

Лекція 7. Цикли паросилових установок. Цикл Ренкіна. Шляхи підвищення термічних ККД циклу. Теплофікаційні цикли.

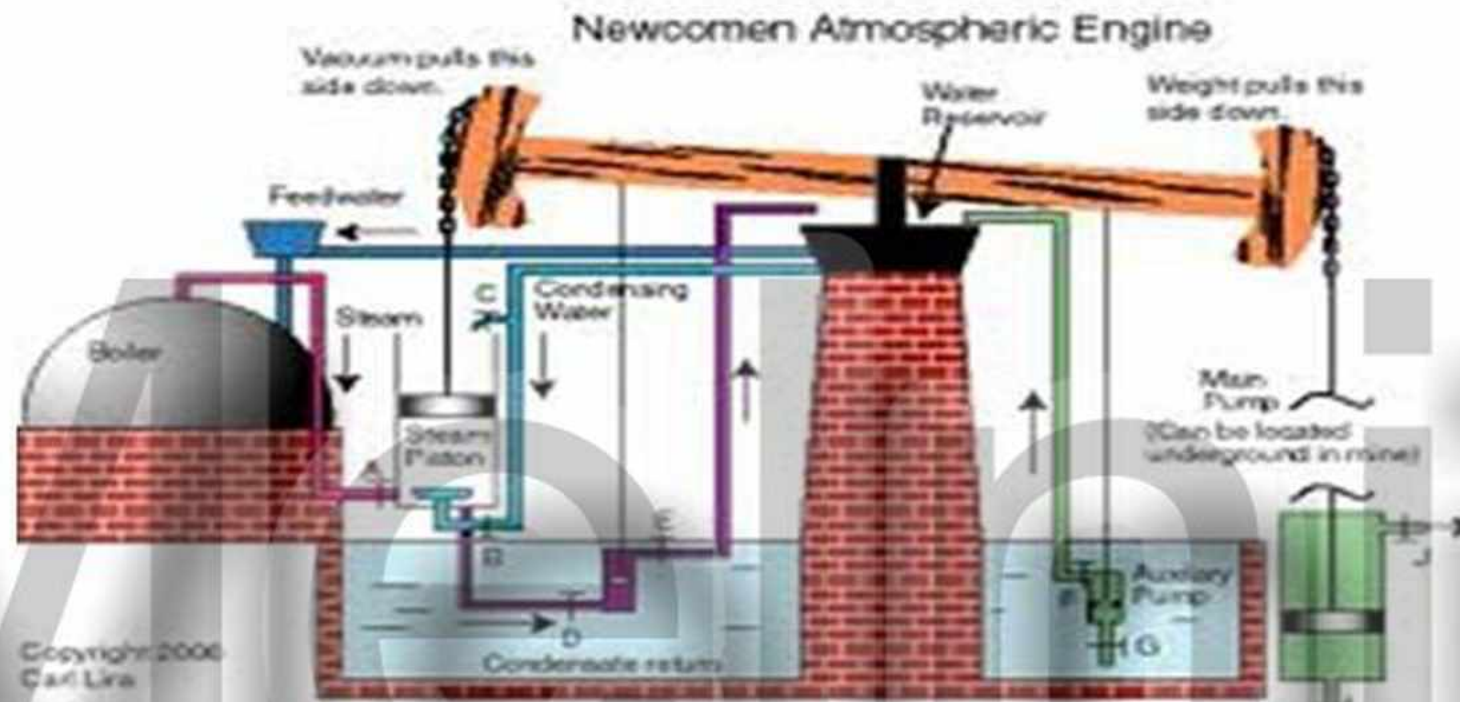
Біля однієї третини палива, що використовують в нашій країні, витрачають на отримання теплоти та електричної енергії. Розвиток народного господарства обумовлює ріст споживання електричної енергії. Варто мати на увазі, що біля 80% електричної енергії виробляють на теплових електростанціях, основним типом яких є паротурбінні електростанції, на яких використовують парові турбіни. Робочим тілом у парових турбінах виступає водяна пара. Можливість використання пари для виробництва енергії була відома ще 2000 років тому, але промислове застосування паросилових двигунів почалося лише в XVIII в.



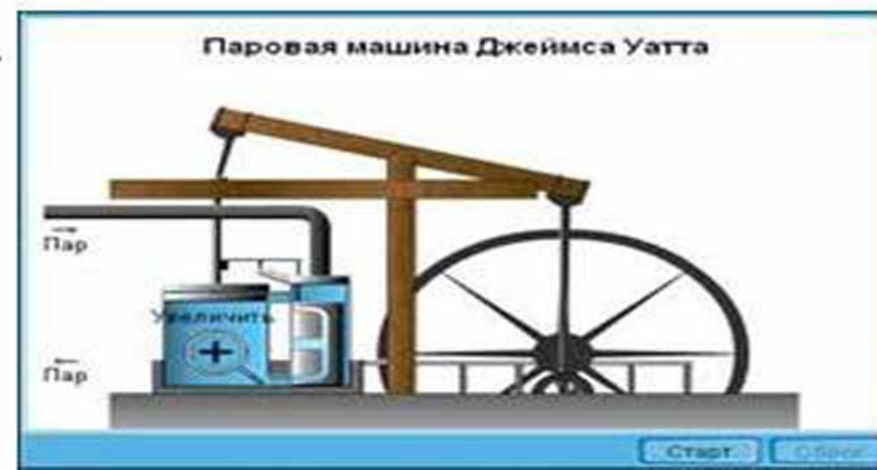
Вперше «парову» турбіну ще у 1 ст. н.е. винайшов грецький математик та механік Герон Олександрійський. Правда, тоді це була лише іграшка. Але перше слово було сказано.



- В 1711 р. Томасом Ньюкоменом була побудована одноциліндрова парова машина періодичної дії для підйому води. Потужність перших машин складала біля 6 кВт, а коефіцієнт корисної дії від 0,5 до 1%.



У 1784 р. Д. Уатт (1736-1819) побудував парову машину подвійної дії, а вже на початку ХІХ ст. парові машини стали використовувати на пароплавах і паровозах.



- Наприкінці ХІХ ст. з'явилася парова турбіна. Сучасна промислова теплоенергетика базується на використанні паросилових установок (ПСУ). Джерелом енергії у таких установках є теплота продуктів згорання органічного палива (вугілля, газ, нафтопродукти), або енергія ядерних перетворень важких елементів. Однак, продукти згорання тут не виконують ролі робочого тіла, а вони являються лише проміжними носіями теплоти, яку передають робочому тілу – воді та водяній парі.



Вперше цикл на перегрітій парі з повною конденсацією відпрацьованої пари запропонував шотландський вчений Ранкін, У.Дж. Макуорі (1820-1872), який і став називатися його іменем.

У.Дж. Макуорі Ранкін Цикл Ренкіна (Ранкіна) – це ідеальний цикл із повною конденсацією відпрацьованої пари. У цьому циклі немає втрат на тертя, немає втрат теплоти в котлі, турбіні і трубопроводах, усі процеси протікають оборотно, а сам процес розширення пари в турбіні проходить без теплообміну з навколишнім середовищем (тобто, адіабатно).

