

$$x_\phi^{\text{opt}} = \frac{\varphi \cos \alpha_1}{2\sqrt{1-\rho}}$$

$$\frac{(x_\phi^{\text{opt}})_{\rho=0,5}}{(x_\phi^{\text{opt}})_{\rho=0}} = \sqrt{2}$$

3.2.2. Оптимальный располагаемый теплоперепад ступени

Задано: диаметр ступени и угловая скорость вращения ротора.

Определить: какой теплоперепад сработает ступень с наивысшим КПД.

$$\overline{H}_0 = \frac{c_\phi^2}{2}; \quad x_\phi = \frac{u}{c_\phi}; \quad \overline{H}_0 = \frac{u^2}{2x_\phi^2}$$

$$\overline{H}_0^{opt} = \frac{u^2}{2(x_\phi^{opt})^2} \quad x_\phi^{opt} = \frac{\varphi \cos \alpha_1}{2\sqrt{1-\rho}} \quad u = \pi d n$$

$$\overline{H}_0^{opt} = \frac{2\pi^2 d^2 n^2 (1-\rho)}{\varphi^2 \cos^2 \alpha_1}$$

Частные случаи:

$$\text{а) } \frac{\left(\overline{H}_0^{opt}\right)_{\rho=0}}{\left(\overline{H}_0^{opt}\right)_{\rho=0,5}} = 2$$

$$\text{б) } \rho = 0; \quad n = 50 c^{-1}; \quad \alpha_1 = 13^\circ; \quad \varphi = 0,97$$
$$\left(\overline{H}_0^{opt}\right)_{\rho=0} = 52,5 d^2$$

$$\text{в) } \frac{\left(\overline{H}_0^{opt}\right)_{n=50}}{\left(\overline{H}_0^{opt}\right)_{n=25}} = 4$$

3.4. Определение геометрических размеров турбинных ступеней

При расчете ступени турбины решаются **две** взаимосвязанные задачи:

1. Определение основных размеров ступени:

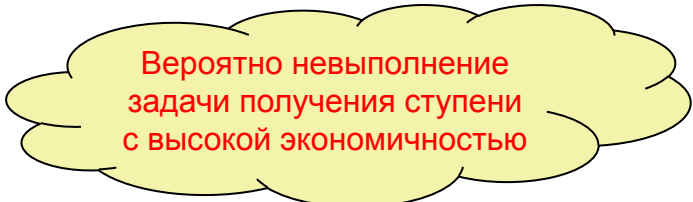
- высоты сопловых и рабочих лопаток;
- углы выхода потока ;
- хорды профилей;
- значение зазоров и перекрыш в ступени;
- выбор типа профиля применяемых лопаток и их углов установки;
- число лопаток;
- и др.

2. Определение относительных КПД ступени $\eta_{ол}$ и η_{oi} , ее мощности и усилий, действующих на РЛ.

Решение этих задач должно быть подчинено требованиям **высокой экономичности** и **надежности** с учетом затрат на изготовление.

