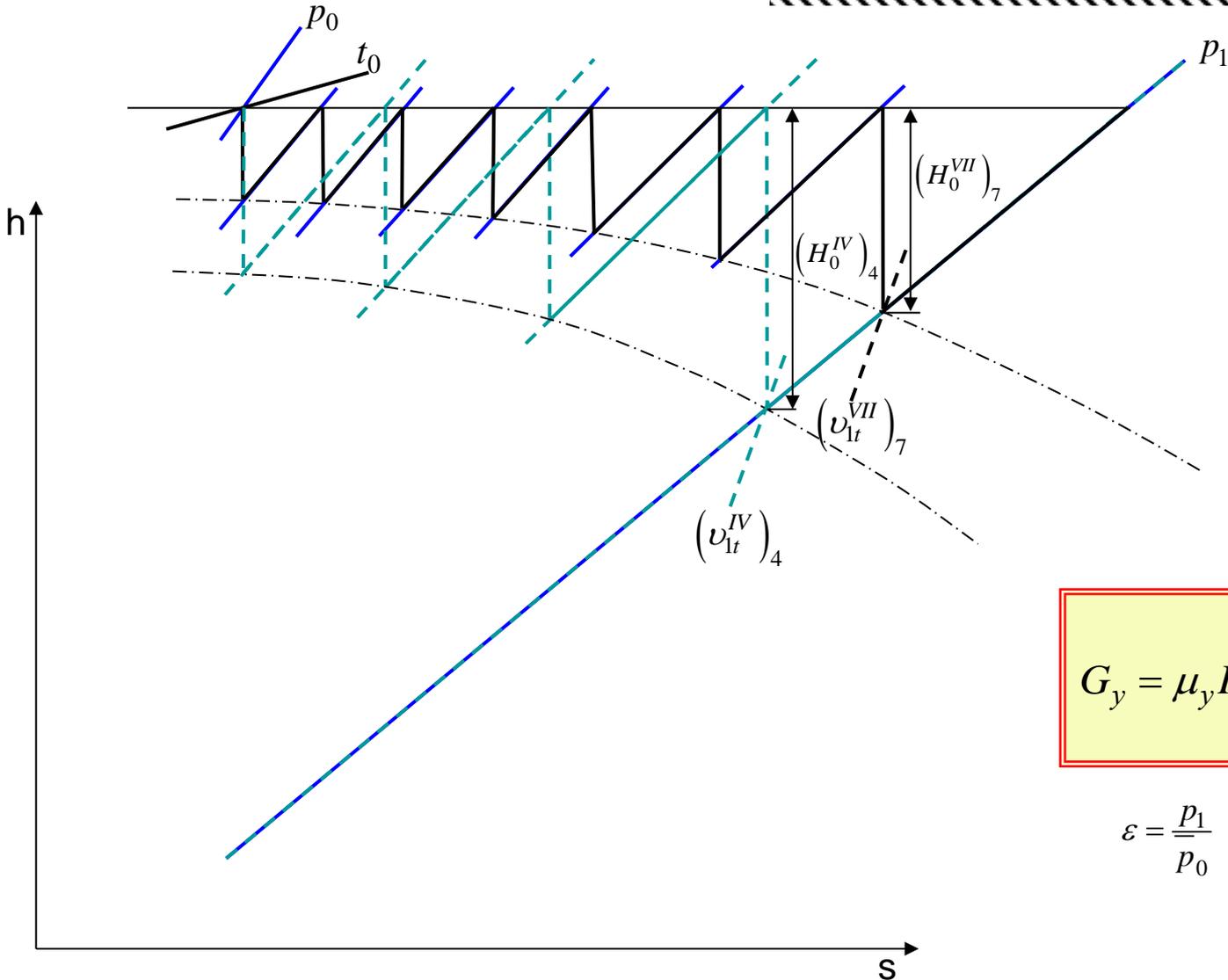
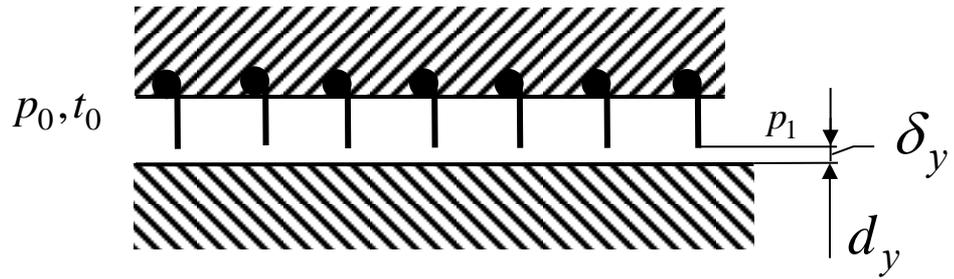
2. $G_{\text{безЛП}} = \frac{\mu_{\text{отв}} F_{\text{безЛП}} \sqrt{2H_0^{\text{безЛП}}}}{v_{1t}^{\text{безЛП}}}$

