



АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

**Тема 5. КОНЕЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ПАРА НА АЭС**



ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ:

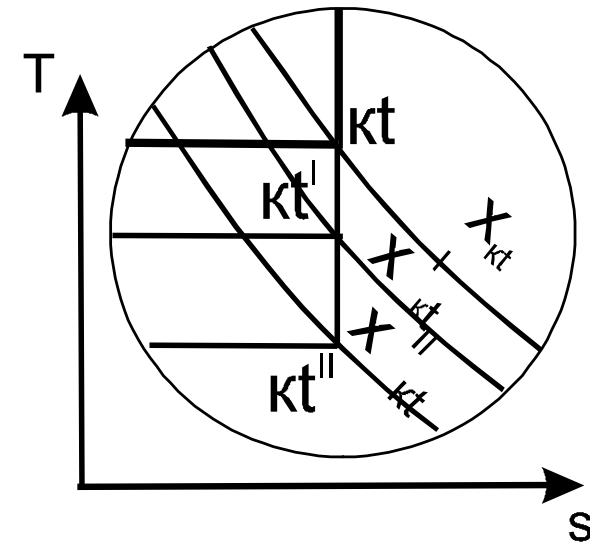
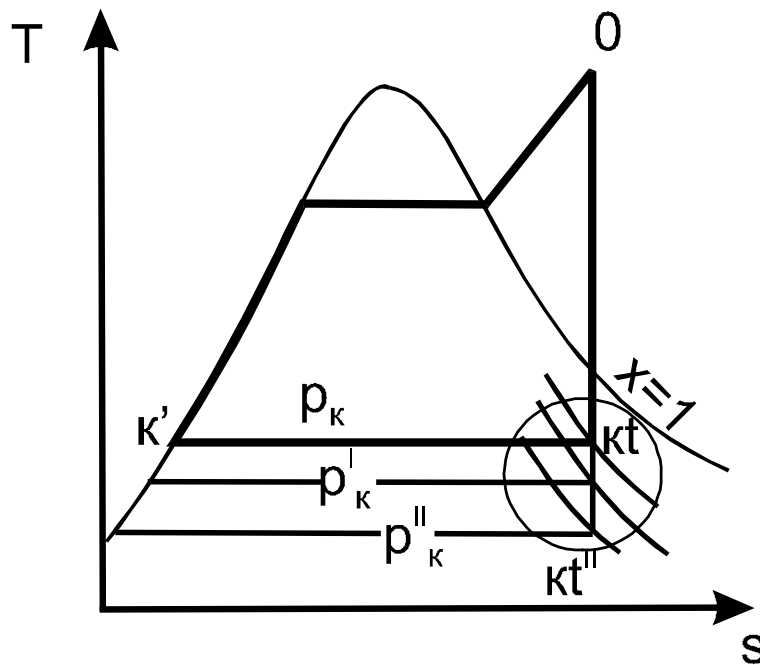
- ⚡ Влияние конечных параметров на тепловую экономичность ПТУ
- ⚡ Технико-экономические значения p_k

Термический КПД цикла

$$\eta_t = 1 - \frac{T_K}{T_{0\text{ЭКВ}}}$$

Даже относительно небольшое снижение T_K оказывает существенное влияние на тепловую экономичность установки