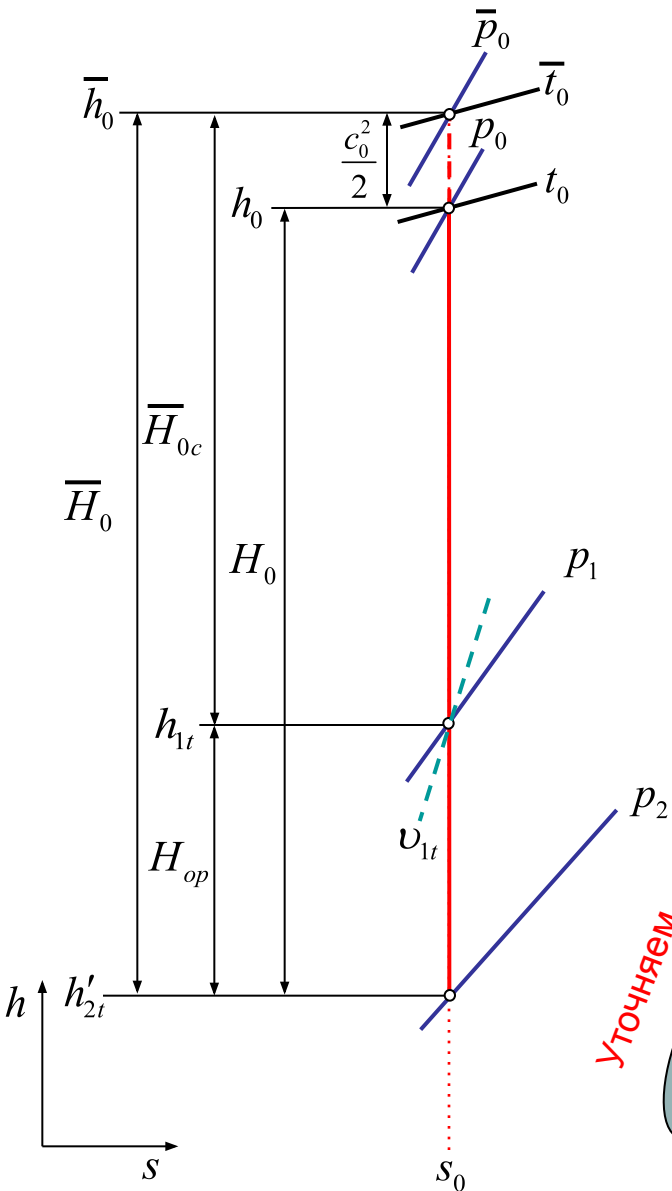
Исходные данные для расчета ступени

- расход пара через ступень G (кг/с);
- начальные давление и температура (статические) p_0, t_0 ;
- скорость пара на входе в ступень (в абсолютном движении) c_0 ;
- степень реактивности ступени ρ_{cp} ;
- угол выхода потока из сопловой решетки α_1 ;
- частота вращения n ;
- возможны варианты:
 - А) средний диаметр ступени d_{cp} ;
 - Б) располагаемый теплоперепад ступени H_0 ;
 - В) средний диаметр и располагаемый теплоперепад d_{cp} и H_0



Вероятно невыполнение
задачи получения ступени
с высокой экономичностью

Экономичность ступени: $\frac{u}{c_\phi} = x_\phi^{opt} = \frac{\varphi \cos \alpha_1}{2\sqrt{1-\rho}}$



I. Задан d_{cp}

$$\bar{H}_0 = \bar{H}_0^{opt} = \frac{\pi^2 d_{cp}^2 n^2}{2(x_\phi^{opt})^2};$$

$$H_0 = \bar{H}_0 - \frac{c_0^2}{2}.$$

$$H_{0p} = \rho \bar{H}_0$$

$$\varepsilon_1 = \frac{p_1}{p_0} \longrightarrow \begin{cases} \text{Если } \varepsilon_1 < \varepsilon_* \rightarrow c_{1t} > c_{1*} & \text{(есть расширение в} \\ & \text{косом срезе)} \\ \text{Если } \varepsilon_1 > \varepsilon_* \rightarrow c_{1t} < c_{1*} & \end{cases}$$

$$c_{1t} = 44,7\sqrt{H_{0c}} = 44,7\sqrt{h_0 - h_{1t}} = 44,7\sqrt{(h_0 - h_{1t}) + \frac{c_0^2}{2000}}$$

Принимаем μ_c .

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

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

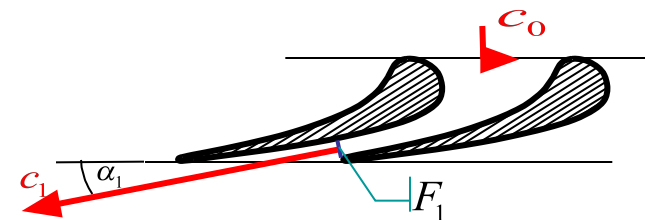
Принимаем b_1 :

$$\mu_{en} = f\left(\frac{b_1}{l_1}, \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1}, k_{Re}, \Delta\mu\right)$$

