

# Автоматическое регулирование паровых турбин

Рассматриваем турбины для привода электрических генераторов.

Производство электроэнергии (ЭЭ) в любой момент времени должно соответствовать потреблению.

Критерием этого соответствия является постоянство частоты сети.

Требование постоянства частоты определяет **одну из основных задач регулирования:**

**сохранение частоты вращения турбогенератора постоянной и близкой к номинальной**, несмотря на изменение нагрузки.

Для решения этой задач и **задачи защиты** паровые турбины снабжаются **системами автоматического регулирования (САР).**

## 5.1. Саморегулирование турбогенератора.

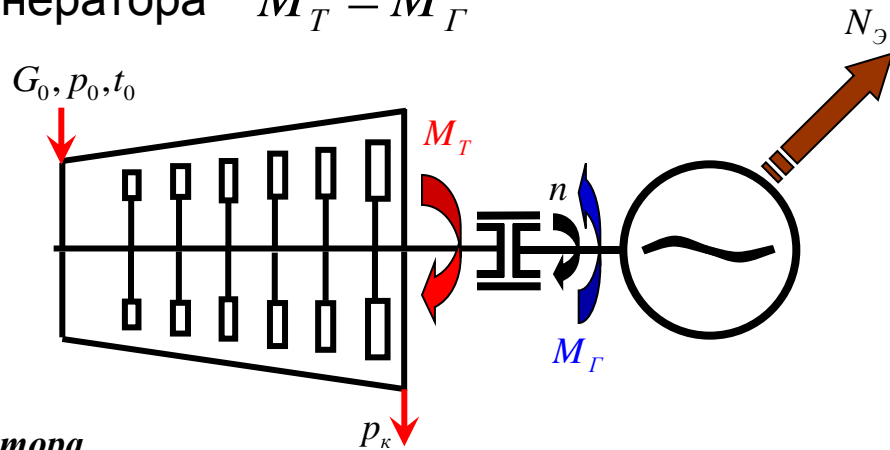
Условие устойчивой работы турбогенератора  $M_T = M_G$

$$N_T = \sum_{j=1}^z N_j$$

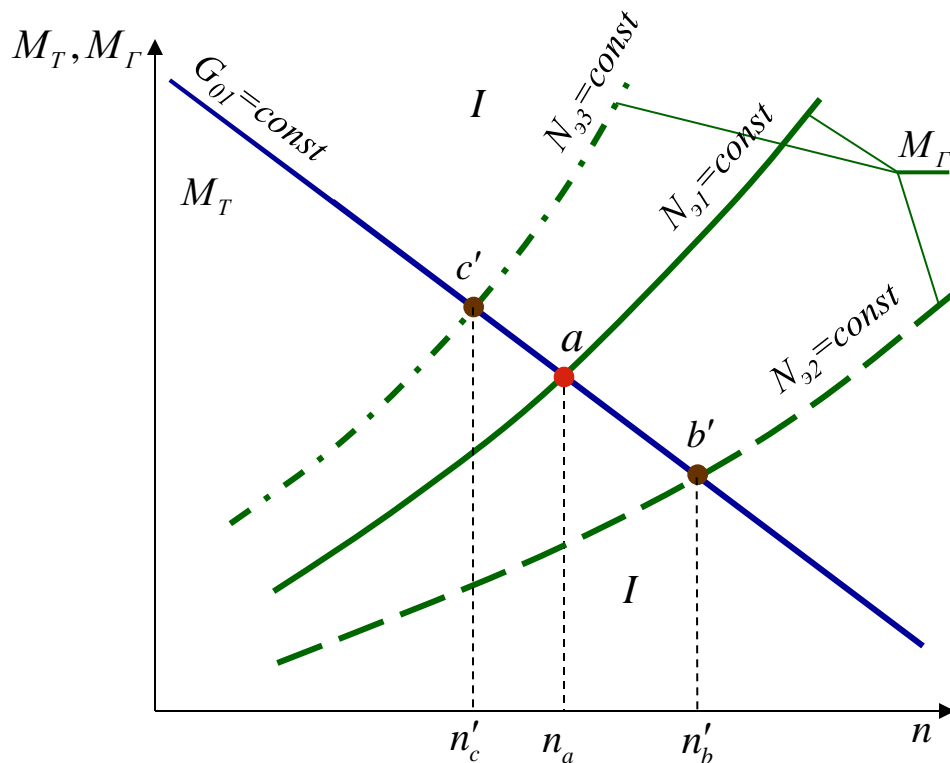
$$N_j = G_j H_{oj} \eta_{oi}^j = u R_u =$$

$$= 2\pi r_j n G_j (c_{1j} \cos \alpha_{1j} + c_{2j} \cos \alpha_{2j}) = M_j \omega$$

$$N_T = G H_0^T \eta_{oi}^T \eta_m = \omega \sum_{j=1}^z M_j = M_T \omega$$



Моментные характеристики турбины и генератора



$n$  - число оборотов,  $c^{-1}$ .

$\omega = 2\pi n$  - угловая скорость вращения,  $c^{-1}$ .