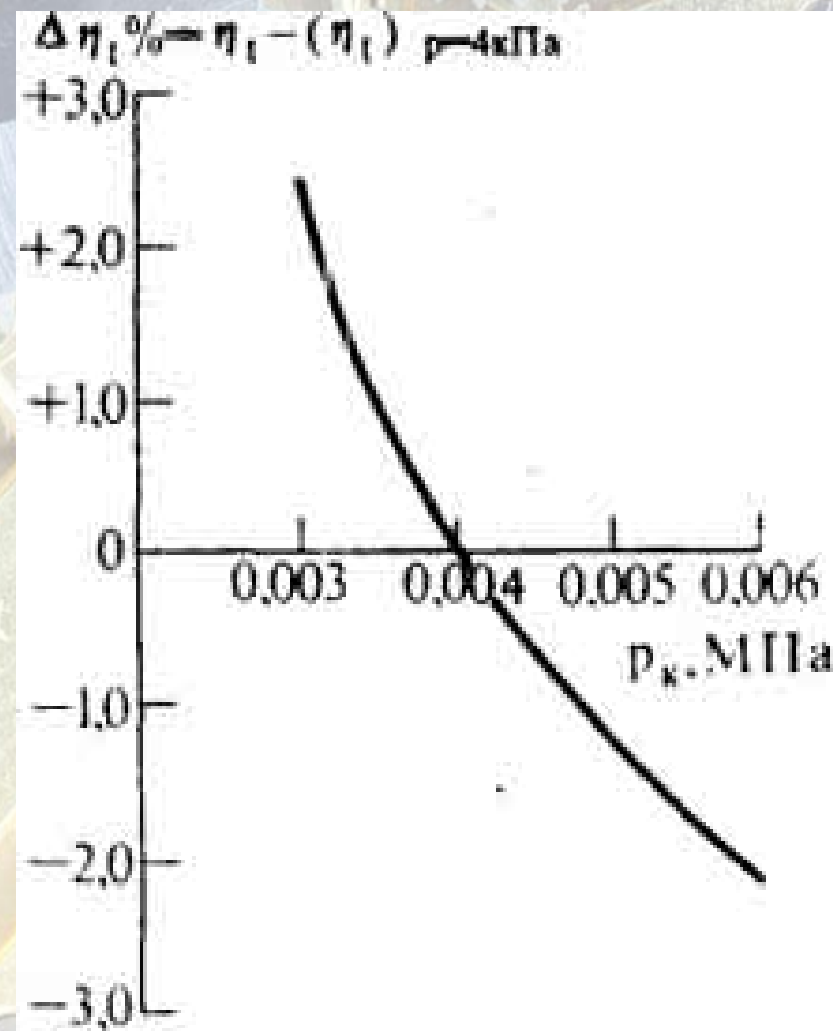
Сравнение циклов Ренкина с разными значениями p_K (при неизменных начальных параметрах)



при $T_0 = \text{const}$ $p_0 = \text{const}$

$$p_K^{II} < p_K^I < p_K \quad x_{kt}^{II} < x_{kt}^I < x_{kt}$$

Зависимость термического КПД ПТУ от p_k
(при неизменных начальных параметрах)