II. Задан H_0

$$\bar{H}_0 = H_0 + \frac{c_0^2}{2};$$

$$d_{cp} = d_{cp}^{opt} = \frac{x_\phi^{opt} \sqrt{2\bar{H}_0}}{\pi n}.$$



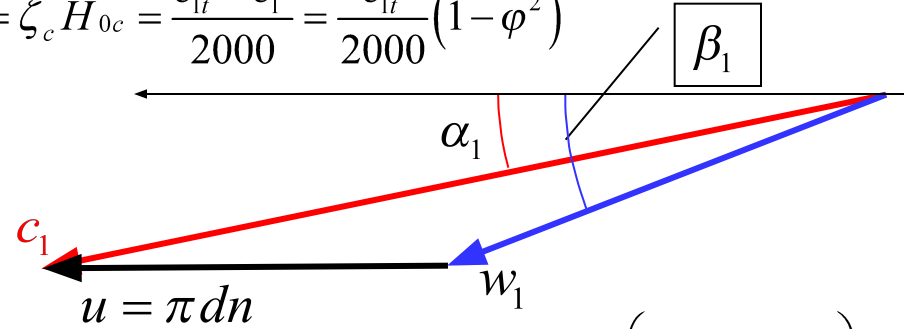
По обобщенным характеристикам решеток (или по атласу профилей)

$$\zeta_c(\varphi) = f\left(\frac{b_1}{l_1}, \Delta\alpha = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_0^{ck}), k_{M_1}, k_{\alpha_1}, k_{Re}\right) \quad \leftarrow \text{По обобщенным характеристикам решеток (или по атласу профилей)}$$

$$\zeta_c = 1 - \varphi^2$$

$$c_1 = \varphi c_{1t}$$

$$\Delta H_c = \zeta_c \bar{H}_{0c} = \frac{c_{1t}^2 - c_1^2}{2000} = \frac{c_{1t}^2}{2000} (1 - \varphi^2)$$

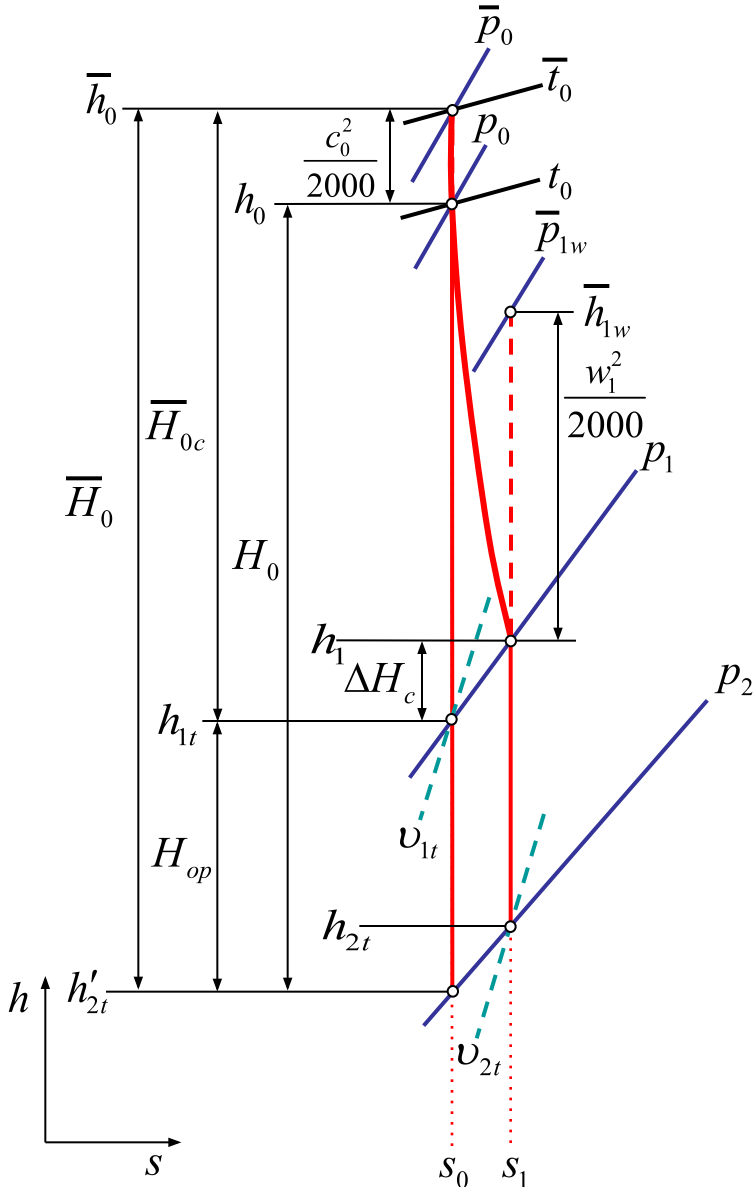
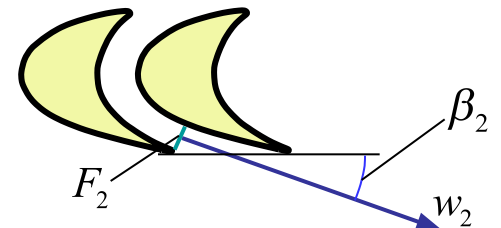