- Сучасні парові турбіни це досить складні інженерні конструкції

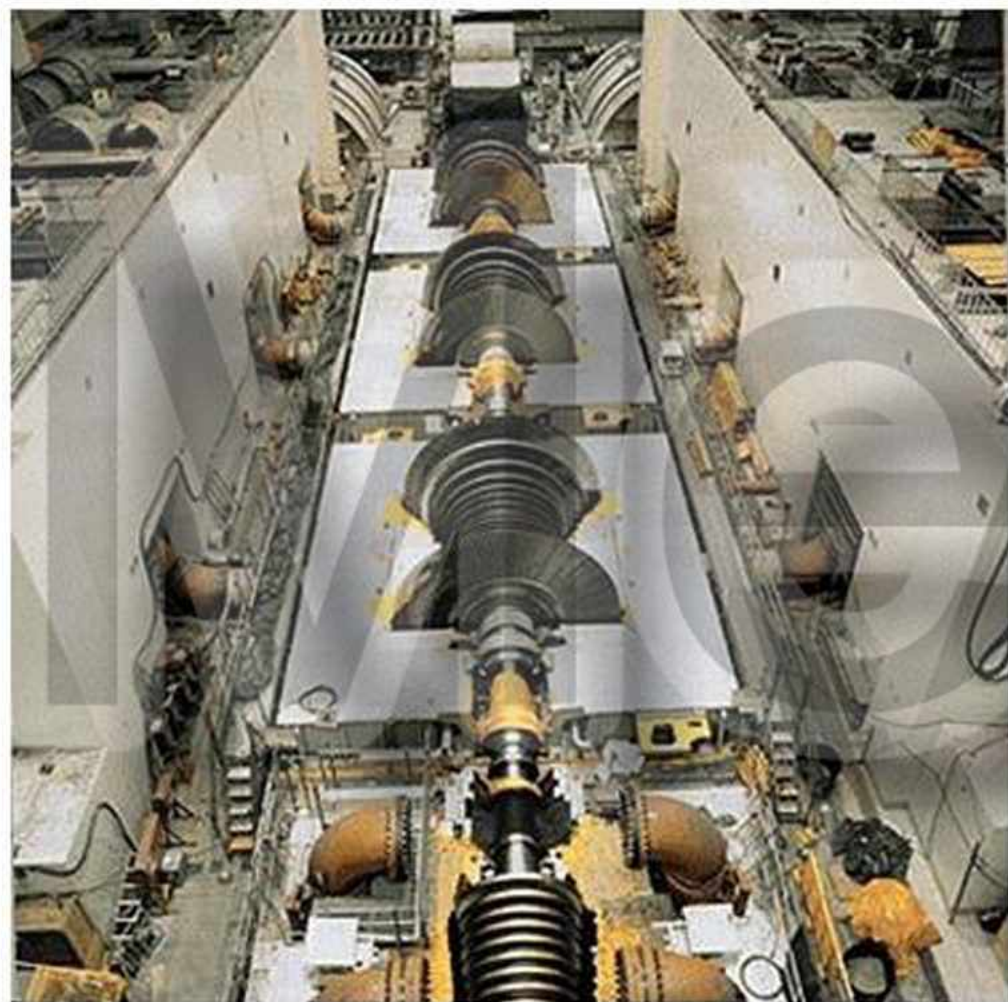
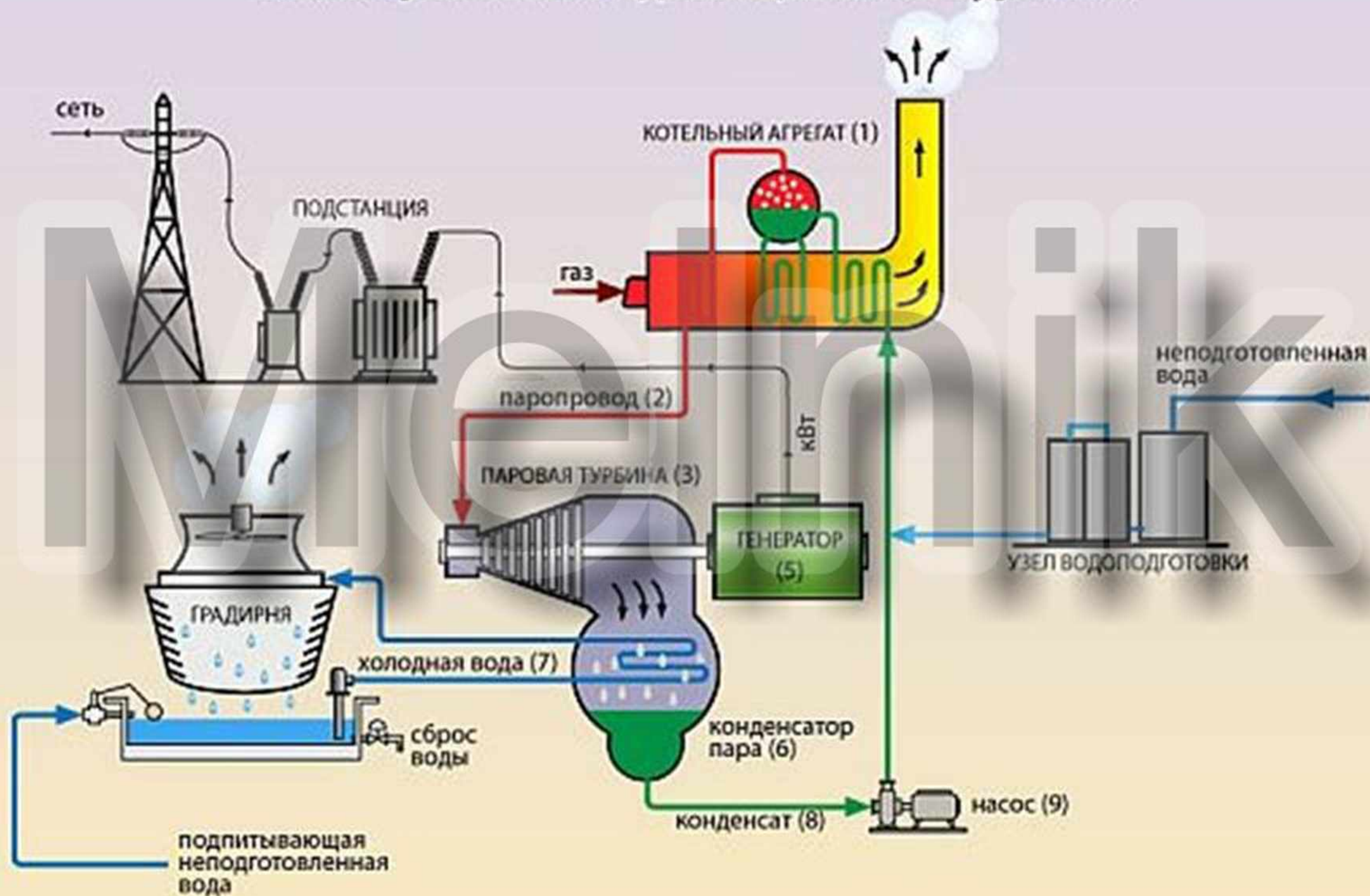
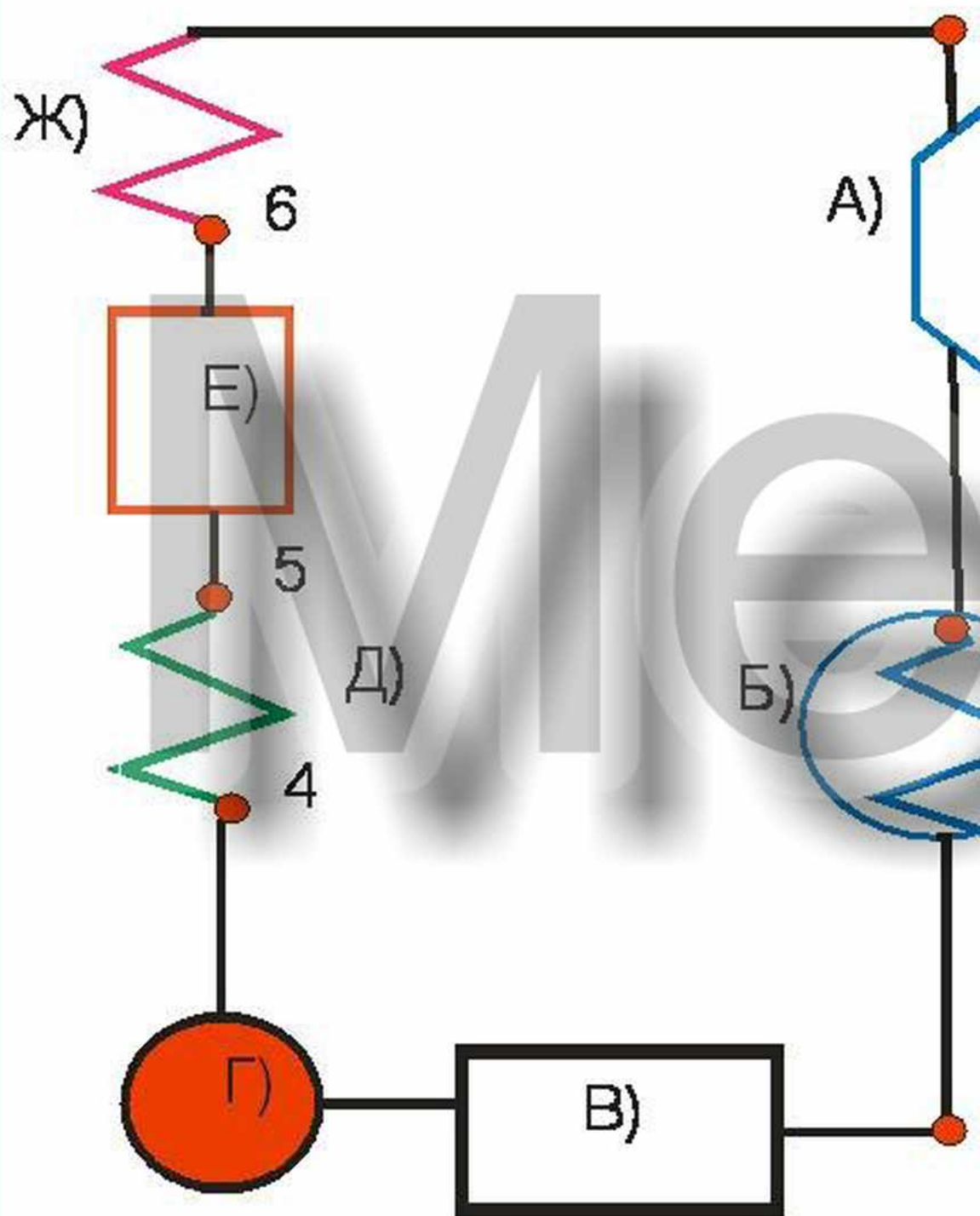