$G_y = \frac{\mu_{\text{отв}} F_y \sqrt{2H_0^j}}{v_{1t}^j}$

$H_0^{\text{IV}} < H_0^{\text{безЛП}}; v_{1t}^{\text{IV}} > v_{1t}^{\text{безЛП}}$

следовательно $G_y < G_{\text{безЛП}}$

3.



$z \uparrow \Rightarrow G_y \downarrow,$

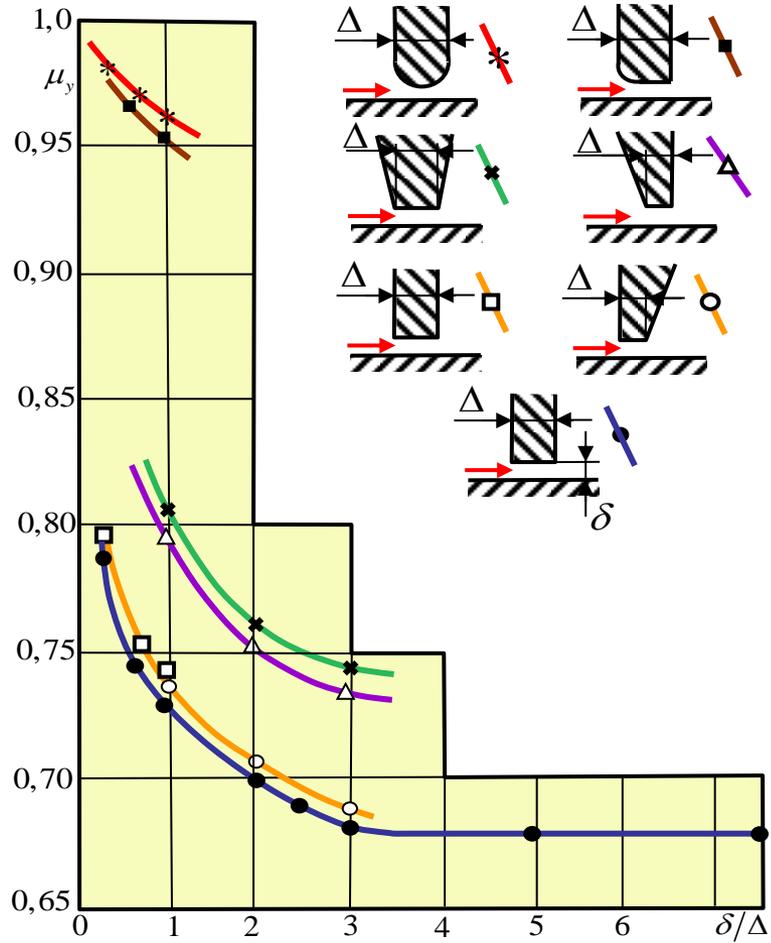
т.к. $(H_0^{VII})_7 > (H_0^{IV})_4$

и $(v_{lr}^{VII})_7 > (v_{lr}^{IV})_4$

$$G_y = \mu_y F_y \sqrt{\frac{p_0}{v_0}} \sqrt{\frac{1 - \varepsilon^2}{z}}$$

$$\varepsilon = \frac{p_1}{p_0}$$

4. Коэффициент расхода для уплотнений.

