

## РОЗДІЛ 10

### ВТОРИННІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

#### 10.1 Класифікація і загальна характеристика вторинних енергоресурсів

Зовнішні енергоресурси, які споживає підприємство для технологічних та господарсько-побутових потреб називають первинними енергоресурсами (ПЕР) . Вторинні енергоресурси (ВЕР) - це ЕР (запас енергії) в продукції, відходах і проміжних продуктах виробництва (технологічного процесу), які не використовуються в самому виробництві, але при даному рівні розвитку техніки може повністю або частково використовуватися для енергопостачання інших виробництв або процесів, а в деяких випадках і для тих виробництв, в яких утворилися ВЕР .

Перший напрямок використання ВЕР називають зовнішнім, а другий - внутрішнім. Приклади зовнішнього і внутрішнього використання ВЕР: теплота відхідних газів нагрівальних печей використовується для підігріву води в системах опалення (зовнішній напрямок), теплоту тих же газів використовують для підігріву повітря, яке необхідне для спалювання природного газу в нагрівальній печі (внутрішній напрямок).

ВЕР класифікують за видами на три групи : паливні (горючі) , теплові та ВЕР надлишкового тиску.

Горючі ВЕР (ГВЕР) - це відходи технологічних процесів, які містять в собі хімічно зв'язану теплоту і не використовуються як котельно-пічне паливо. До ГВЕР неможливо відносити продукти і відходи паливопереробних установок, що містять пов'язану теплоту, тому, що вони є низькосортними видами переробленого палива. Це відходи нафтопереробних заводів - мазут, газоперегонних установок, вуглезбагачувальних заводів - вугілля марки АШ зі значним вмістом мінеральної складової ( $A \approx 50\%$ ). Приклади ГВЕР: доменний і коксовий газ, тріска, стружка, тирса деревообробних підприємств та ін.

Теплові ВЕР (ТВЕР) - це фізична теплота відхідних газів технологічних агрегатів, основної, побічної і проміжної продукції та відходів основного виробництва. До теплових ВЕР відносять всю попутно вироблену теплоту з парою і гарячою водою в енерготехнологічних агрегатах. До ТВЕР не відносять фізичну теплоту повернутих від споживачів пари, конденсату, а також фізичну теплоту потоків схем регенерації. Приклади ТВЕР: теплота

відхідних газів котлів та печей, теплота стисненого повітря після компресора, теплота охолодження підшипників нагнітачів, двигунів та ін.

ВЕР надлишкового тиску (ВЕРНТ) - це потенційна енергія газів, водяної пари, рідин, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском, який необхідно знижувати перед подальшим використанням або при викиді в атмосферу. Це найменш розповсюджені ВЕР. Приклади ВЕРНТ: тиск газу перед ГРП, тиск пари перед РОУ, тиск доменного газу на виході з доменної печі.

Усі три види ВЕР - це енергоресурс, носієм якого є матеріальна субстанція - носій ВЕР. Приклади носіїв ВЕР: водяний пар, вода, гази, що відходять, стиснене повітря, шлак, вода безперервного продування парових котлів та ін. Кожен носій ВЕР має свої теплофізичні властивості: щільність, теплоємність, теплопровідність, в'язкість, однорідність складу, агресивність, агрегатний стан, плинність, наближеність до фазових переходів, тиск і температура.

Через те, що ВЕР пов'язані з технологічними процесами, то витрата носія ВЕР залежить від режиму роботи технологічних агрегатів: стабільний або переривчастий, з постійним або часткової навантаженням протягом зміни, доби, місяця і сезону року.

## 10.2 Кількісна характеристика ВЕР

ВЕР характеризується наступними показниками: вихід ВЕР, вироблення енергії за рахунок ВЕР економія палива за рахунок ВЕР, ступінь використання ВЕР. Вихід ВЕР - кількість ВЕР, які утворилися в технологічному агрегаті за певний період часу (годину, зміна, доба і ін.).

Вихід горючих ВЕР

$$Q_{ТВЕР} = G_H Q_H^P, \quad (10.1)$$

де  $G_H$  - витрата носія ВЕР;  $Q_H^P$  - теплота згоряння носія ВЕР.

Вихід теплових ВЕР

$$Q_{ТВЕР} = G_H \Delta i = G_H C_p (t_H - t_0), \quad (10.2)$$

де  $t_H$  - температура носія ВЕР на виході з технологічного агрегату;  $t_0$  - температура носія ВЕР перед наступною стадією технологічного процесу,

або температура навколишнього середовища, якщо носій ВЕР викидають в цю середу.

У разі, коли носій ВЕР - суміш, то

$$Q_{\text{ТВЕР}} = \sum_{i=1}^n \gamma_{Hi} G_H C_P (t_{Hi} - t_0) , \quad (10.3)$$

де  $\gamma_{Hi}$  - масова частка  $i$ -го компонента носія ВЕР.