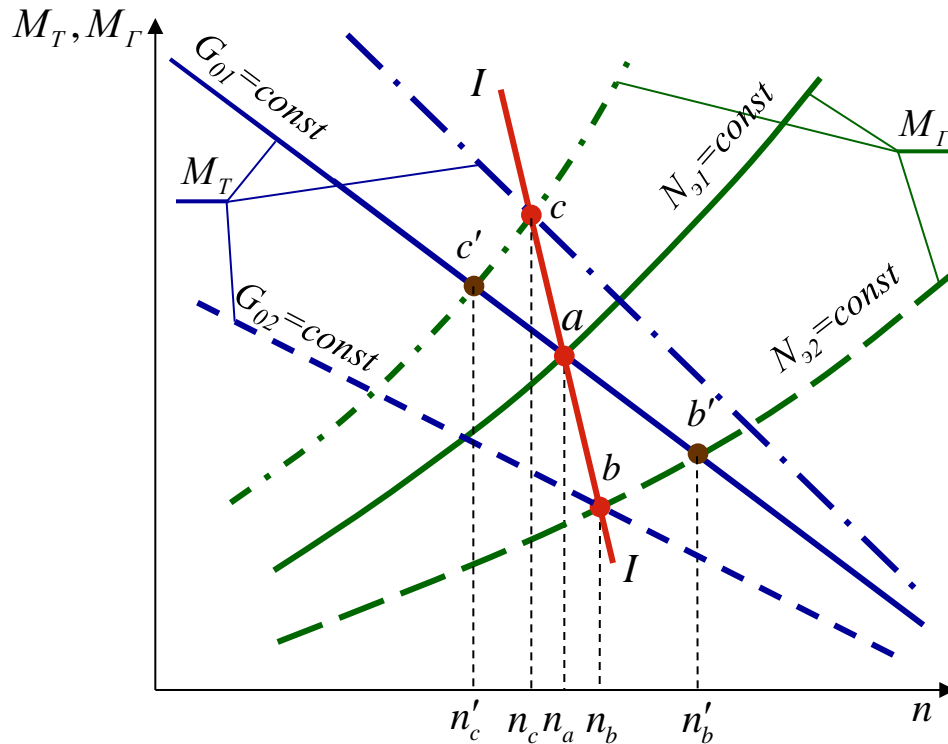
$$M_T = 0,159 \frac{G_0 H_0^T \eta_{oe}}{n} [\text{кН} \cdot \text{м}]$$

$$N_{э} = I \cdot U$$

**Саморегулирование** – способность перехода к новому устойчивому режиму при изменении нагрузки генератора без какого-либо воздействия на агрегаты.

При саморегулировании в широких пределах изменяется частота электрического тока и экономичность турбины.

## Управляемый турбогенератор



$$M_T = 0,159 \frac{G_0 H_0^T \eta_{oe}}{n} [\text{кН} \cdot \text{м}]$$

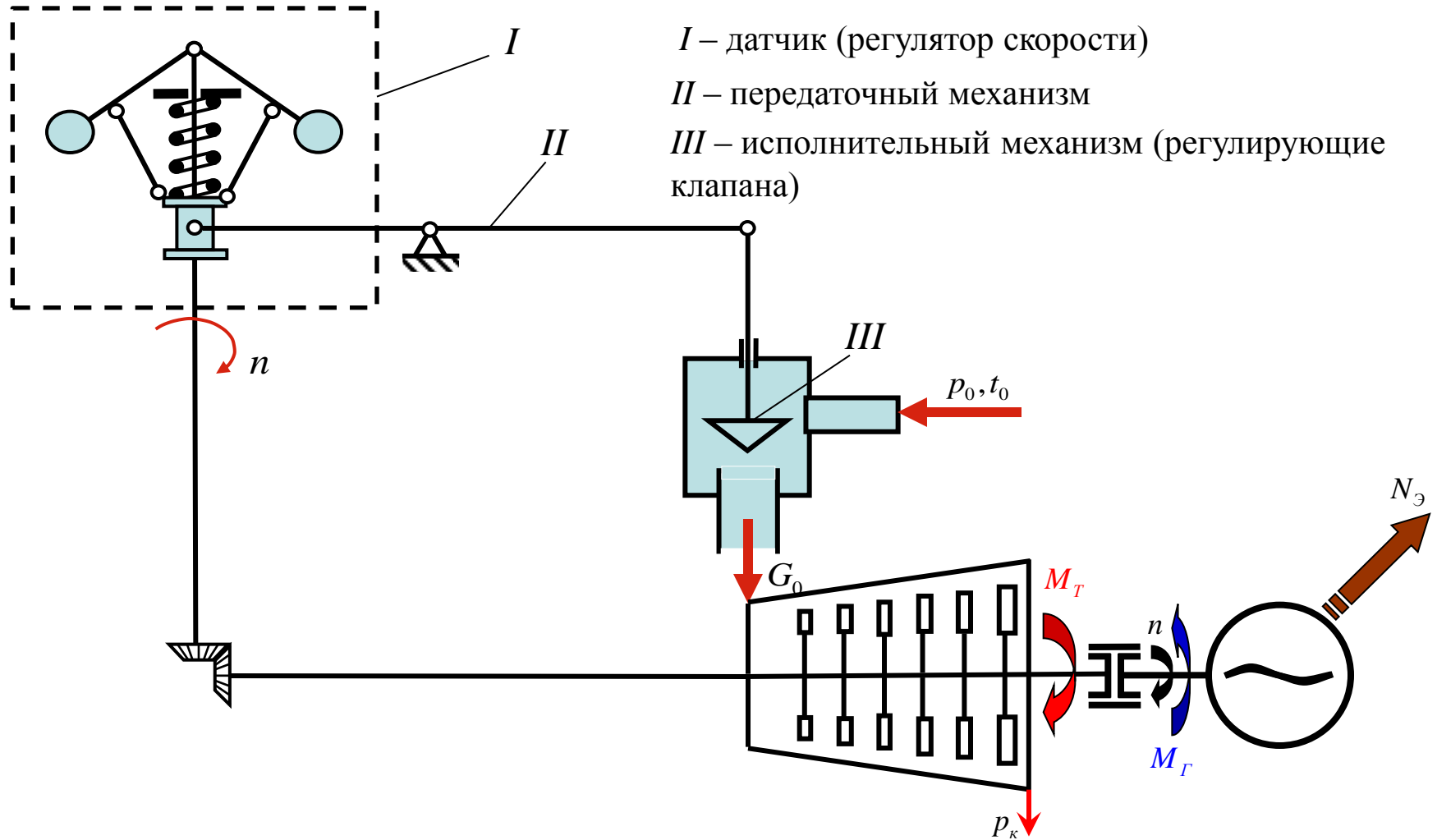
Все возможные установившиеся режимы работы ТГ при совместном изменении характеристик Т и Г определяются линией  $I-I$ .