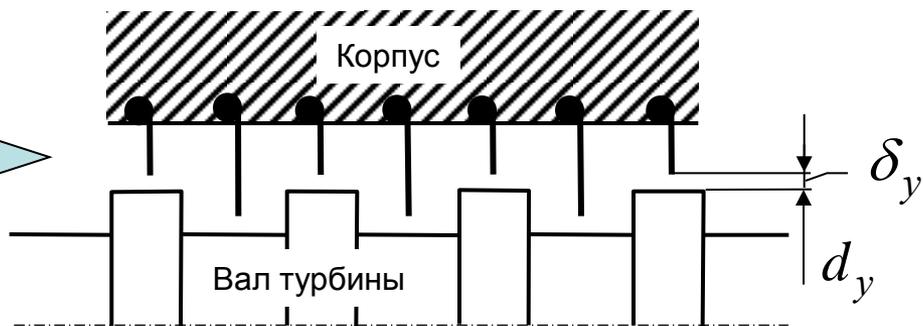


Уточнение:

$$G_y = \mu_y F_y \sqrt{\frac{p_0}{\nu_0}} \sqrt{\frac{1 - \varepsilon^2}{z}}$$



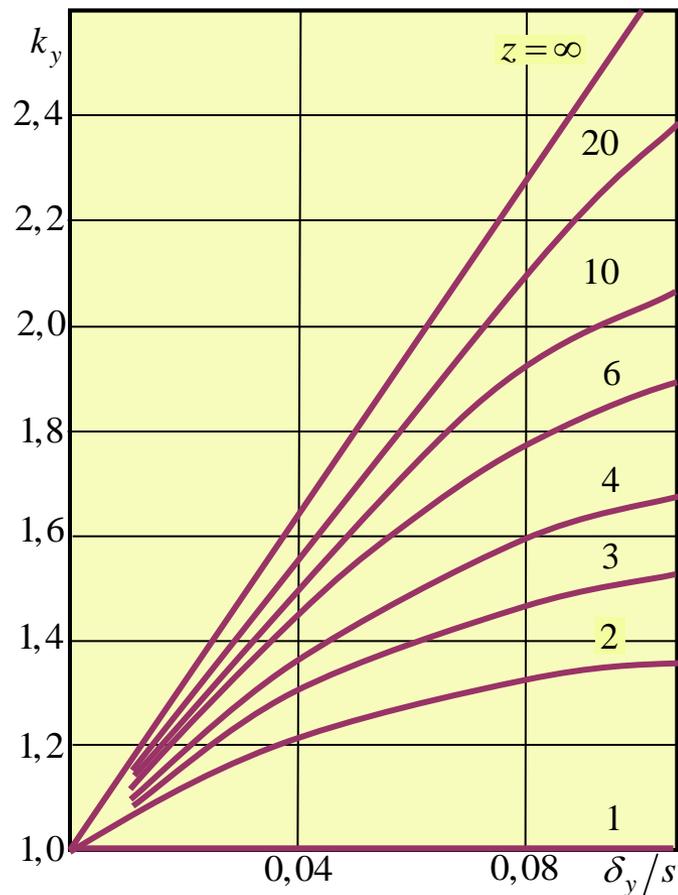
Ступенчатое уплотнение



Прямоточное уплотнение



$$G_y = k_y \mu_y F_y \sqrt{\frac{p_0}{\nu_0}} \sqrt{\frac{1 - \varepsilon^2}{z}}$$



Б. Определение потерь от утечки

I. Потери от утечки через диафрагменное уплотнение (для ступеней активного типа)

$$\xi_y^\delta = \frac{\Delta N_y^\delta}{N_0} = \frac{G_y^\delta \bar{H}_0 \eta_{ол}}{G H_0} = \frac{G_y^\delta}{G} \eta_{ол}$$

$$\xi_y^\delta = \frac{k_y \mu_y F_y}{\mu_c F_1 \sqrt{z}} \eta_{ол}$$

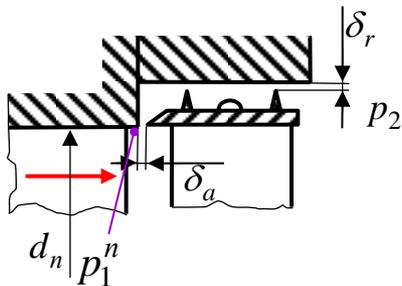
Зачем в ступенях активного типа делают **диафрагму**?