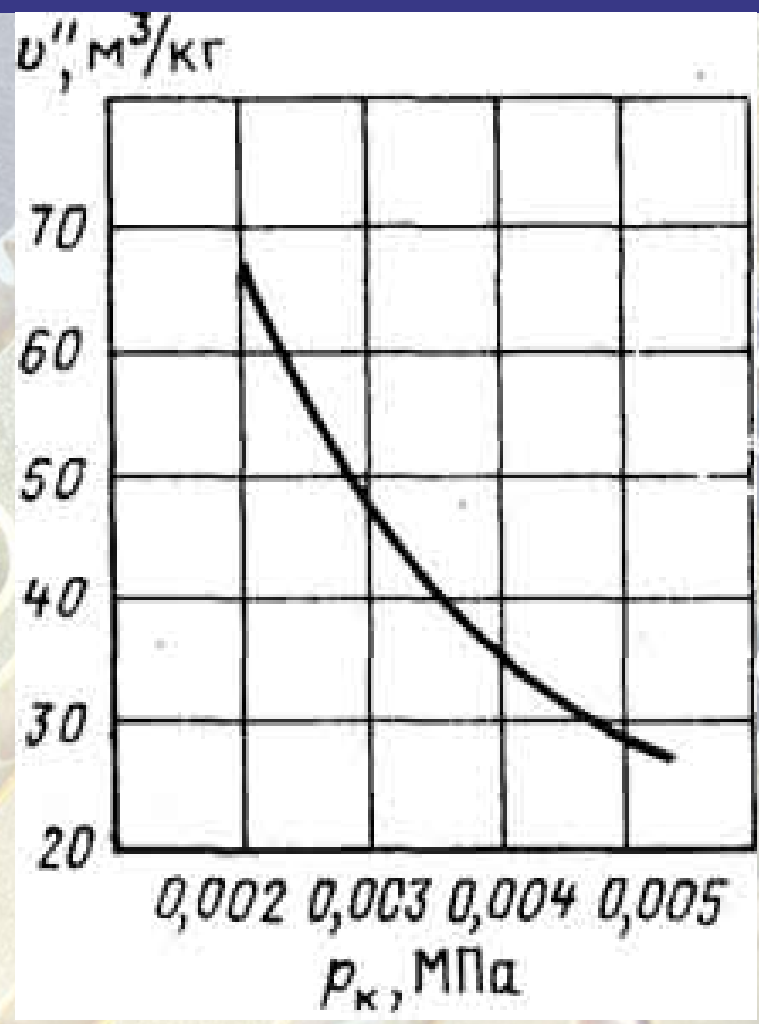




При снижении p_k :

- ☛ увеличивается конечная влажность пара
- ☛ растет выходная скорость пара
- ☛ возрастают потери в турбине
- ☛ снижается внутренний относительный КПД турбины
- ☛ растет объемный расход пара в конденсатор