### **$I-I$ - статическая характеристика управляемого турбогенератора**

Допуская некоторое небольшое отклонение частоты вращения от заданного значения, можно использовать его в качестве **командного импульса** для автоматического управления турбиной.

## 5.2. Статическая характеристика системы регулирования

### 5.2.1. Простейшая схема автоматического регулирования частоты вращения конденсационной паровой турбины



## 5.2.2. Построение характеристики регулирования

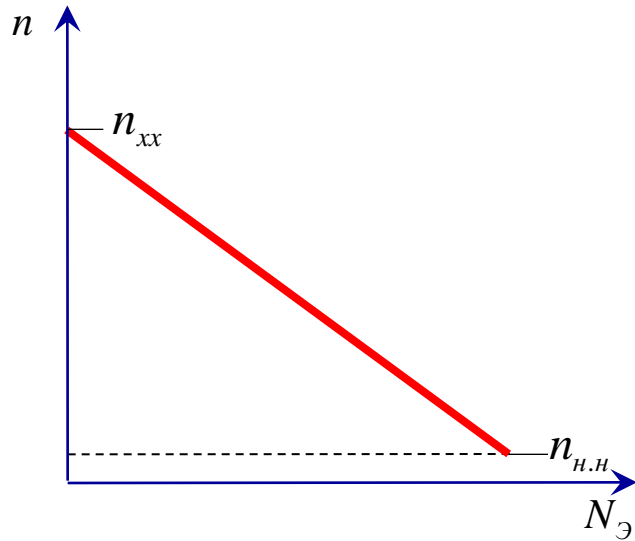
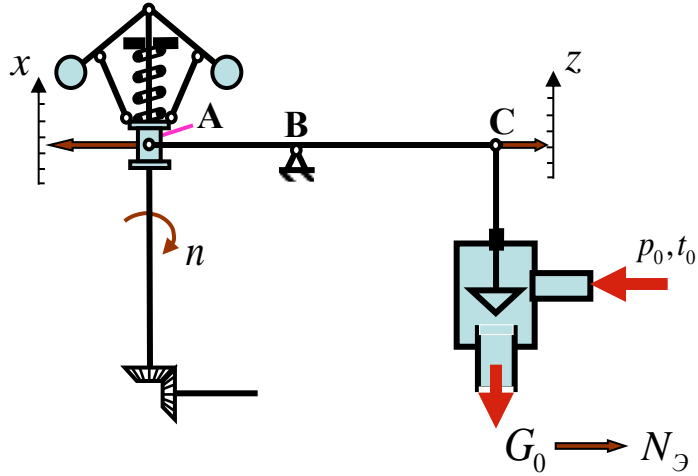
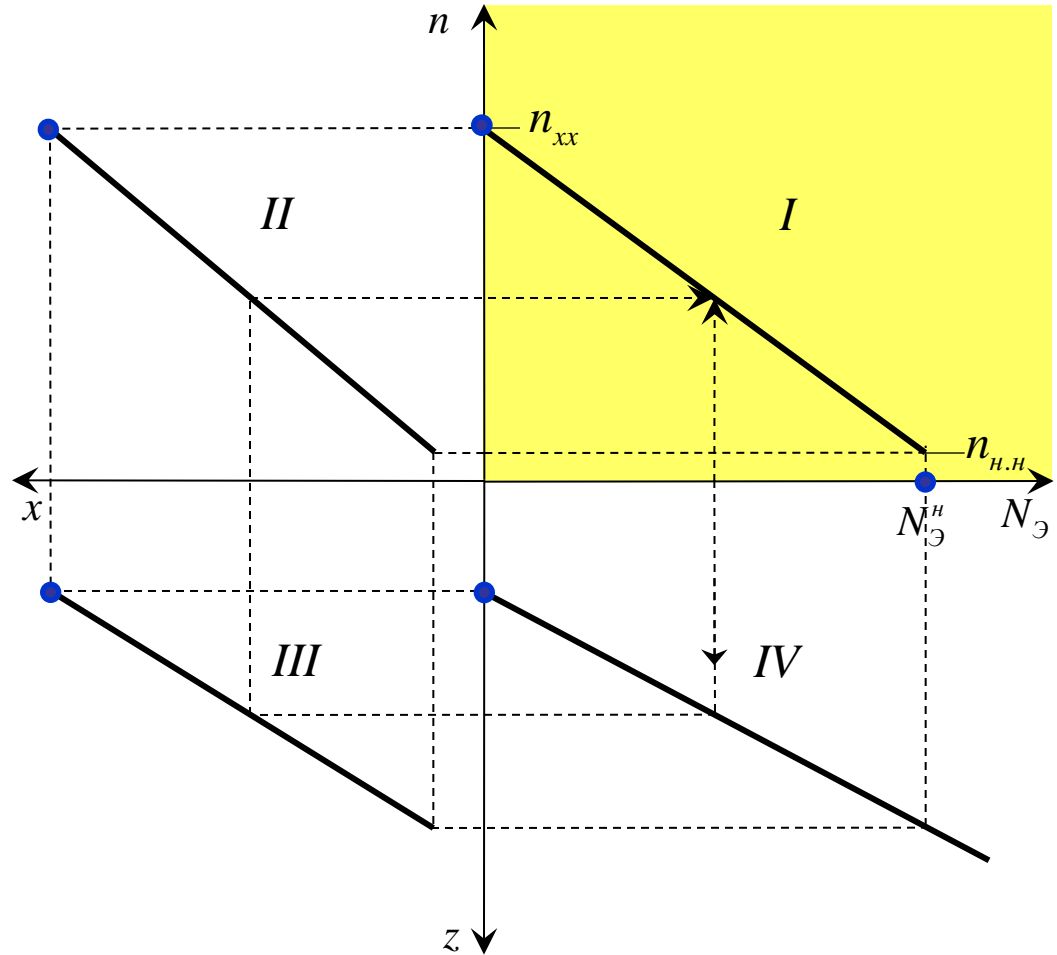