II. Потери от утечки через зазоры над рабочими лопатками

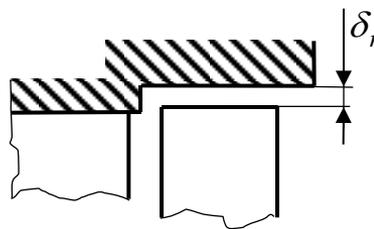
$$\xi_y^\delta = \frac{G_y^\delta}{G} \eta_{ол}$$

$$\xi_y^\delta = \frac{\pi d_n \delta_\delta}{F_1} \sqrt{\rho_{ср} + 1,8 \frac{l}{d}} \eta_{ол}$$

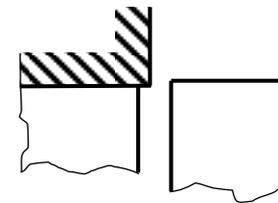
С бандажом



Без бандаж, прикрытые статором



Без бандаж, неприкрытые статором



$$\delta_\delta = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(\mu_a \delta_a)^2} + \frac{z}{(\mu_r \delta_r)^2}}}$$

$$\delta_\delta = 0,75 \delta_r$$

$$\delta_\delta = 0,75 t_n \sin \beta_{1n}^{СК}$$

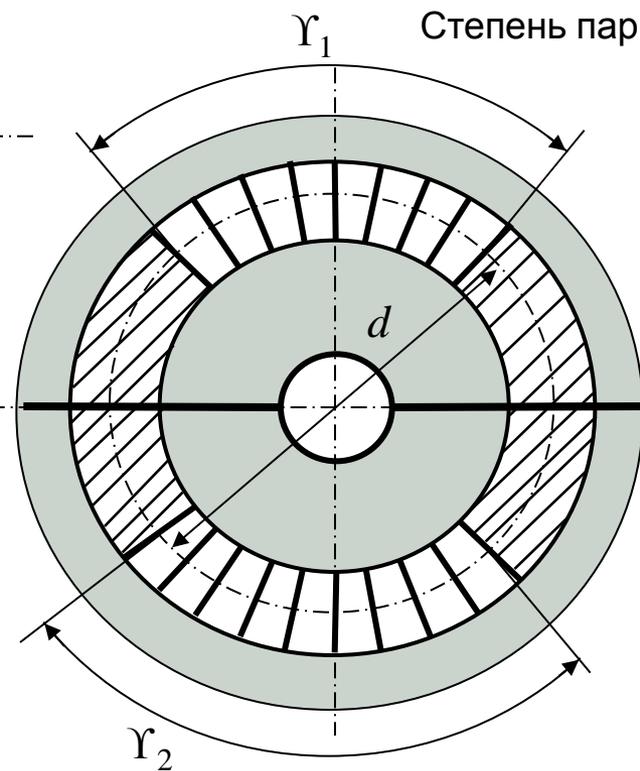
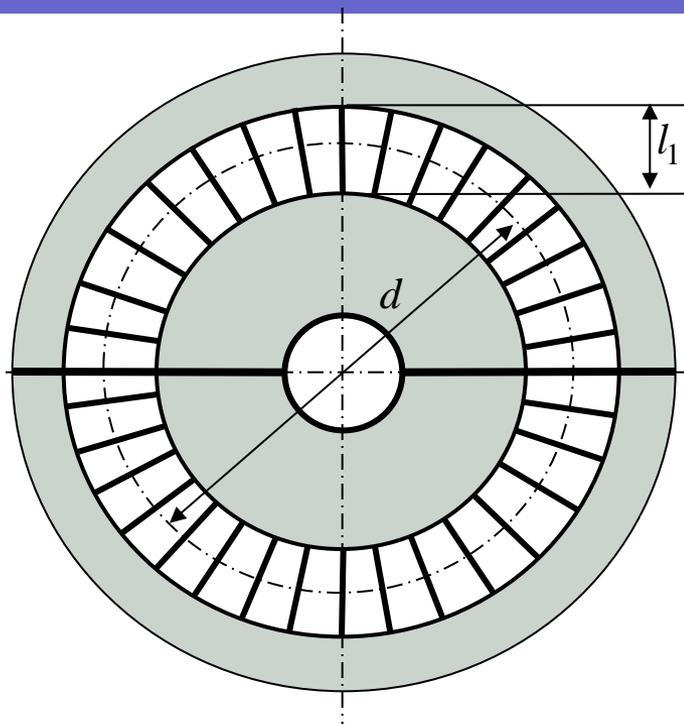
$$\mu_a = 0,5$$

III. В ступенях барабанной конструкции (ступени реактивного типа с $\rho=0,5$) потеря от утечки через зазор между сопловой лопаткой и барабаном определяется также, как и потери от утечки через зазоры над рабочими лопатками с бандажом, т.к. конструктивно они одинаковы.