Удельный объем насыщенного пара в зависимости от давления пара в конденсаторе

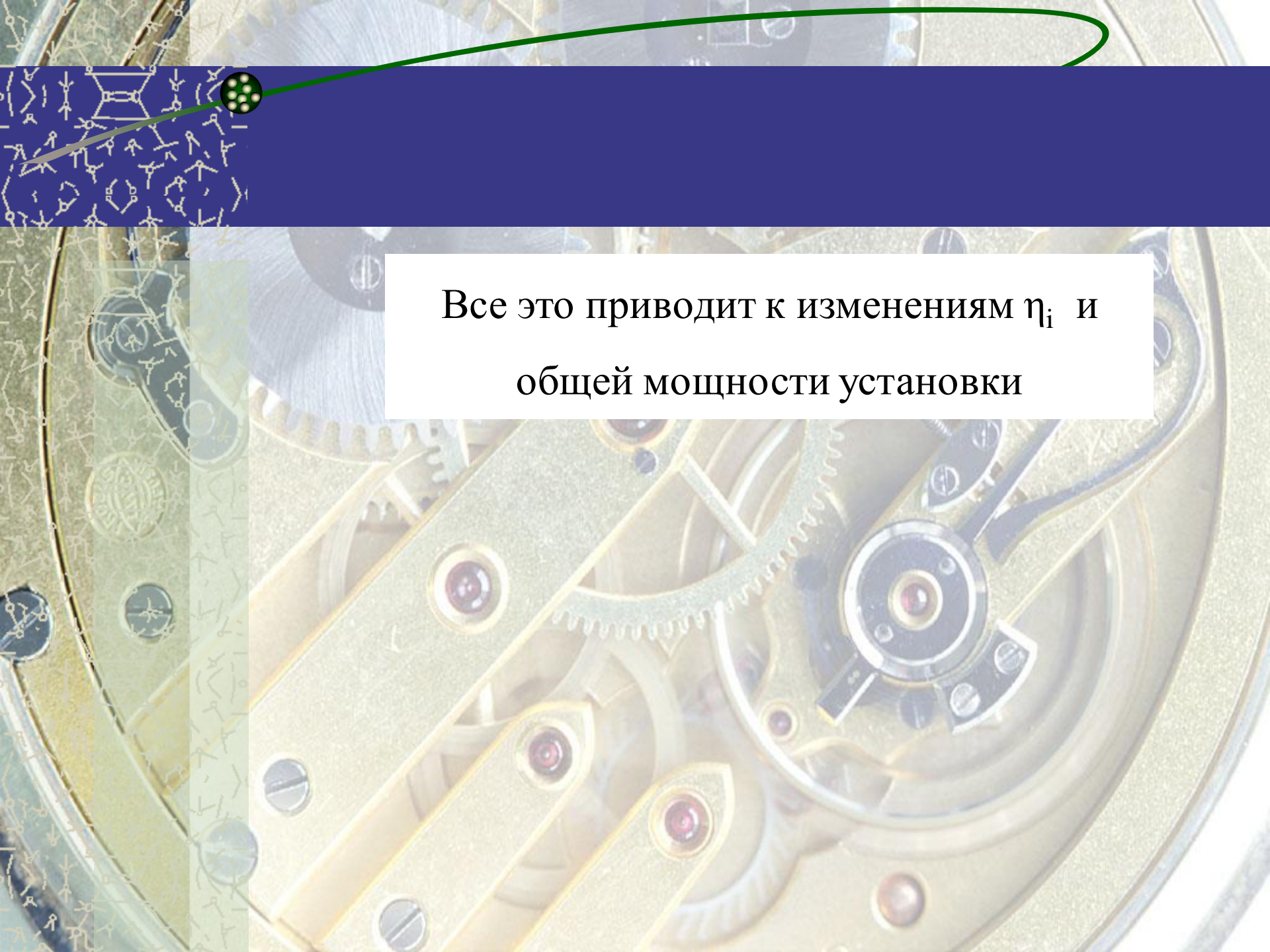




При переходе от значения p_k 3,5 кПа к 4,5 кПа