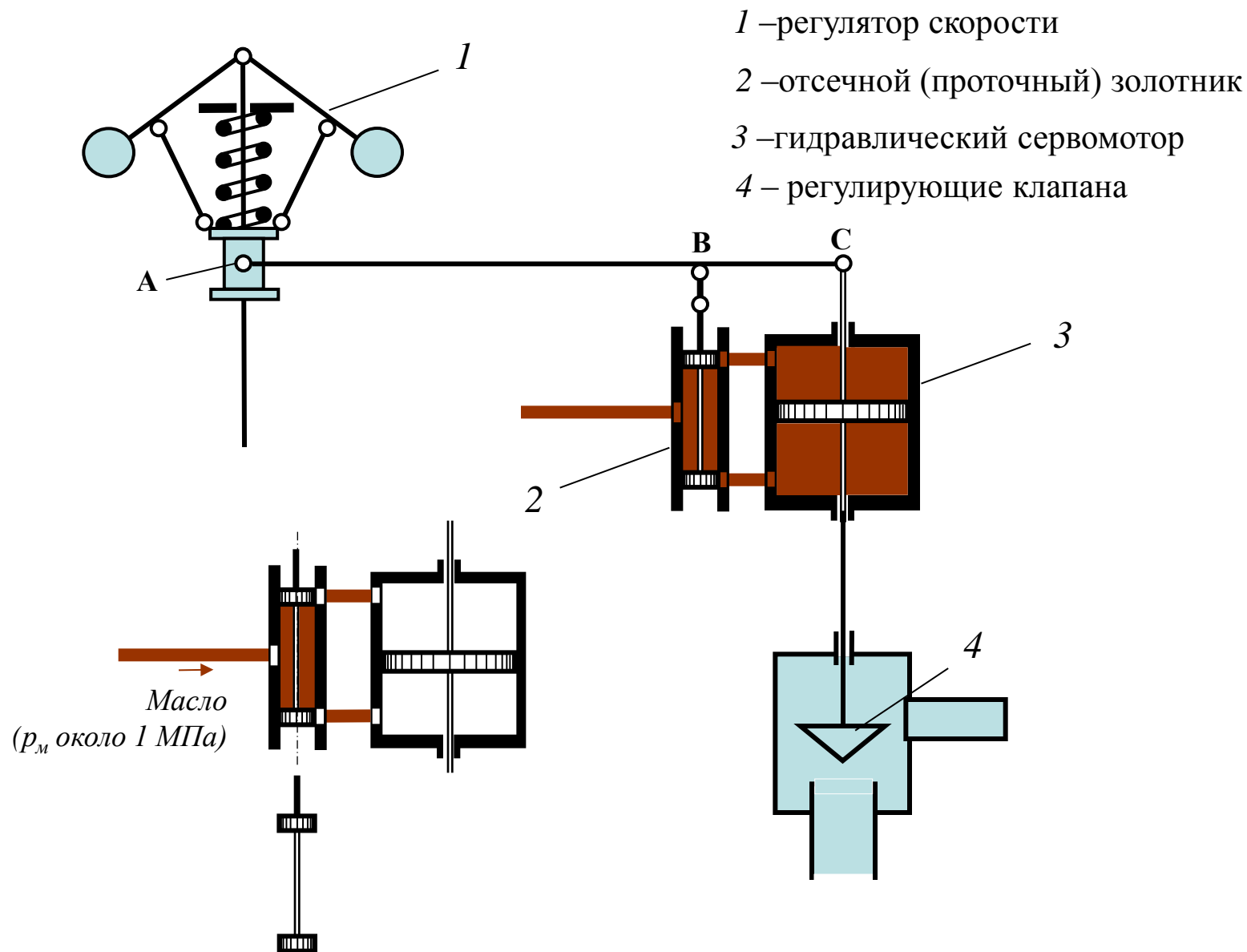
Диаграмма Щегляева



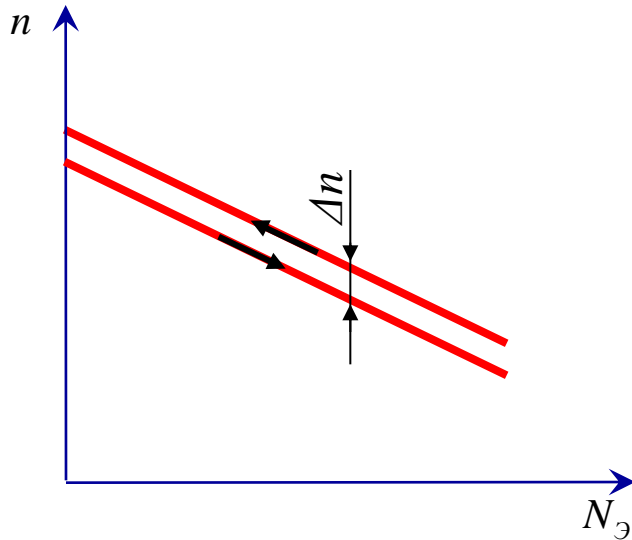
$$\delta = \frac{n_{xx} - n_{н.н}}{n_0}$$