$$w_1^2 = c_1^2 + u^2 - 2uc_1 \cos \alpha_1; \quad \beta_1 = \arctg \left(\frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 - \frac{u}{c_1}} \right)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{p_2}{p_{1w}} \Rightarrow \begin{cases} \text{Если } \varepsilon_2 < \varepsilon_* \rightarrow w_{2t} > w_{2*} \text{ (есть расширение в косом срезе)} \\ \text{Если } \varepsilon_2 > \varepsilon_* \rightarrow w_{2t} < w_{2*} \end{cases}$$

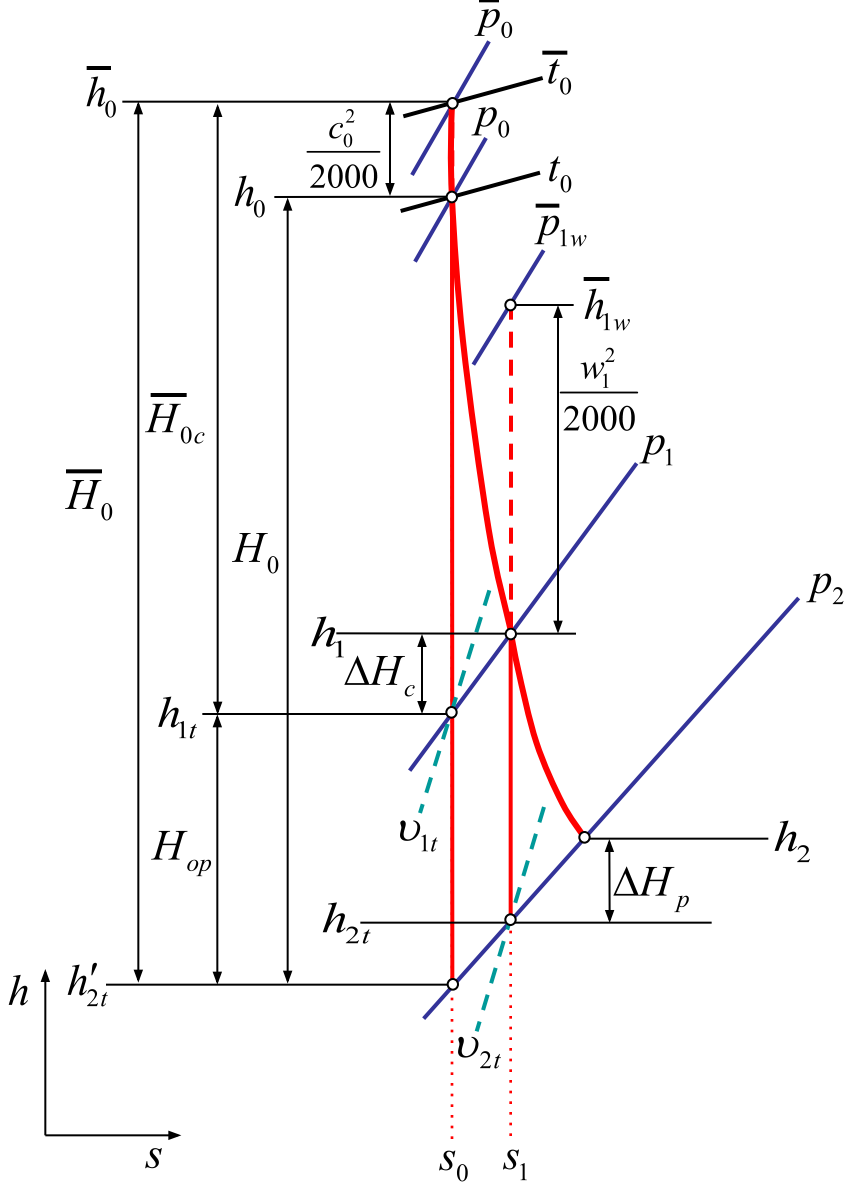
$$w_{2t} = 44,7 \sqrt{\bar{h}_{1w} - h_{2t}} = 44,7 \sqrt{(h_1 - h_{2t}) + \frac{w_1^2}{2000}}$$