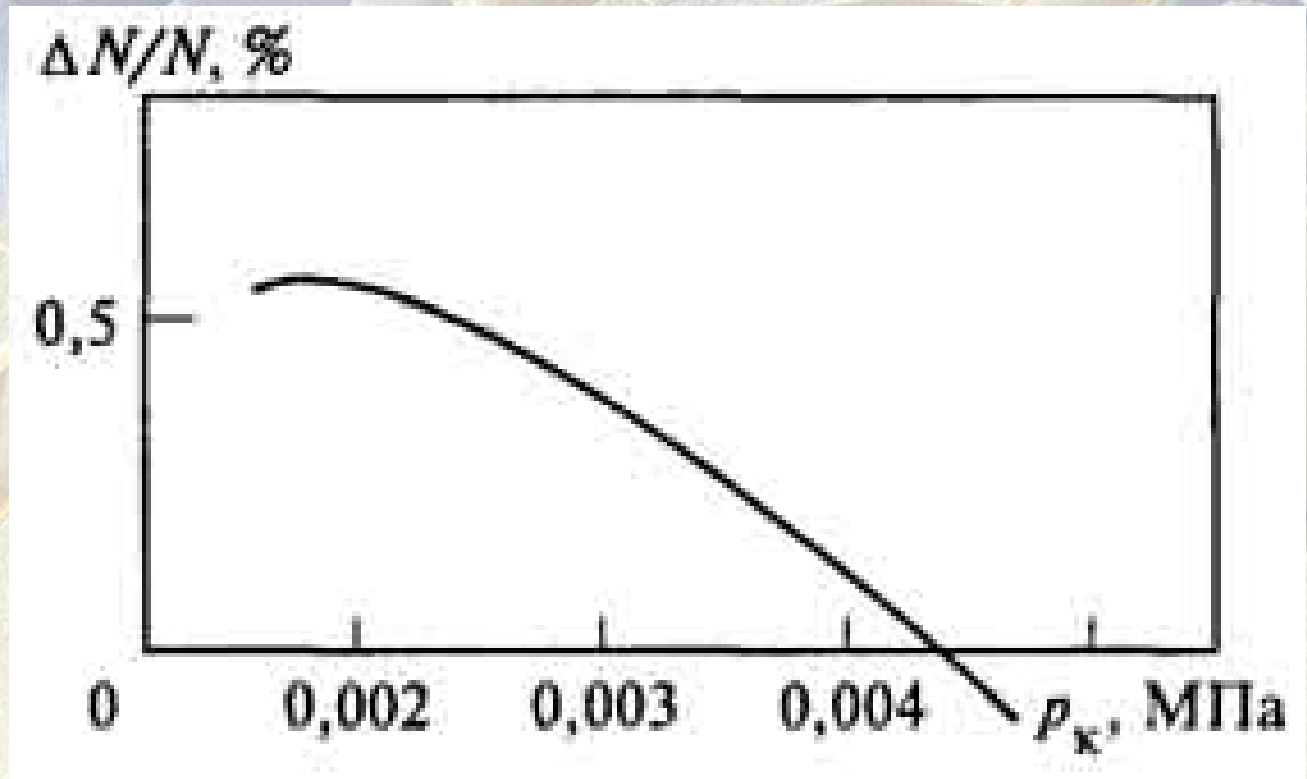
- снижается термический КПД примерно на 1,5%
- почти в 1,3 раза уменьшается удельный объем пара
от 40,2 до 31,7 м³/кг