- **степень неравномерности** или просто **неравномерность регулирования**

# Схема регулирования с однократным усилением



# Нечувствительность системы регулирования

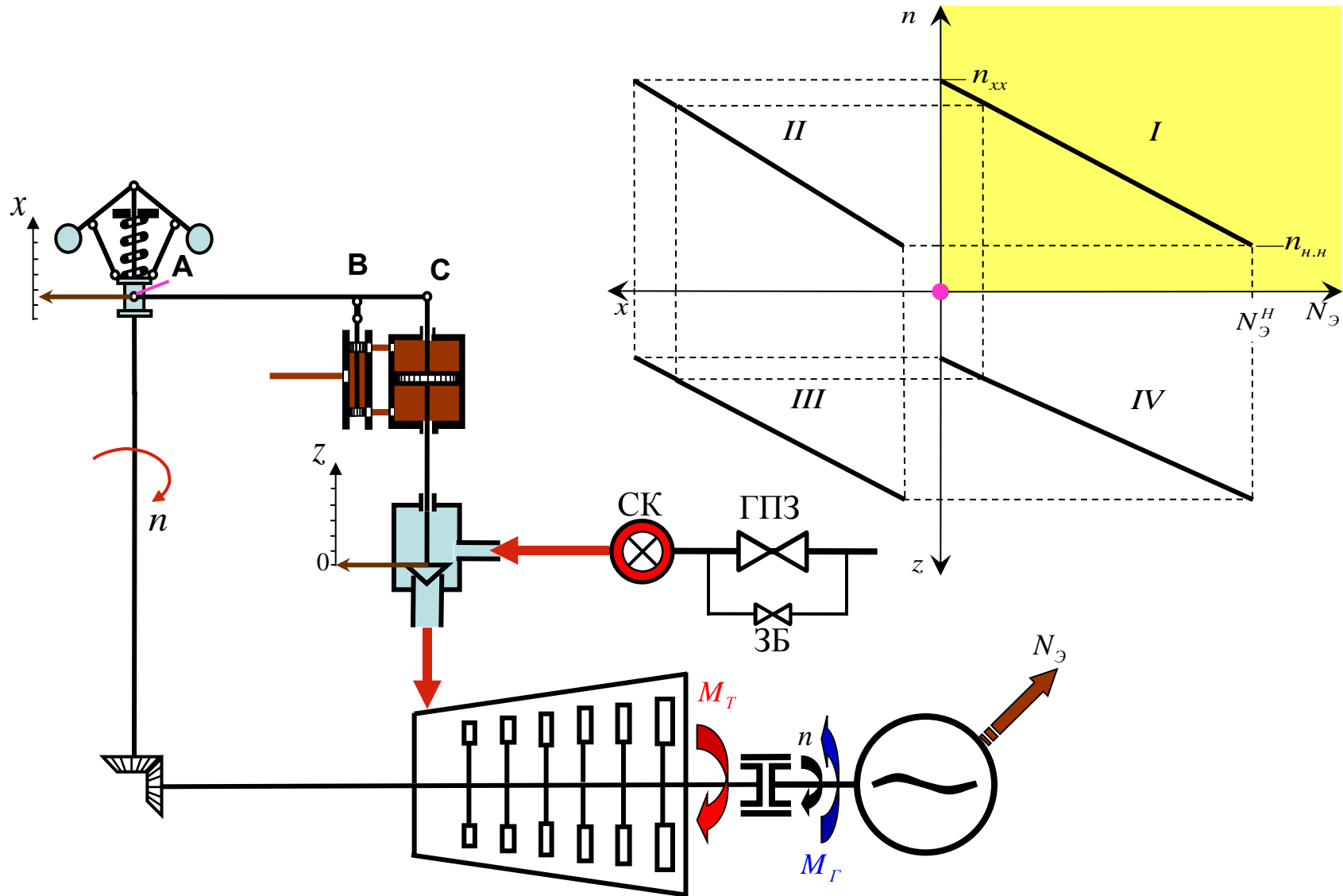


$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{n_0} \quad \text{- степень нечувствительности}$$