Схема работы конденсационной турбины





1



*Принципова
схема ПСУ,
працюючої по
циклу Ренкіна*

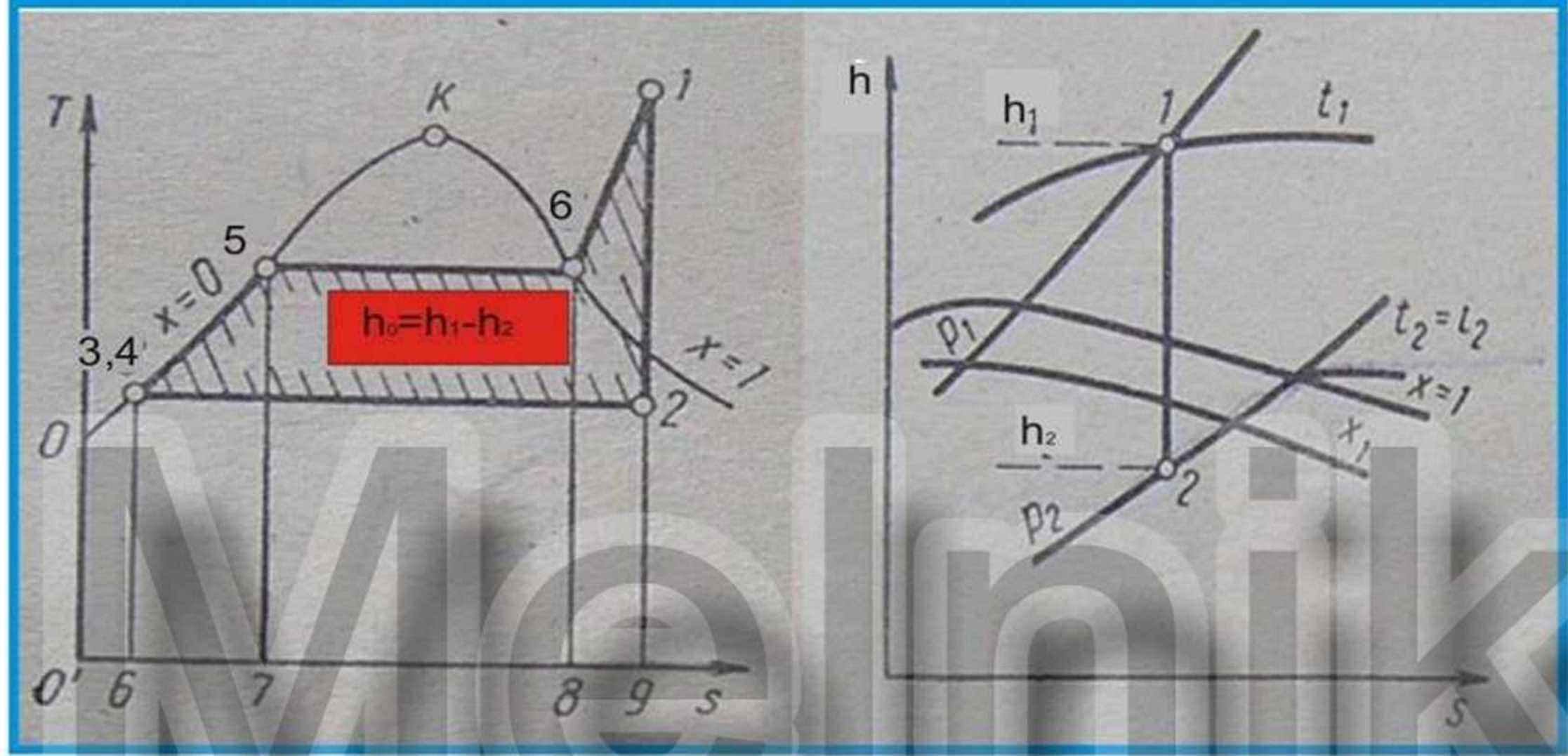
2



- А) турбіна (генератор);
- Б) конденсатор;
- В) живильний бак;
- Г) живильний насос;
- Д) водяний економайзер;
- Е) водяний котел;
- Ж) пароперегрівник.