$$F_2 = \frac{Gv_{2t}}{w_{2t}\mu_p} = \pi d_{cp} l_2 \sin \beta_2$$



A) $\beta_2 = \beta_1 - (0 \div 21)$

$$l_2 = \frac{F_2}{\pi d_{cp} \sin \beta_2} = \frac{Gv_{2t}}{\pi d_{cp} w_{2t} \mu_p \sin \beta_2}$$



B) $l_2 = l_1 + \Delta_{\kappa} + \Delta_n$ - для цилиндрического бандажа;

$l_2 = l_1 + \Delta_{\kappa} + \Delta_n + B_2 \operatorname{tg} \gamma$ - для конического бандажа.

$$\sin \beta_2 = \frac{Gv_{2t}}{\pi d_{cp} w_{2t} \mu_p l_2}$$

Принимаем b_2 : **а) уточняем μ_p**

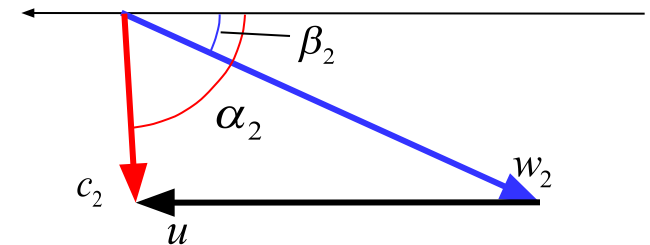
По обобщенным характеристикам решеток
(или по атласу профилей)

$$\zeta_p(\psi) = f\left(\frac{b_2}{l_2}, \Delta\beta = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_1), k_{M_2}, k_{\beta_2}, k_{Re}\right)$$