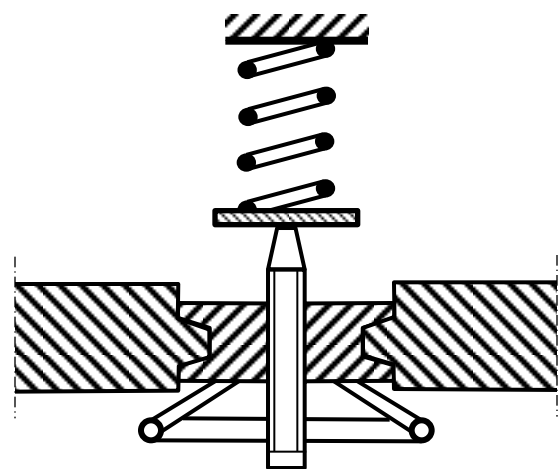
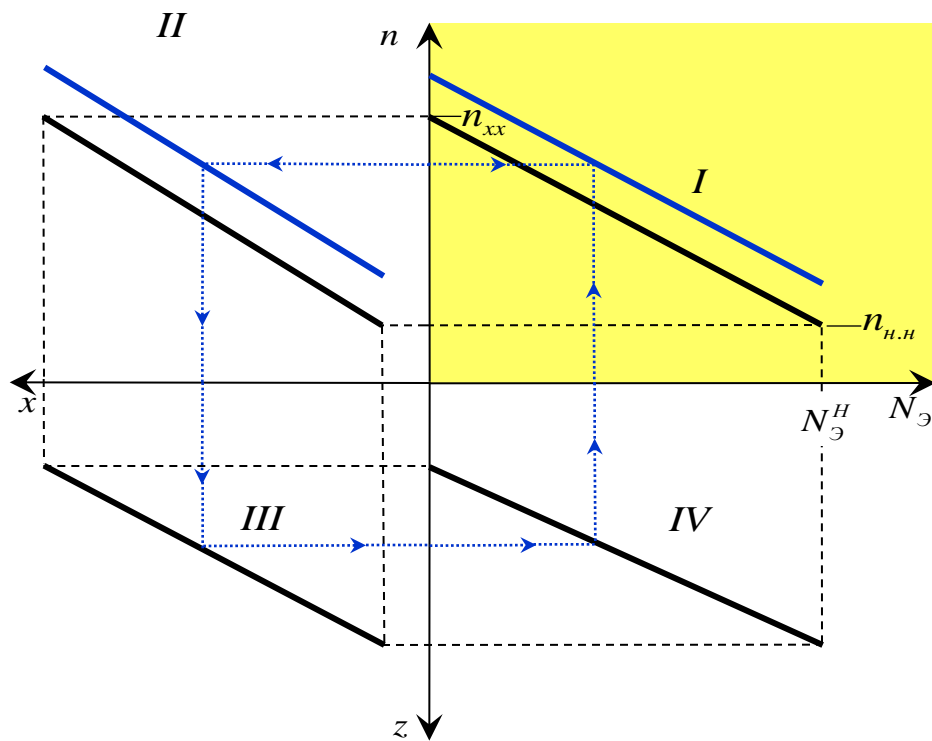
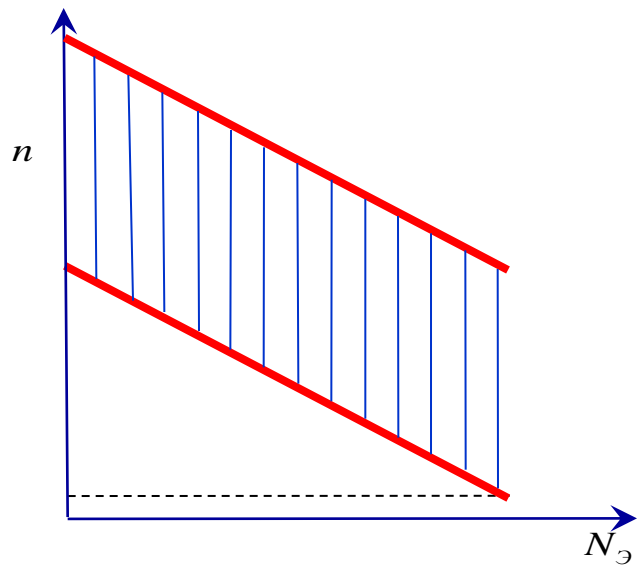
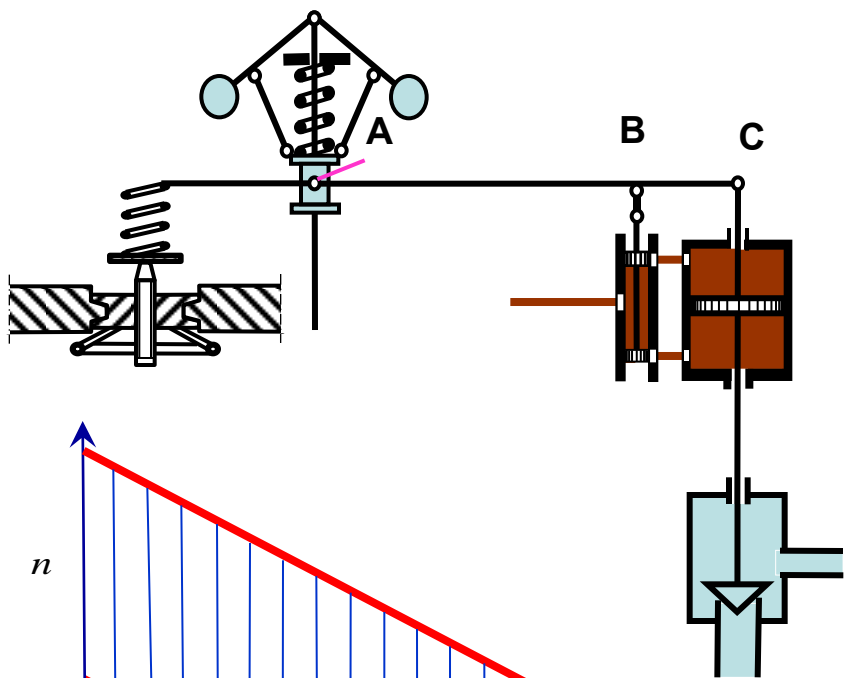
Гидравлические САР -  $\varepsilon \leq 0,1\%$