3.6.3. Потери от парциального подвода пара

А. Понятие парциальности:

$$l_1 = \frac{Gv_{1t}}{\pi d c_{1t} \mu_c \sin \alpha_1} = \frac{F_1}{\pi d \sin \alpha_1}$$



Степень парциальности:

$$e = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\pi d}$$

$$l_1 = \frac{F_1}{e \pi d \sin \alpha_1}$$

$$l_2 = \frac{F_2}{e \pi d \sin \beta_2}$$

Степень парциальности:

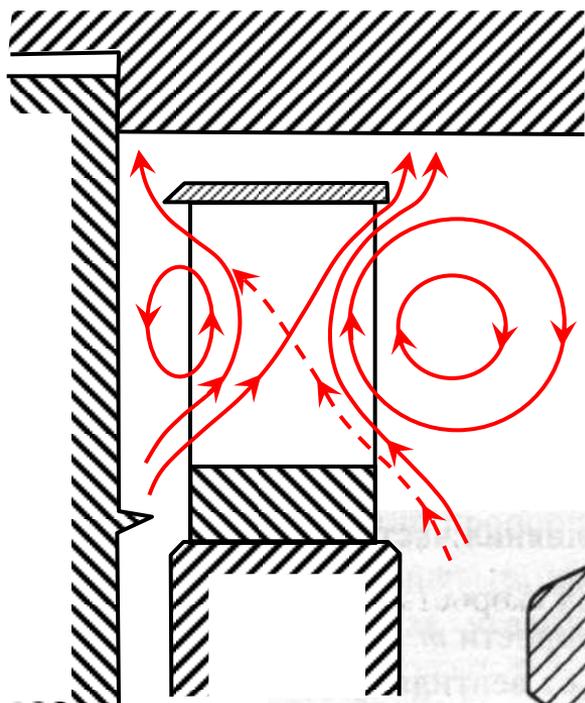
отношение дуги окружности, занятой соплами, ко всей длине окружности.

Б. Птери от паряльного подвода пара

$$\xi_{\text{парц}} = \xi_{\text{вент}} + \xi_{\text{сегм}}$$

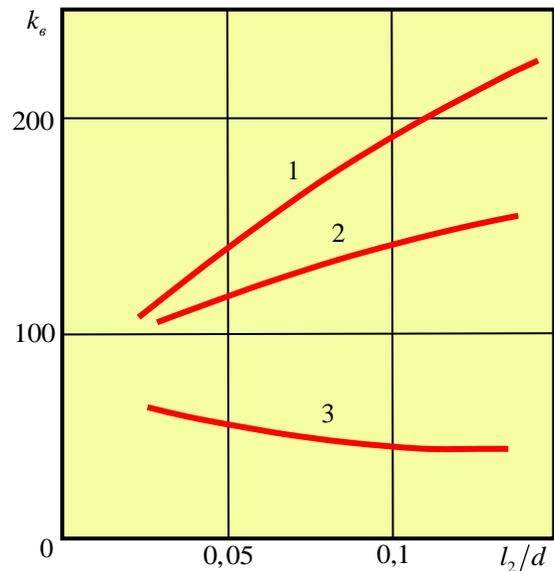
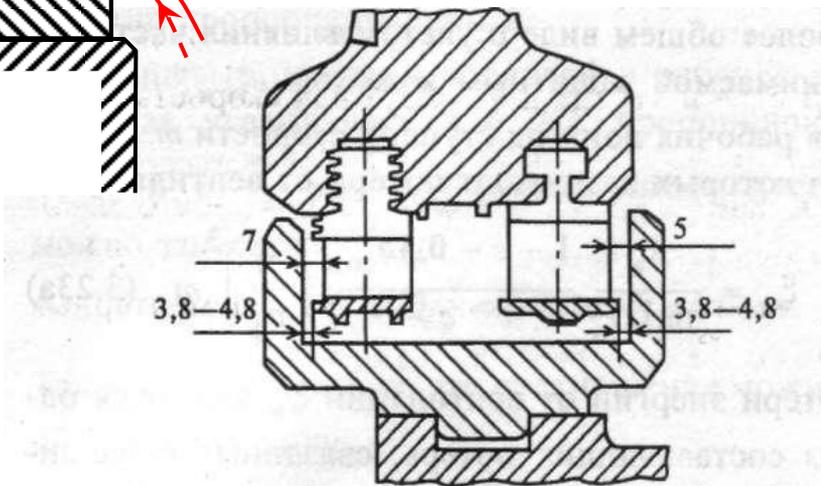
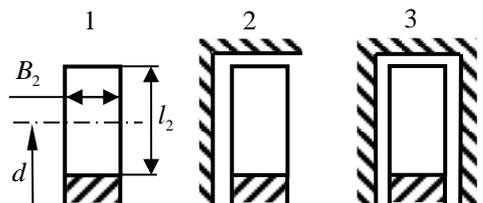
Б1. Потеря от вентиляции