3



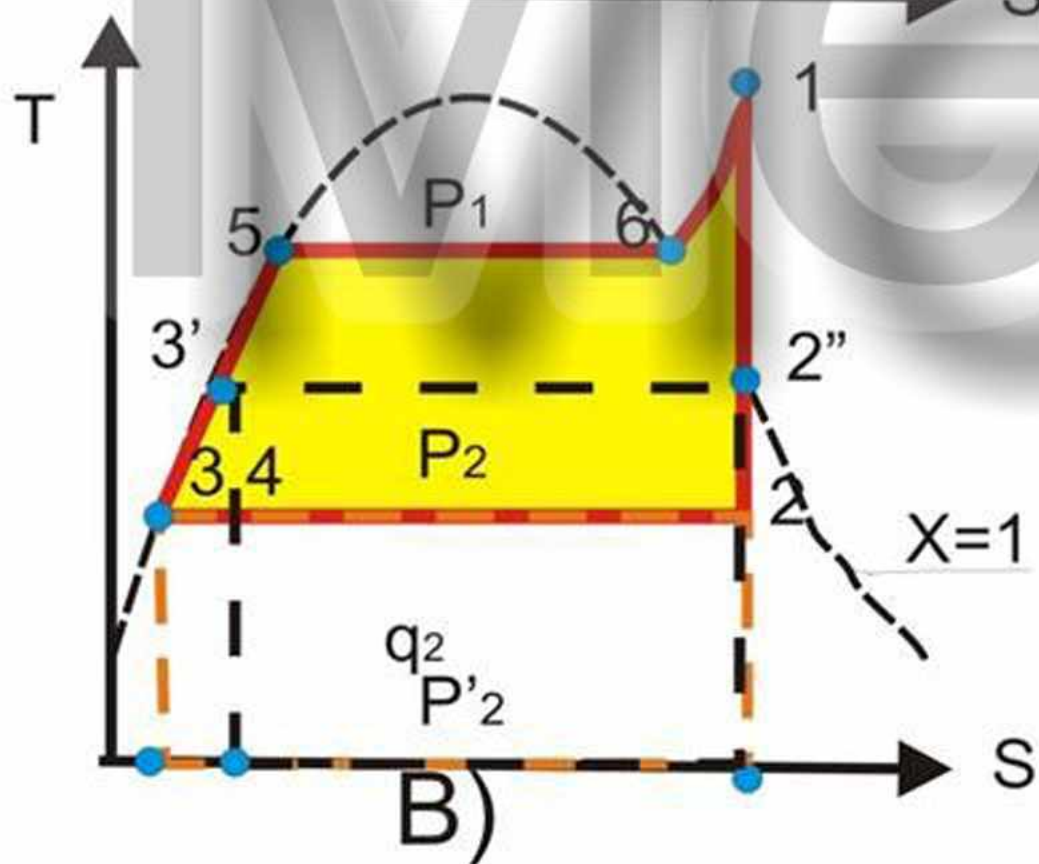
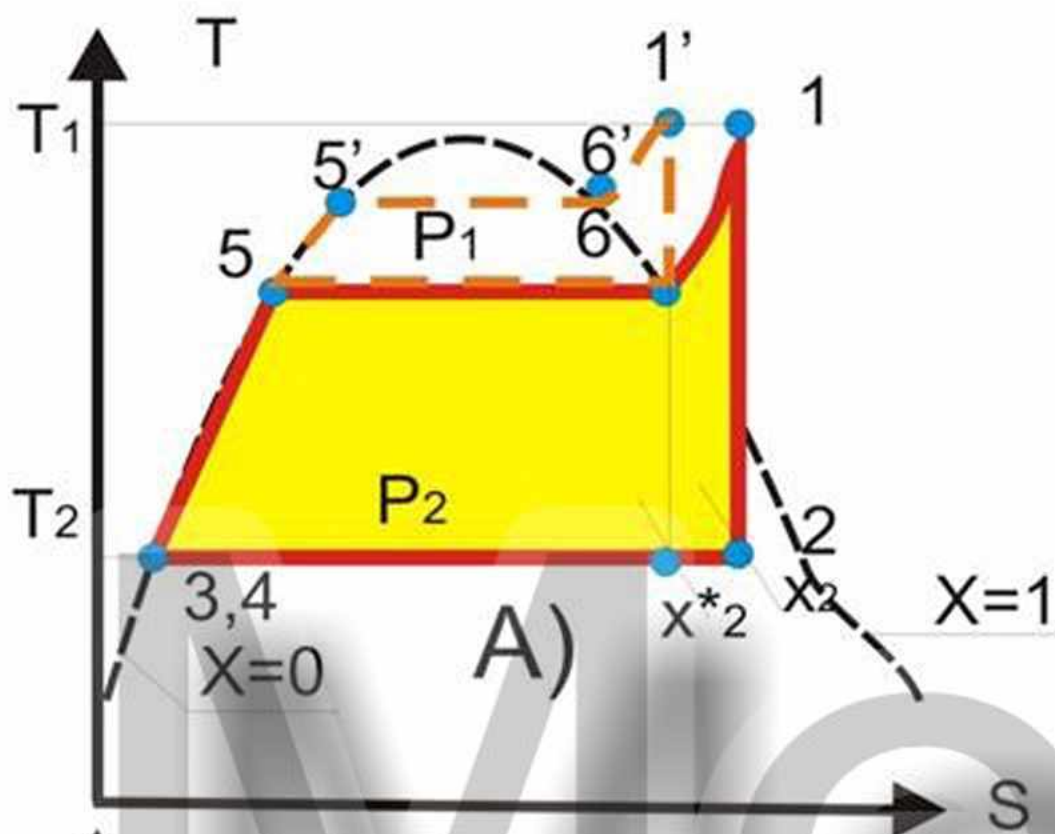


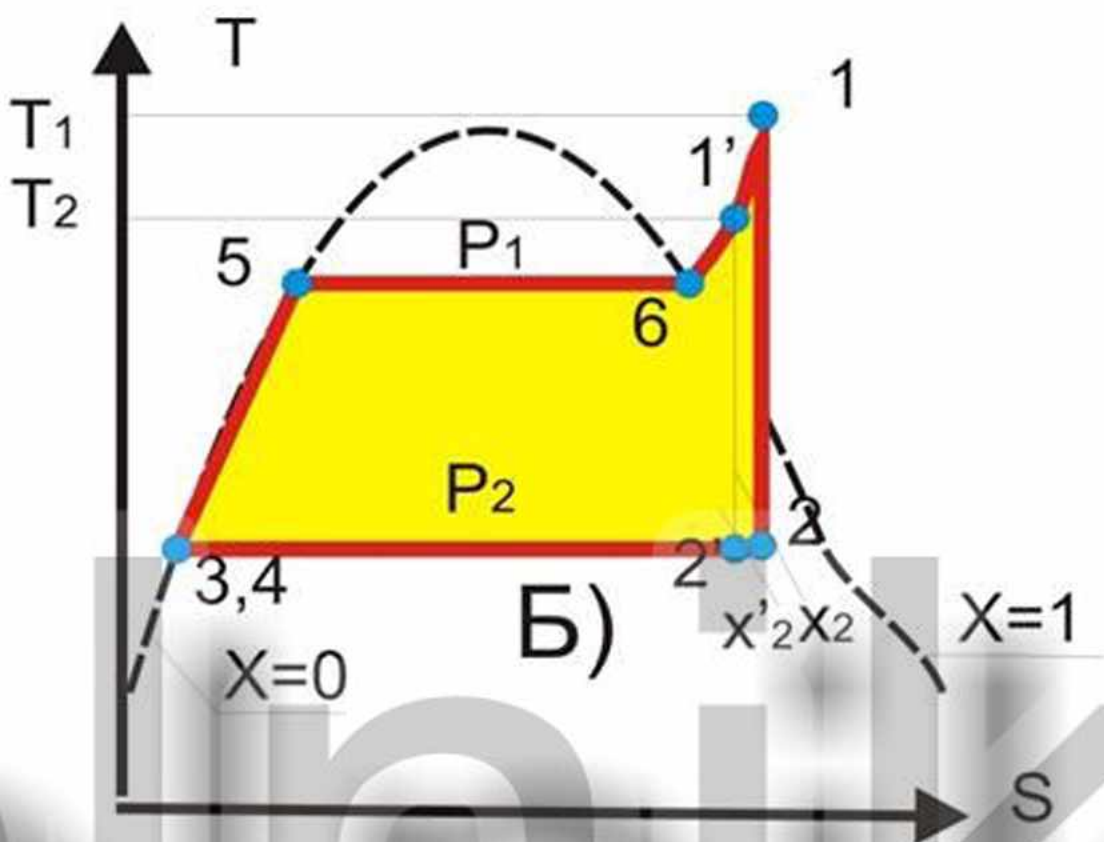
$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{[(h_1 - h'_2) - (h_3 - h'_2) - (h_2 - h'_2)]}{(h_1 - h'_2) - (h_3 - h'_2)}$$