Электрогидравлические САР -  $\varepsilon \leq 0,06\%$

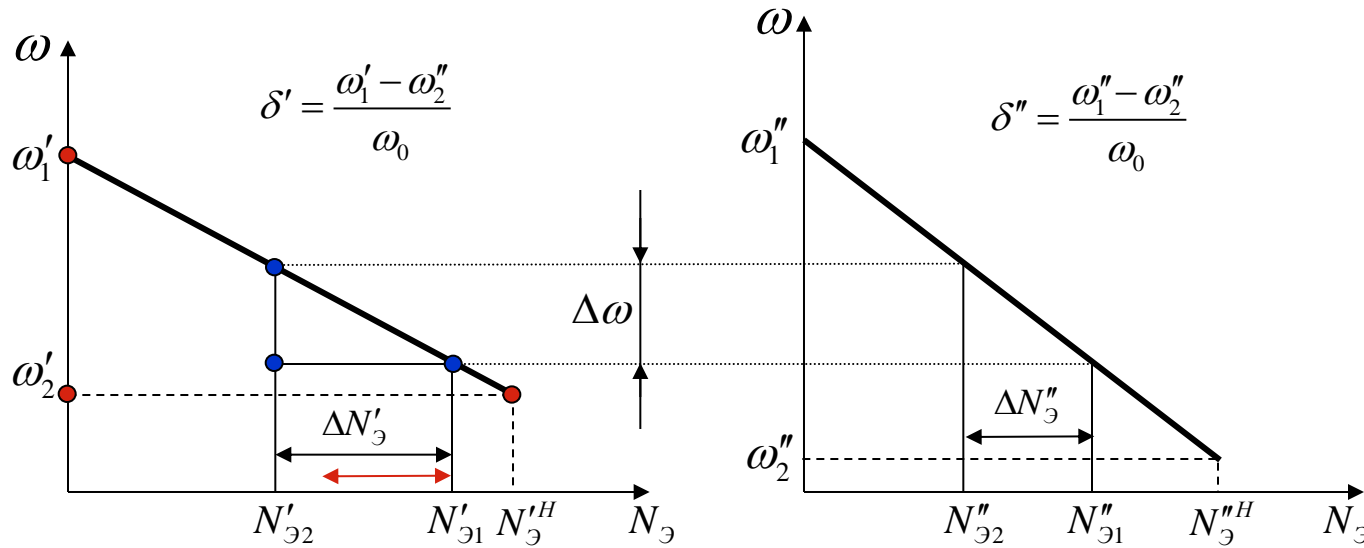
## 5.3. Механизм управления турбиной (МУТ)







## 5.4. Параллельная работа турбогенераторов в энергосистеме



$$\Delta N_{\text{эC}} = \Delta N'_{\text{э}} + \Delta N''_{\text{э}}$$

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta N'_{\text{э}}} = \frac{\omega'_1 - \omega'_2}{N'_{\text{э}}{}^H} = \frac{\omega_0 \delta'}{N'_{\text{э}}{}^H}$$

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta N''_{\text{э}}} = \frac{\omega''_1 - \omega''_2}{N''_{\text{э}}{}^H} = \frac{\omega_0 \delta''}{N''_{\text{э}}{}^H}$$

$$\Delta\omega = \frac{\Delta N'_{\text{э}} \omega_0 \delta'}{N'_{\text{э}}{}^H}$$

$$\Delta\omega = \frac{\Delta N''_{\text{э}} \omega_0 \delta''}{N''_{\text{э}}{}^H}$$

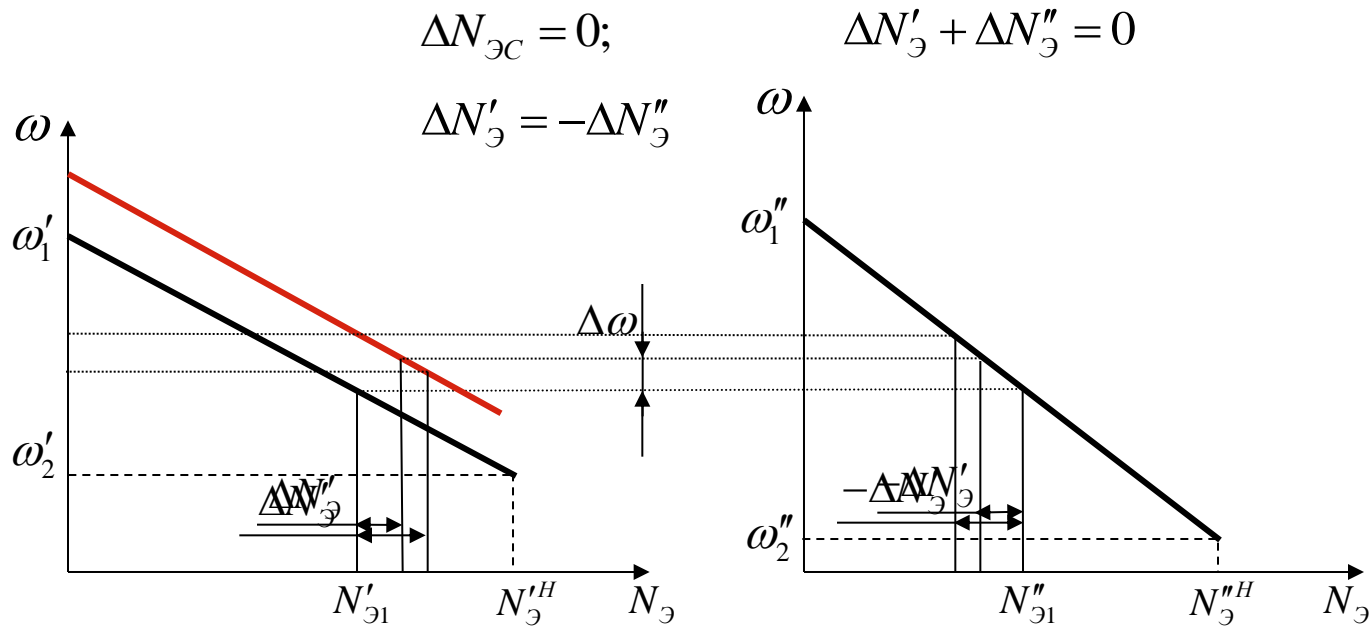
$$\frac{\Delta N'_{\text{э}} \delta'}{N'_{\text{э}}{}^H} = \frac{\Delta N''_{\text{э}} \delta''}{N''_{\text{э}}{}^H}$$

$$\Delta N'_{\text{э}} = \frac{\Delta N_{\text{эC}}}{1 + \frac{N'_{\text{э}}{}^H}{N''_{\text{э}}{}^H} \cdot \frac{\delta'}{\delta''}}$$