Возникают на дуге окружности, где нет сопел.



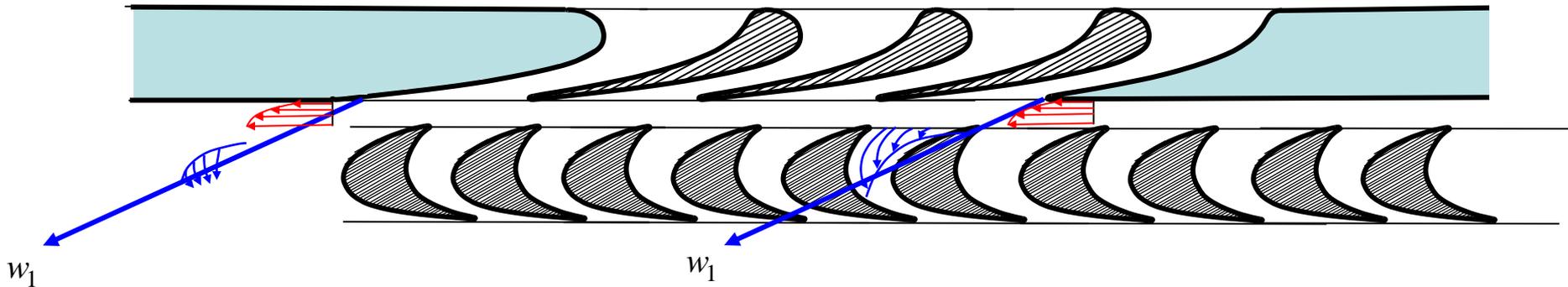
$$\xi_{\text{вент}} = \frac{k_v}{\sin \alpha_1} \frac{1 - e - 0,5e_{\text{КОЖ}}}{e} \left(\frac{u}{c_\phi} \right)^3 m$$

$e_{\text{КОЖ}}$ – часть дуги окружности, занимаемая защитным кожухом;
 m – число венцов рабочих лопаток



Б2. Сегментная составляющая потери от парциальности

Возникает на концах дуг подвода пара



Физические причины появления сегментных потерь

- На *правом* конце дуги подвода пара:
 - 1) затраты энергии на выталкивание (выколачивание) застойного пара;
 - 2) затраты энергии на эжекцию (подсос) пара из зазора.
- На *левом* конце дуги подвода пара:
 - 1) затраты энергии на подсосывание застойного пара из зазора за счет инерционного воздействия оставшегося в канале активного пара;
 - 2) потери располагаемой энергии из-за утечки активного пара в зазор между диафрагмой и РЛ вследствие прилипания струи пара крайнего соплового канала к стенке диафрагмы.

Определение сегментных потерь

$$\xi_{\text{сегм}} = 0,25 \frac{B_2 l_2}{F_1} \frac{u}{c_\phi} \eta_{ол} i$$

i - число пар концов сопловых сегментов