, або

$$\eta = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3}, \text{ так як } h_3 = h'_2$$

Термічний ККД циклу Ренкіна дорівнює відношенню адиабатного теплопадиння (різниці ентальпій пари на вході і на виході з турбіни) до різниці ентальпій перегрітої пари і киплячої води при тискові в конденсаторі. Ефективність роботи паросилової установки визначається питомою витратою пари d , яка характеризує витрату пари на здійснення одиничної роботи. $d = D/N = 3600/(h_1 - h_2)$
 ,де N потужність в кВт, D годинна витрата пари в кг\год





Вплив параметрів водяної пари на ефективність роботи ПСУ, працюючих по циклу Ренкіна :

А) вплив початкового тиску;

Б) вплив початкової температури;

В) вплив кінцевого тиску.

○ Вплив початкового тиску:

- З підвищенням тиску середньоінтегральна температура підведення теплоти зростає і ккд підвищується (підвищення тиску понад 30МПа вважається недоцільним, бо значно збільшує металомісткість установки, що небажано як конструктивно так і економічно);
- суттєвим недоліком підвищення ккд ідеального циклу Ренкіна за рахунок підвищення початкового тиску є підвищення вологості пари у кінці процесу розширення (Це призводить до більш інтенсивного тертя пари між окремими струменями і поверхнею лопаток, що зумовлює необоротність процесу і зниження ккд).

○ Вплив початкової температури:

- З підвищенням температури перегріву, при постійних початковому і кінцевому тисках, термічний ккд зростає, а вологість пари в кінці процесу розширення падає (обмеження - визначається термічною стійкістю матеріалу лопаток турбіни - звичайної сталі, то
- $t_{\max} = 550 \dots 575$ град.С, нержавіючої – $600 \dots 650$ град.С.

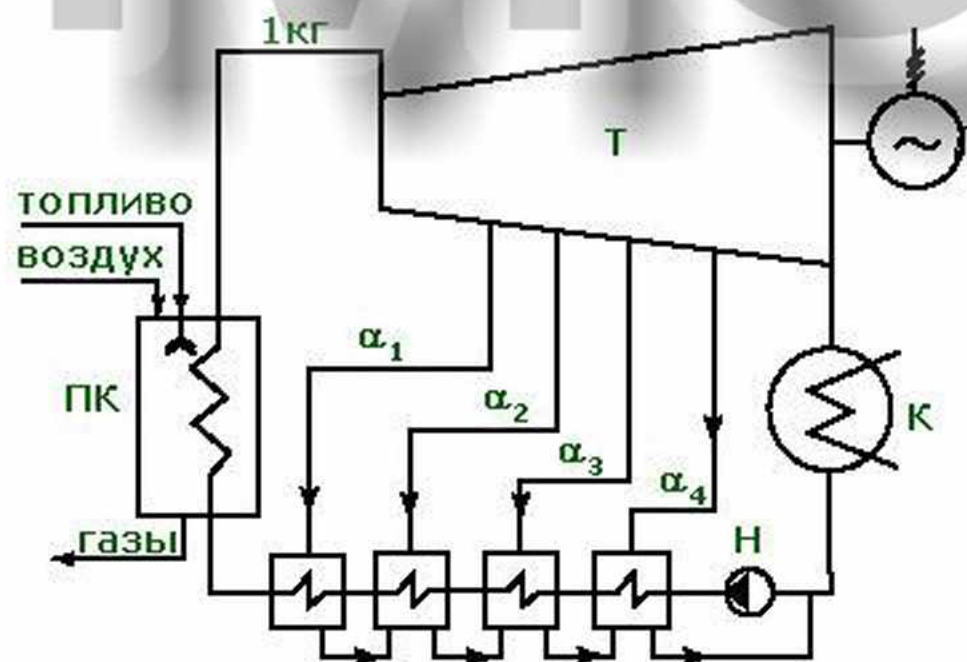
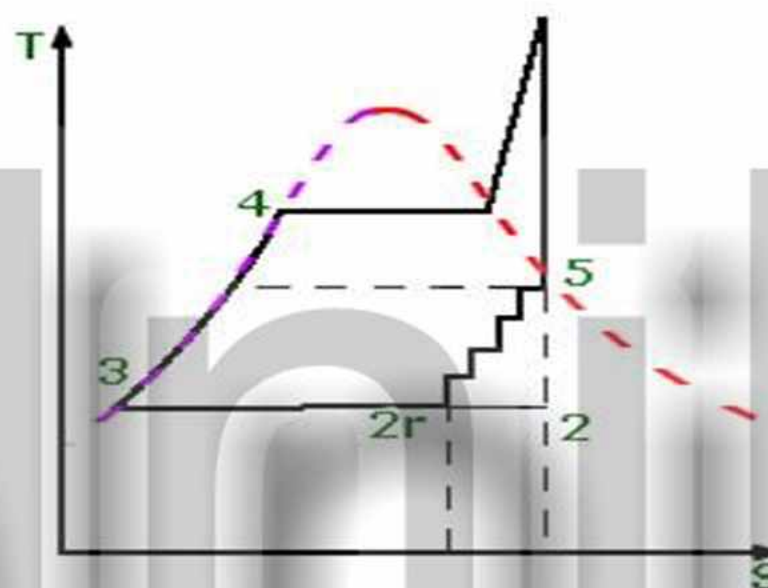
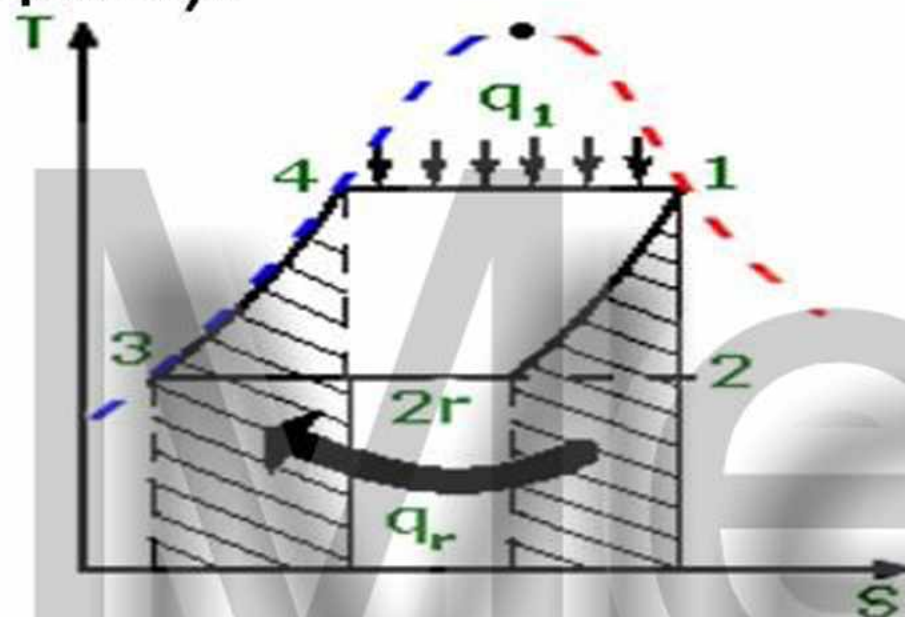


- Вплив кінцевого тиску (температури):
- Із зменшенням кінцевого тиску ккд зростає, однак таке зростання обмежене температурою навколишнього середовища (Для забезпечення надійного теплообміну температура пари в конденсаторі має бути на 10-15°C вищою температури НС (для нашої зони середньорічна температура становить порядку 15°C), тобто 25...30° С, що відповідає тискові пари в конденсаторі $P_2 = 0,003 \dots 0,004 \text{ МПа}$ (глибокий вакуум).
- На сьогодні, на теплових електростанціях практично досягнуто граничних значень тиску P_2 , тому подальше підвищення термічного ккд можливе лише за рахунок підвищення початкових параметрів пари: тиску та температури.