Увеличение удельного объема пара при одном и том же массовом расходе требует роста проходных сечений последних ступеней турбины

A detailed close-up of a mechanical watch movement, showing various gears, jewels, and plates. A white rectangular text box is overlaid on the center of the image. A green line with a circular end containing five dots starts from the top left and curves across the top of the image.

Все это приводит к изменениям η_i и
общей мощности установки

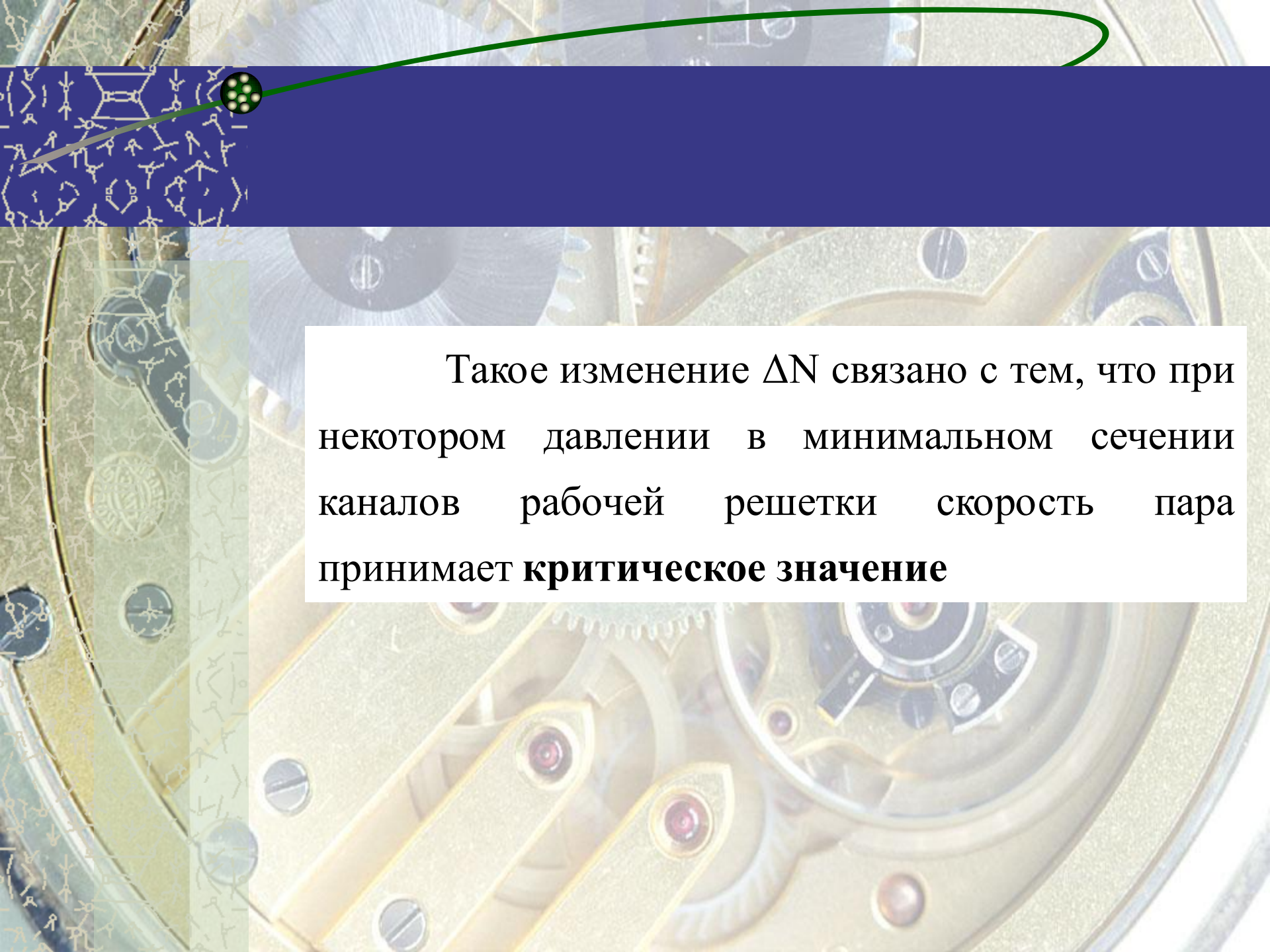
Зависимость изменения мощности турбины от конечного давления