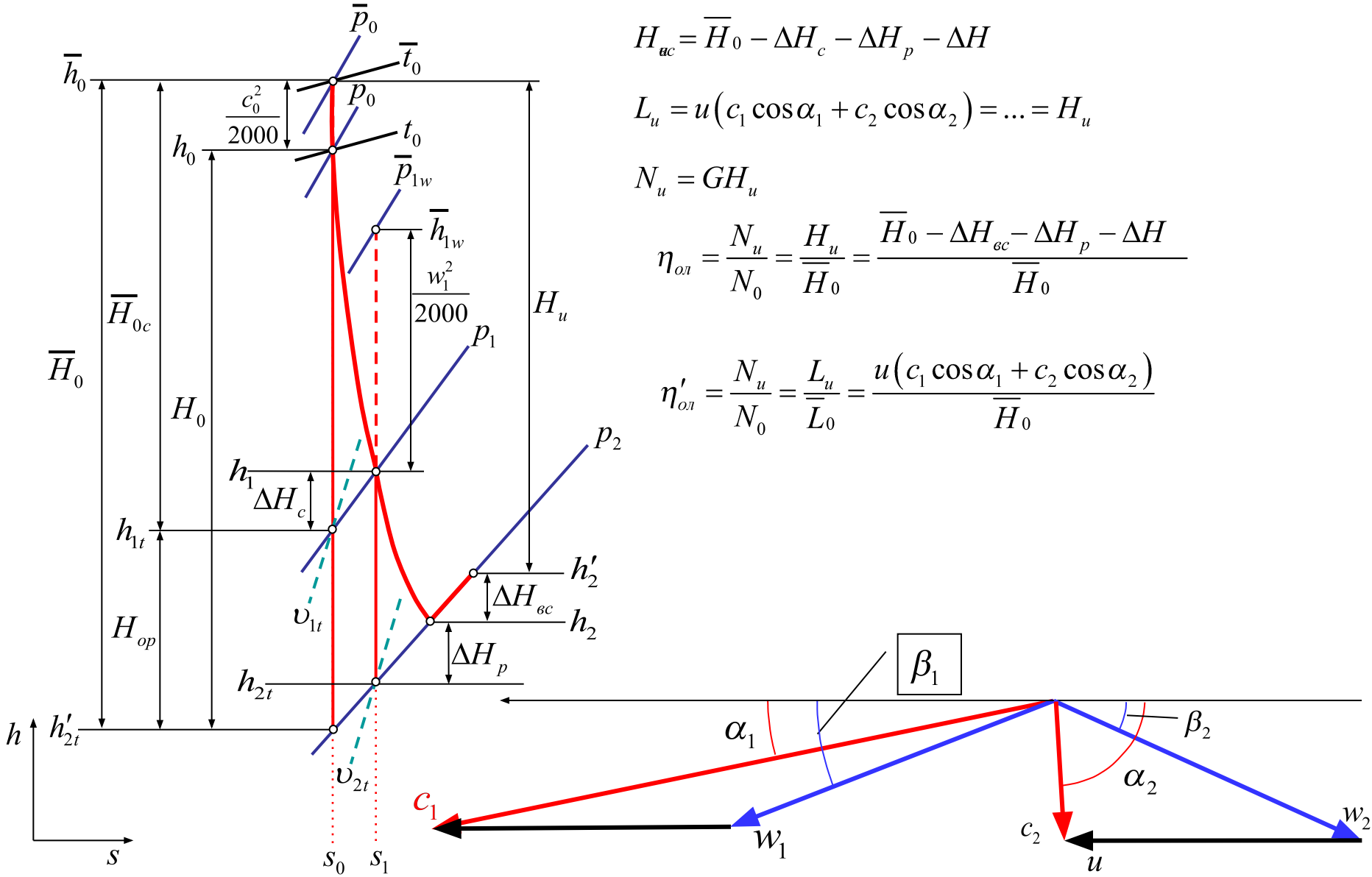
$$\zeta_p = 1 - \psi^2$$

$$w_2 = \psi w_{2t}$$

$$\Delta H_p = \zeta_p \left(h_1 - h_{2t} + \frac{w_1^2}{2000} \right) = \frac{w_{2t}^2 - w_2^2}{2000} = \frac{w_{2t}^2}{2000} (1 - \psi^2)$$



$$c_2^2 = w_2^2 + u^2 - 2uw_2 \cos \beta_2; \quad \alpha_2 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \beta_2}{\cos \beta_2 - \frac{u}{w_2}} \right)$$