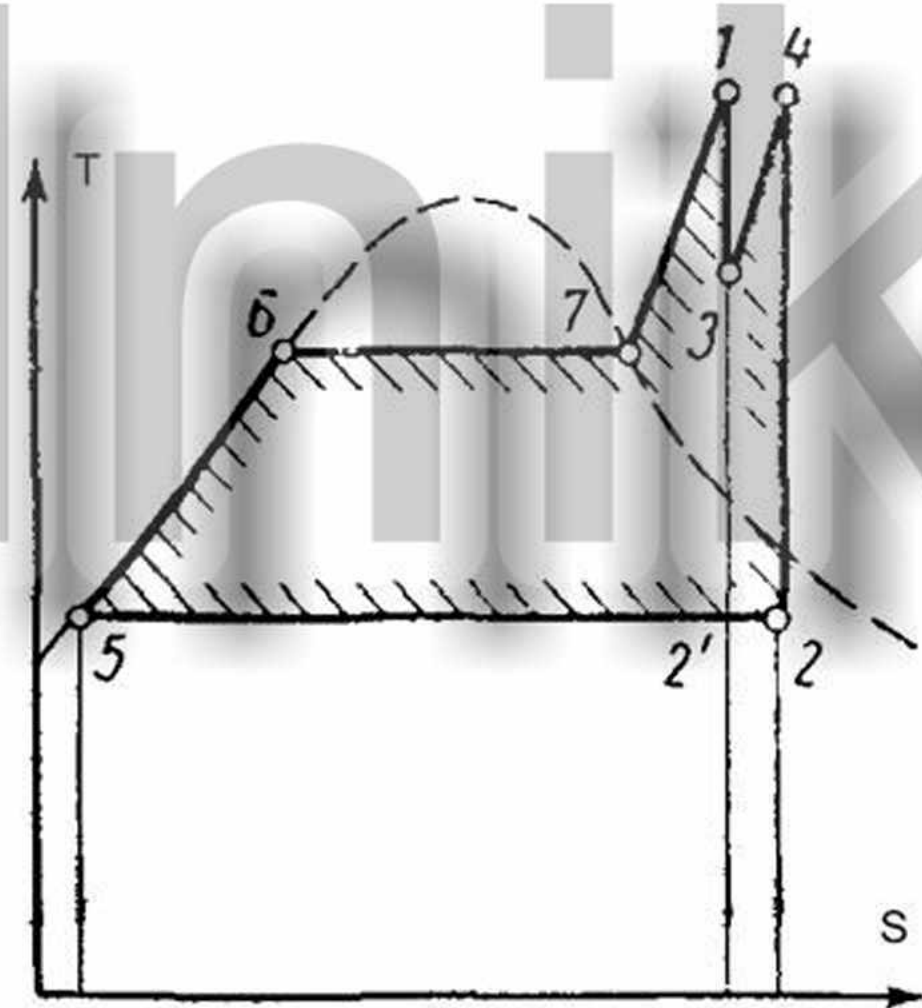
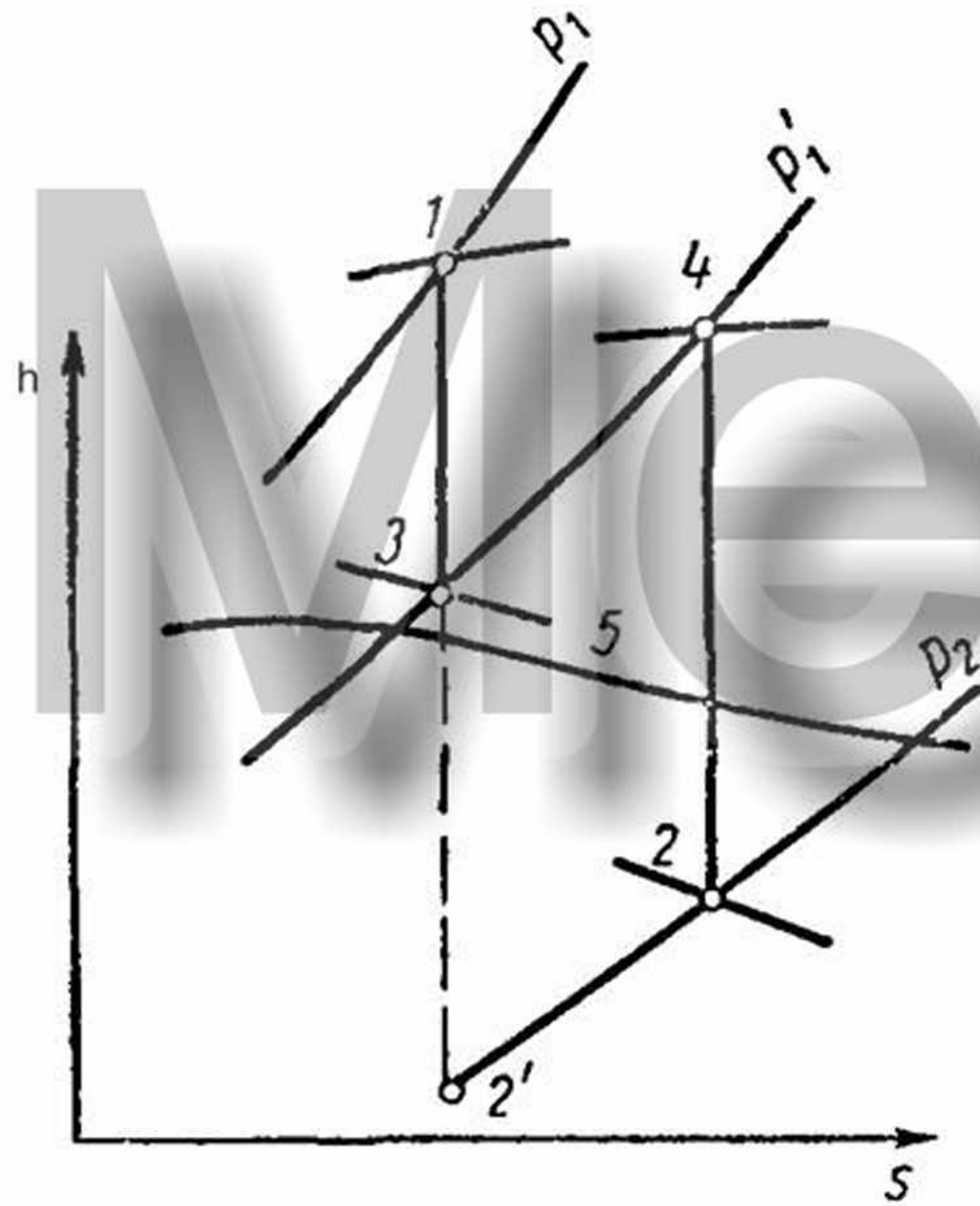
- Удосконалення циклів ПСУ.