С понижением p_k

- растут потери
- мощность сначала растет за счет увеличения теплоперепада
- затем, достигнув максимума, мощность снижается



Такое изменение ΔN связано с тем, что при некотором давлении в минимальном сечении каналов рабочей решетки скорость пара принимает **критическое значение**



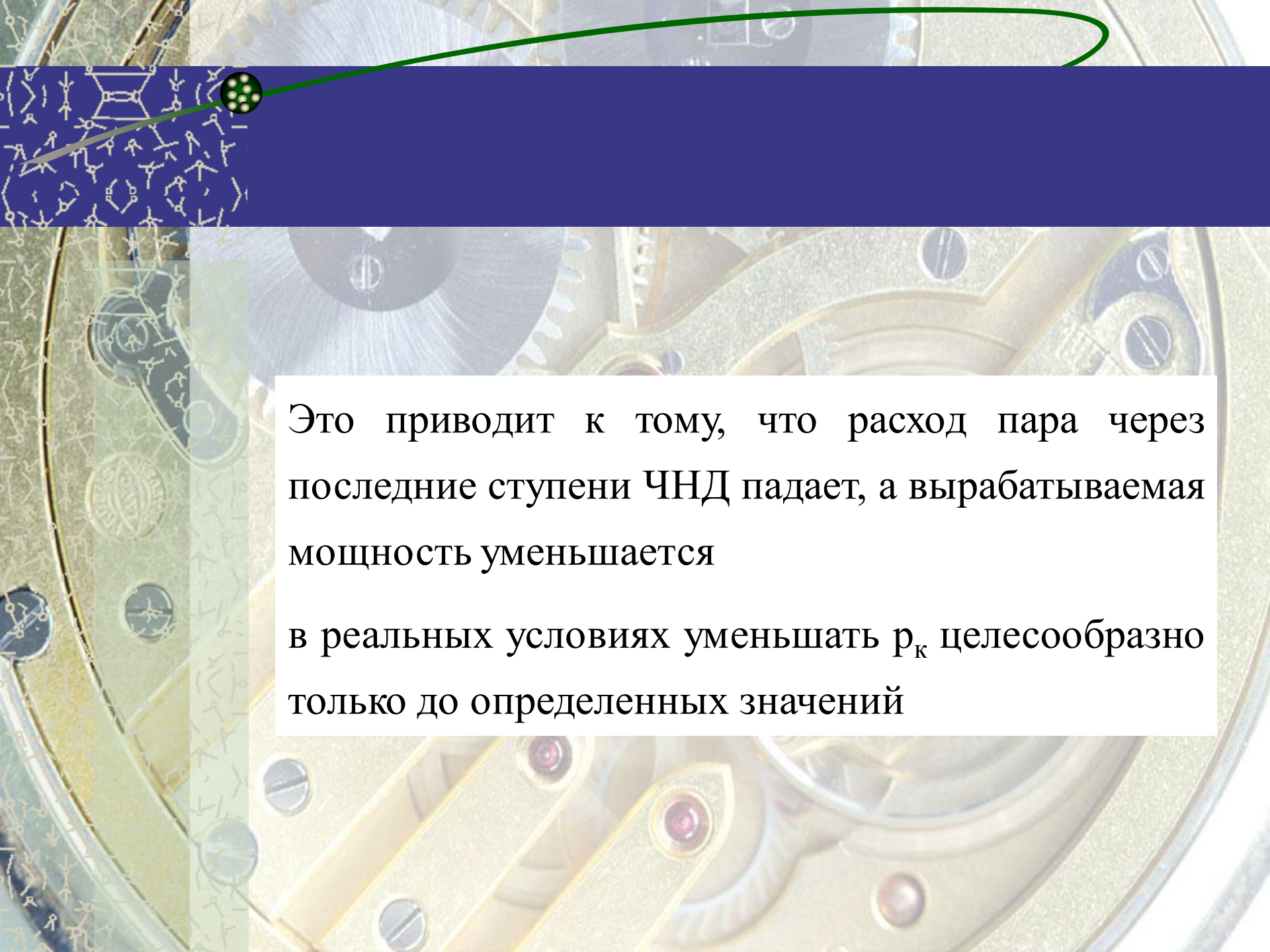
Дальнейшее снижение рк

- расширение пара в косом срезе
- когда расширительная способность косого среза исчерпана, пар расширяется за пределами ступени
- действительный теплоперепад не изменяется




В то же время вследствие снижения p_k

- температура конденсата на выходе из конденсатора понижается
- увеличивается расход пара в первый регенеративный подогреватель



Это приводит к тому, что расход пара через последние ступени ЧНД падает, а вырабатываемая мощность уменьшается

в реальных условиях уменьшать p_k целесообразно только до определенных значений



Технико-экономически оптимальные значения p_k могут быть заметно выше тех, при которых вырабатывается максимальная мощность

Давление в конденсаторе является функцией температуры, при которой происходит конденсация пара

$$t_H = t_{в1} + \frac{h_{п.к} - h_k}{c_p m} + \delta t = t_{в2} + \delta t,$$

Температура охлаждающей воды $t_{в1}$ изменяется в широких пределах

Достижение давления в конденсаторе, близкого к $p_k^{\text{пред}}$, возможно только при

- низких значениях $t_{в1}$
- высоких кратностях охлаждения m
- небольших значениях δt

Однако такие условия обуславливают:

- повышенные расходы на перекачивание охлаждающей воды
- рост капитальных затрат

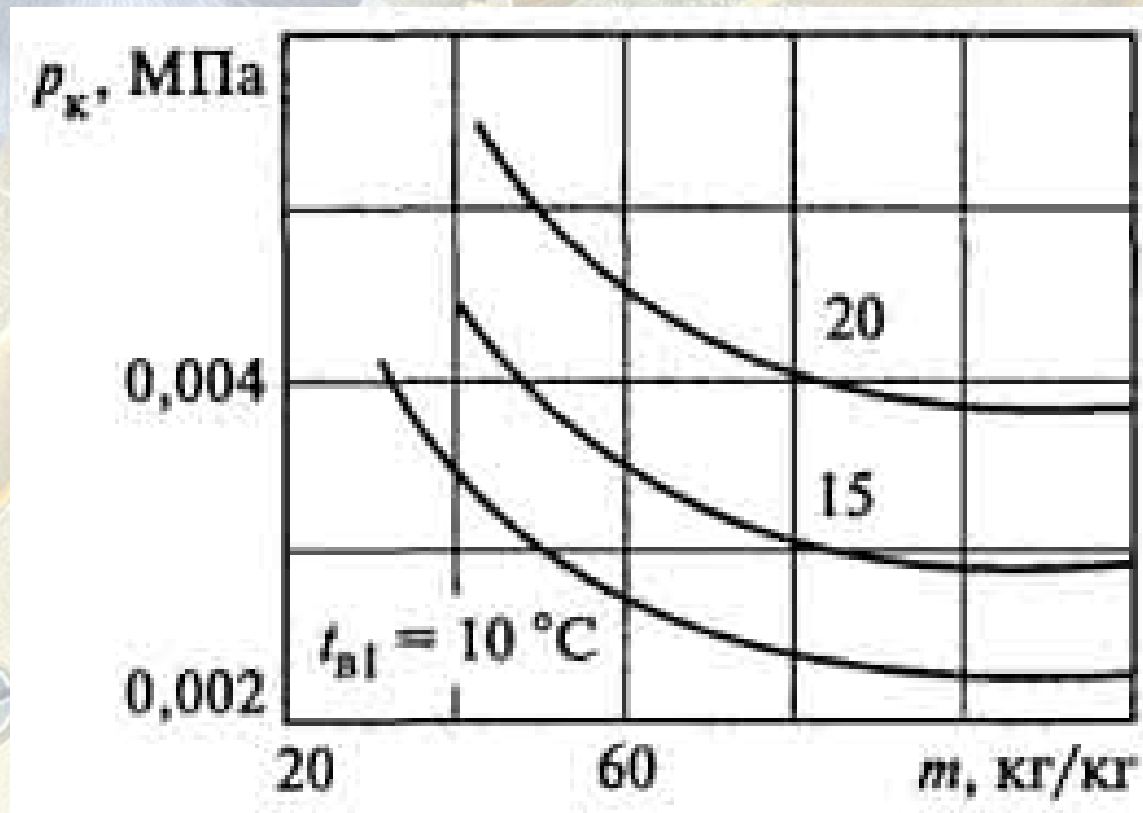
Низкие значения r_k окажутся неоправданными, если дополнительные расходы превысят стоимость дополнительной электроэнергии

Значения $t_k (r_k)$, кратности охлаждения m и недогрева δt должны определяться **технико-экономическими расчетами**

Обычно оптимальные значения равны:

- $m = 50 \div 80$ кг/кг
- $\delta t = 3 \div 6$ °C

Зависимость ρ_k от кратности охлаждения m при различных температурах $t_{в1}$ и $\delta t = 3^\circ\text{C}$





Технико-экономические значения p_k

Чем ниже средняя температура охлаждающей воды,
тем

- меньше дополнительные капитальные затраты для достижения более глубокого вакуума
- ниже экономически оптимальное значение p_k



Технико-экономические значения p_k

Значение p_k зависит также от цены топлива

При прочих равных условиях:

чем выше стоимость топлива, тем ниже

экономически оптимальное значение p_k

Для КЭС на органическом топливе оптимальные значения давления в конденсаторе находятся в пределах

$$p_k = 3,0 \div 4,5 \text{ кПа}$$

АЭС следует рассматривать как электростанции, работающие на дешевом топливе

АЭС строятся в районах, где среднегодовая температура охлаждающей воды в основном повышенная

Расходы пара на АЭС с турбинами насыщенного пара значительно выше, чем с турбинами перегретого пара той же мощности

Капитальные затраты в низкопотенциальную часть станции при таких же значениях вакуума, как в установках КЭС, заметно выше

По этим причинам (дешевое топливо, повышенная среднегодовая температура охлаждающей воды и высокие расходы пара) давление в конденсаторе на АЭС принимается более высоким, чем на КЭС

Оптимальные значения p_k на АЭС с водным теплоносителем принимается не ниже 4,0 кПа

Для мощных турбин

$$p_k = 4,5 \div 5,5 \text{ кПа}$$

Выбор конечного давления пара связан с частотой вращения турбины - 50 или 25 с^{-1}

Для быстроходных турбин окружные скорости выше, допустимая влажность меньше и поэтому значение p_k выше