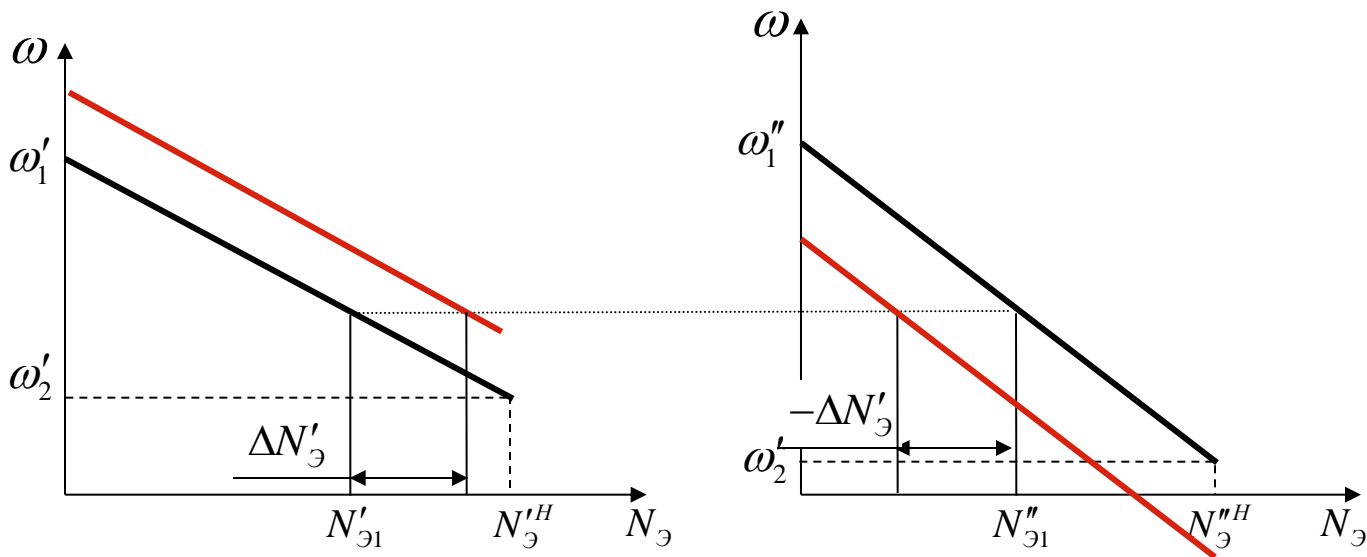
$$\Delta N'_{\text{э}} = \frac{\Delta N_{\text{эC}}}{1 + \sum_{i=2}^z \frac{N_{\text{э}}^{iH}}{N'_{\text{э}}{}^H} \cdot \frac{\delta'}{\delta^i}}$$

# Перераспределение нагрузки между агрегатами в энергосистеме

## А) Воздействием на МУТ одной турбины

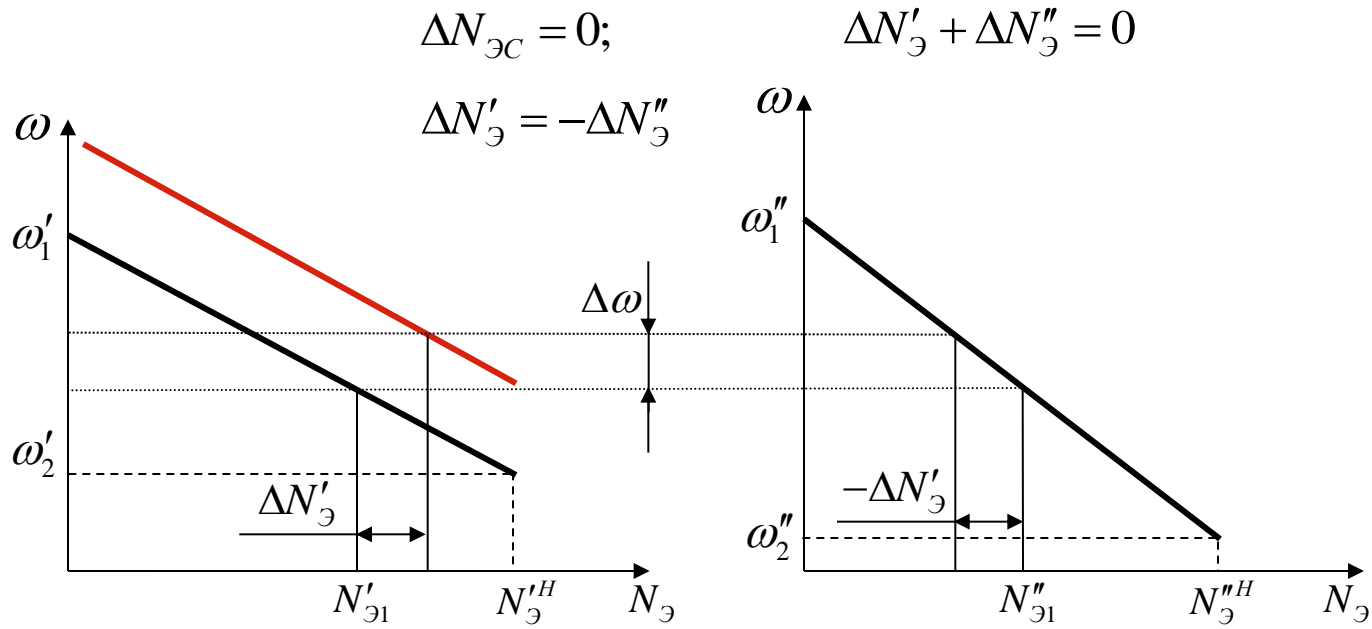


## Б) С сохранением неизменной частоты



# Перераспределение нагрузки между агрегатами в энергосистеме

## А) Воздействием на МУТ одной турбины



## Б) С сохранением неизменной частоты