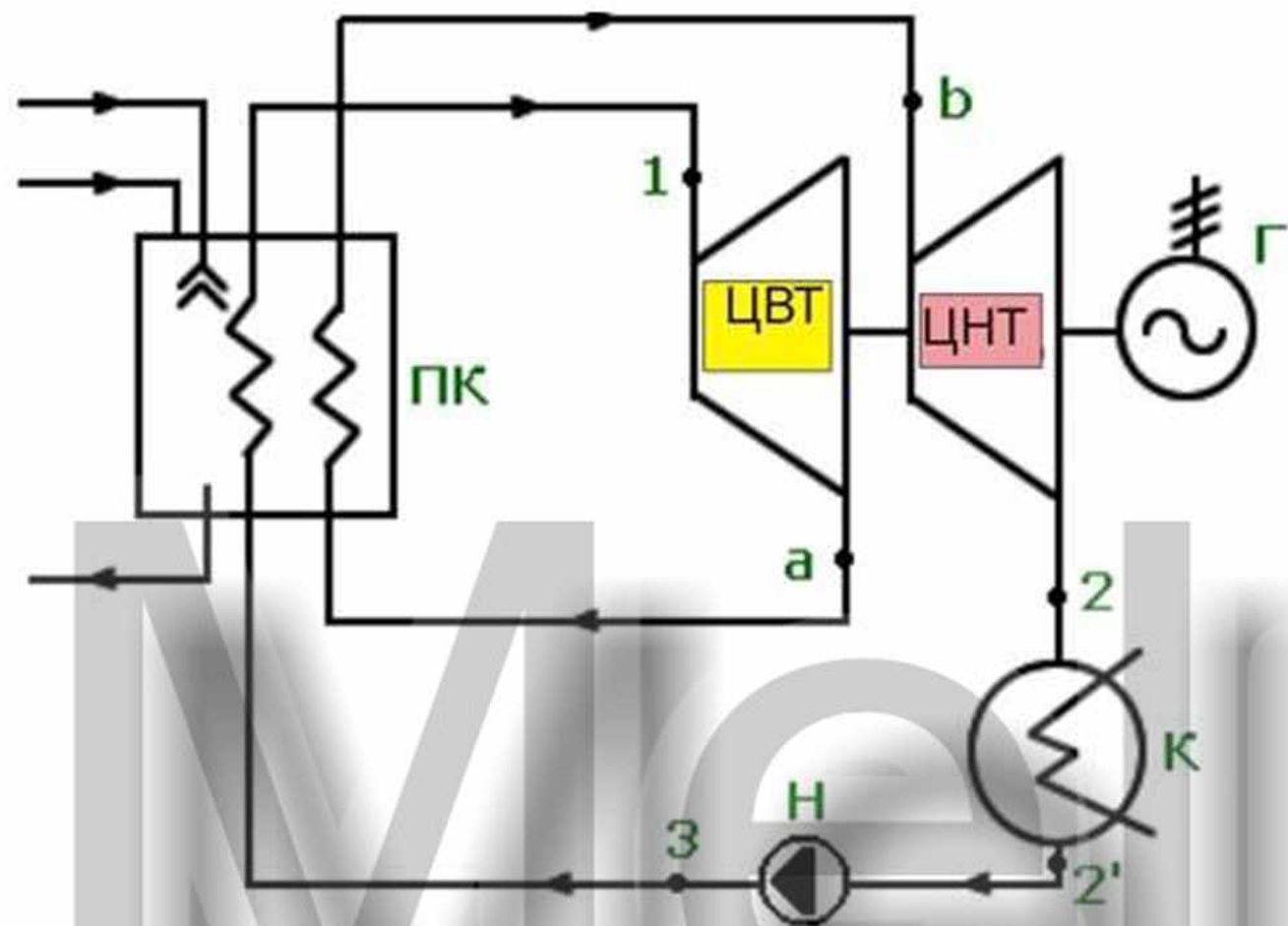
- 1. Підігрівання конденсату та живильної води частково відпрацьованою парою (регенеративний цикл):



Любе збільшення ступенів відбору пари підвищує термічний ккд регенеративного циклу. Однак, кожний наступний ступінь відбору вносить все менший вклад у підвищення ккд. У сучасних потужних паротурбінних установках кількість ступенів відбору може досягати десяти, що підвищує ккд на 10... 15%.

- 2. Проміжний перегрів частково відпрацьованої пари (цикл з проміжним перегрівом пари).