$$\Delta H_{ec} = \frac{c_2^2}{2000}$$

$$H_{uc} = \bar{H}_0 - \Delta H_c - \Delta H_p - \Delta H$$

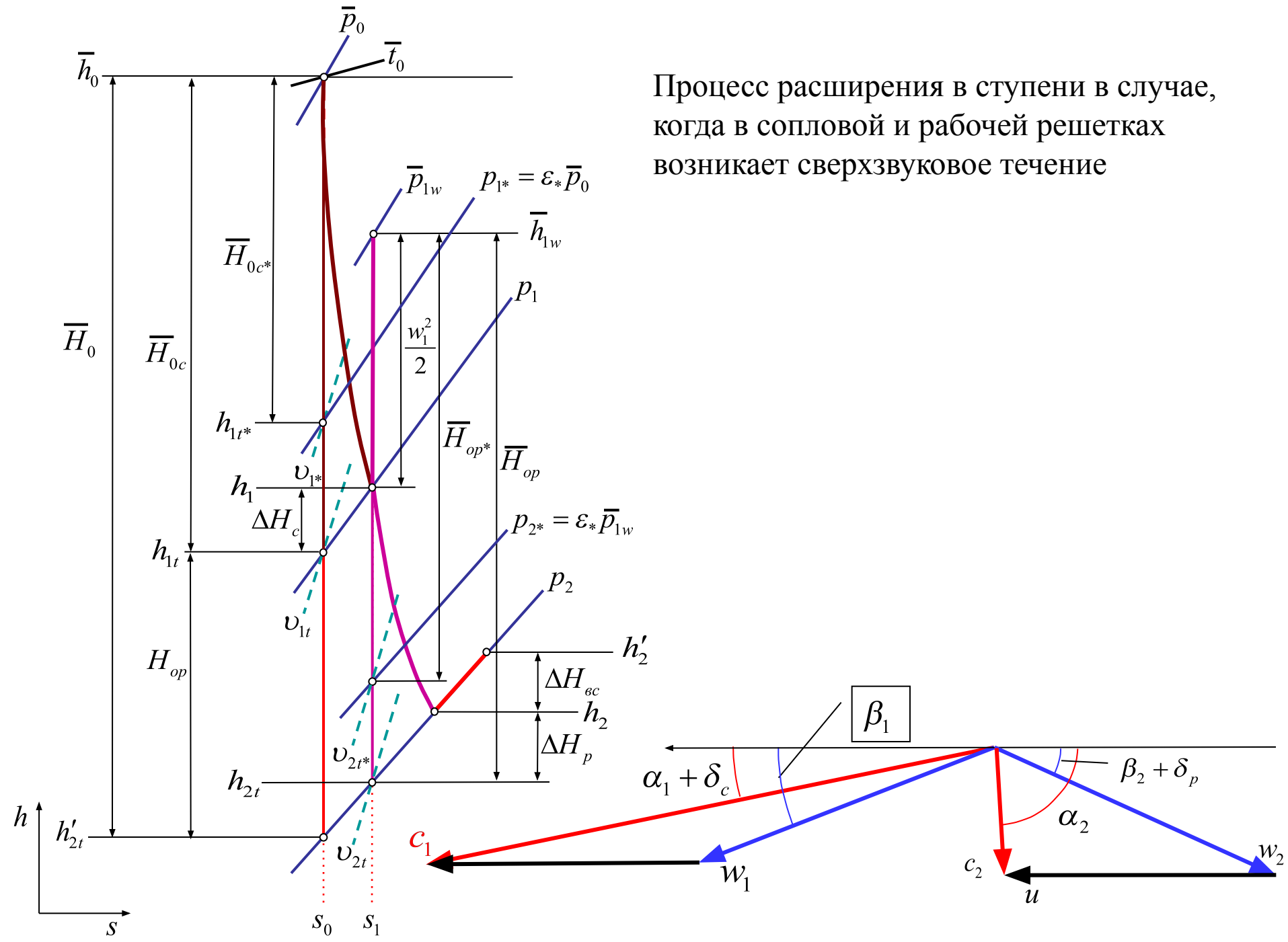
$$L_u = u(c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2) = \dots = H_u$$

$$N_u = GH_u$$

$$\eta_{ol} = \frac{N_u}{N_0} = \frac{H_u}{\bar{H}_0} = \frac{\bar{H}_0 - \Delta H_{ec} - \Delta H_p - \Delta H}{\bar{H}_0}$$

$$\eta'_{ol} = \frac{N_u}{N_0} = \frac{L_u}{L_0} = \frac{u(c_1 \cos \alpha_1 + c_2 \cos \alpha_2)}{\bar{H}_0}$$

Процесс расширения в ступени в случае, когда в сопловой и рабочей решетках возникает сверхзвуковое течение



2.4. Турбинные решетки

Преобразование энергии в турбинной ступени происходит в каналах (соплах), которые *должны обеспечивать* **ускорения потока** и придание ему необходимого **направления**.

Эти задачи выполняются специально спрофилированными решетками.

Требования к решеткам:

А) процесс расширения должен иметь минимально возможные потери располагаемой энергии.

Б) профиль решетки должен обеспечить необходимую прочность.

В турбинных ступенях различают **сопловые** (*направляющие*) и **рабочие** решетки.

Все турбинные решетки - **кольцевые**.