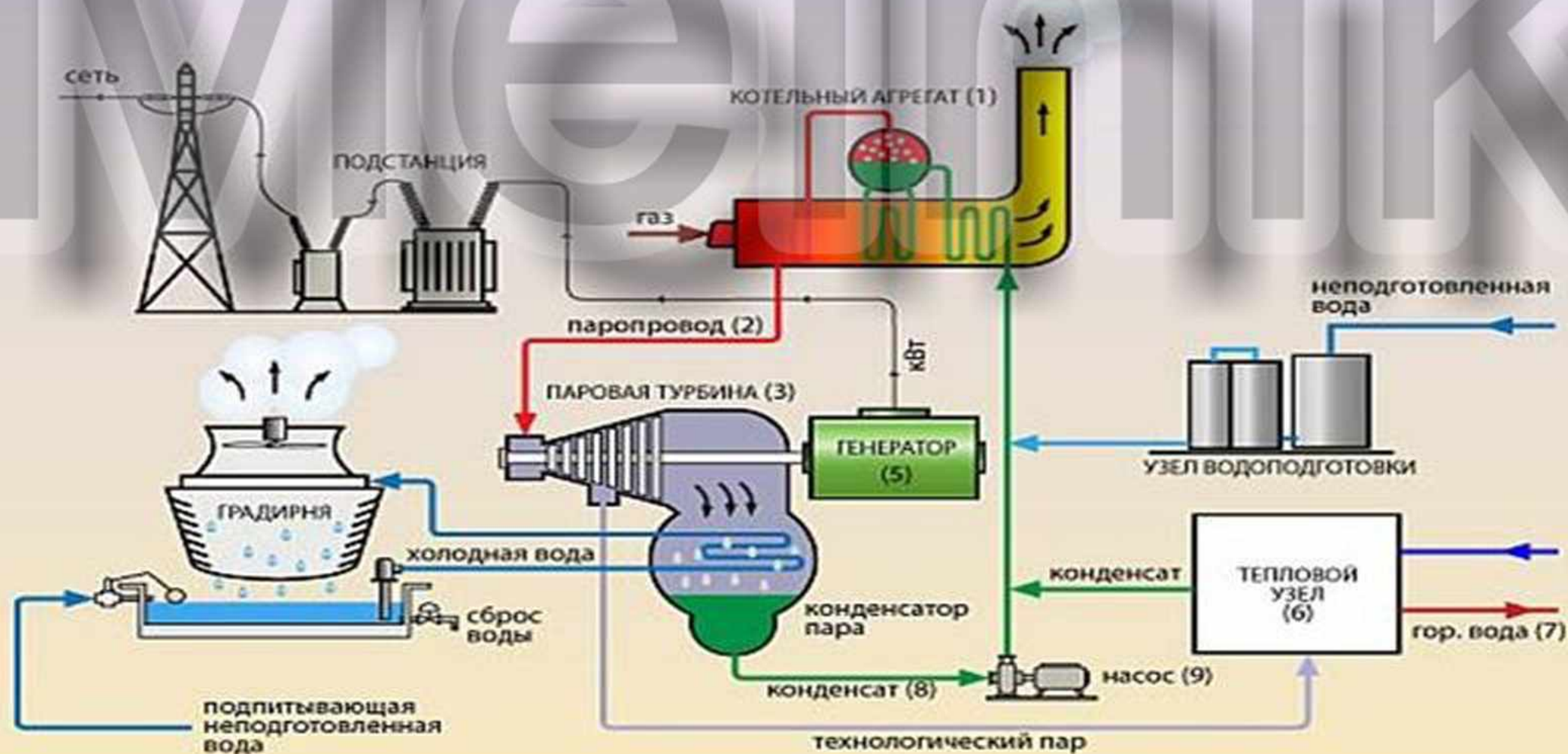


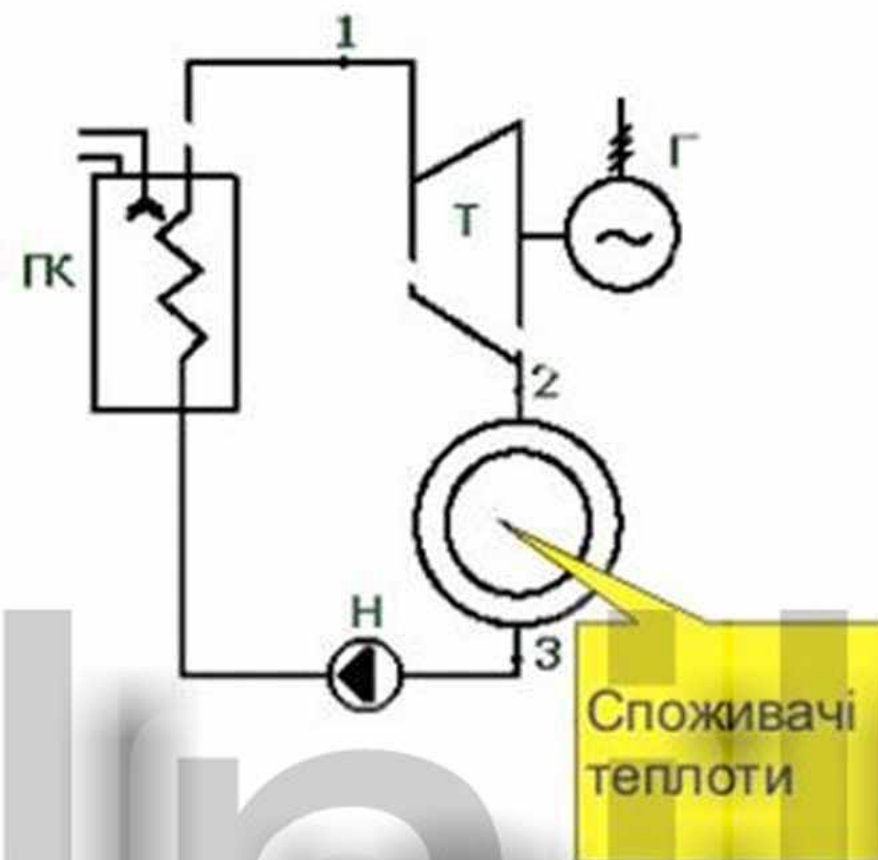
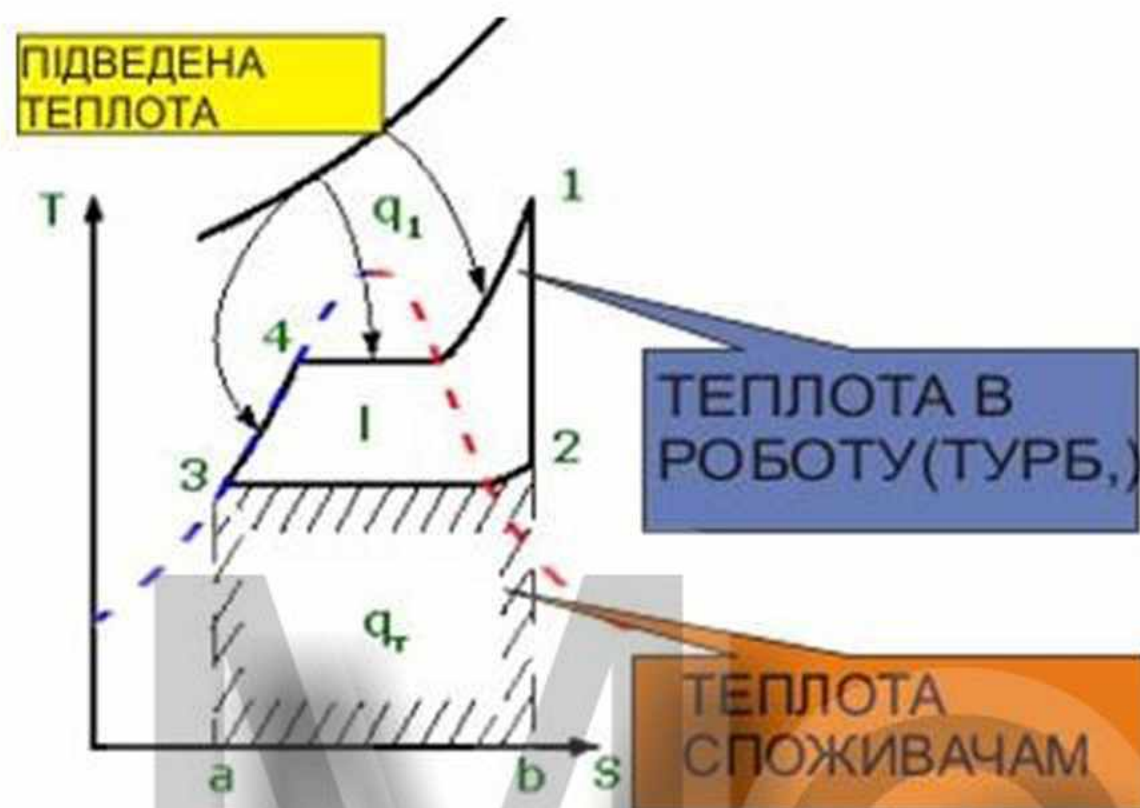
Залежно від параметрів термічний ккд циклу з проміжним перегрівом пари може бути більшим або меншим за ккд звичайного циклу Ренкіна. Однак слід пам'ятати, що основною задачею циклу з проміжним перегрівом пари є підвищення степені сухості пари в кінці розширення в турбіні. Добором різних варіантів параметрів проміжного перегріву пари все ж таки вдається підвищити ккд цього циклу на 4...6% .

○ 3. Теплофікаційні цикли.

- Станції, які одночасно виробляють електроенергію і тепло називають Теплоелектроцентралями (ТЕЦ), а турбіни, що використовують для цього – теплофікаційними. Станції які виробляють тільки електроенергію називають конденсаційними Електростанціями (КЕС), а турбіни – конденсаційними. КЕС працюють за циклом Ренкіна.
- На ТЕЦ охолоджувальну воду конденсатора не подають у градильню, як на КЕС, а використовують на теплові потреби.

Схема работы теплофикационной турбины





- для оцінювання роботи ТЕЦ вводять коеф. використання теплоти $\eta_{e.m.}$, під яким розуміють відношення суми корисної роботи, що іде на вироблення електроенергії і теплоти $q_{m.c.}$, що подається тепловому споживачеві, до сумарної кількості теплоти q_1 , підведеної до робочого тіла у циклі:
$$\eta_{e.m.} = (l_k + q_{m.c.}) / q_1$$
- Теоретично, для ідеального теплофікаційного циклу $\eta_{e.m.}$ може дорівнювати 1, однак у промислових умовах він дорівнює 0,6...0,9.