Вихід ВЕРНТ оцінюють як роботу ізоентропного розширення. При носії ВЕР - рідини з тиском  $P_H$  на виході

$$Q_{\text{ВЕРНТ}}^P = \frac{P_H - P_0}{\rho} G_H, \quad (10.4)$$

де  $\rho$  - густина рідини;  $P_0$  - тиск носія перед наступною стадією.

При носії – газі

$$Q_{\text{ВЕРНТ}}^\Gamma = G_H (i_H - i_0) , \quad (10.5)$$

Індекси «н» і «о» в рівняннях (10.4), (10.5) мають той же зміст, що і в рівнянні (10.2) розрахунку виходу ТВЕР. Вихід ВЕР залежить від режиму роботи технологічного агрегату. Тому вихід ВЕР може бути максимальним, мінімальним або середнім за характерний проміжок часу (годину, зміна, доба тощо).

### 10.3 Вироблення енергії за рахунок ВЕР

Ця кількість теплоти, електроенергії або холоду, одержуваної в утилізаційній установці (УУ) з ВЕР за певний проміжок часу. До УУ надходить ВЕР в кількості

$$Q_{\text{УУ}} = Q_{\text{ВИХ}} - Q_{\text{ВТ1}} , \quad (10.6)$$

де  $Q_{\text{ВИХ}}$  - вихід ВЕР з технологічних агрегатів;  $Q_{\text{ВТ1}}$  - втрати енергії на ділянці «технологічний агрегат - УУ».

Вироблення енергії в УУ визначають за рівнянням

$$Q_{\text{ВИР}} = Q_{\text{УУ}} \eta_{\text{УУ}} = Q_{\text{УУ}} - Q_{\text{ВТ2}}, \quad (10.7)$$

де  $\eta_{\text{УУ}}$  - к.к.д. УУ, що враховує втрати енергії  $Q_{\text{ВТ2}}$  в УУ.

Доцільна кількість вироблення енергії в УУ  $Q_{\text{ВИР}}$  визначають техніко-економічним розрахунком.

*Ступінь використання ВЕР.* До споживача надходить енергія  $Q_c$  менша, ніж вироблена в УУ  $Q_{\text{ВИР}}$  на величину втрати енергії  $Q_{\text{ВТ3}}$  на ділянці «УУ - споживач». Ступінь використання ВЕР

$$k_{\text{ВЕР}} = \frac{Q_c}{Q_{\text{ВИХ}}} = \left( 1 - \frac{Q_{\text{ВТ1}} + Q_{\text{ВТ2}} + Q_{\text{ВТ3}}}{Q_{\text{ВИХ}}} \right), \quad (10.8)$$

#### 10.4 Економія палива за рахунок утилізації ВЕР

При утилізації теплових ВЕР економлять паливо в джерелі енергопостачання підприємства (котельня або ТЕЦ). Якщо на підприємстві відсутнє власне джерело теплопостачання, то при утилізації ВЕР зменшуються витрати коштів на закупівлю відповідних видів енергії (теплота або електроенергія) у зовнішніх постачальників енергії. Надалі будемо розглядати варіант теплопостачання підприємства від власного ДТ - котельні або ТЕЦ. Якщо ДТ - котельня, то економію палива розраховують за рівнянням

$$V_{\text{ЕК}} = b_k Q_c, \quad (10.9)$$

де  $b_k$  - питома витрата умовного палива на відпущену теплову енергію від котельні

$$b_k = \frac{0.143}{\eta_k} \left[ \frac{\text{т.у.п.}}{\text{Гкал}} \right] = \frac{0.0342}{\eta_k} \left[ \frac{\text{т.у.п.}}{\text{ГДж}} \right], \quad (10.10)$$

де  $\eta_k$  - к.к.д. котельні ( $\eta_k = 0,85 - 0,9$  залежно від виду палива).

Якщо ДТ - ТЕЦ і в УУ за рахунок ВЕР отримують теплову енергію, то економію палива розраховують за рівнянням

$$V_{\text{ЕК}} = Q_c b_T [1 - \bar{\epsilon}_T (q_K - q_T)], \quad (10.11)$$

де  $b_T$  - питома витрата умовного палива на відпуск тепла від ТЕЦ;  $\bar{\epsilon}_T$  - питома

вироблення електроенергії на ТЕЦ по теплофікаційному циклу на одиницю відпущеної теплоти, кВт·год/ГДж;  $q_k$ ,  $q_T$  - питомі витрати теплоти на вироблення електроенергії на ТЕЦ по конденсаційному теплофікаційному циклі, відповідно, ГДж/кВт·год.

При утилізації горючих ВЕР в енергетичних котлах котельні або ТЕЦ економію палива розраховують за рівнянням

$$B_{ek} = B_{ГВЕР} \frac{\eta_{К(ГВЕР)}}{\eta_{К}}, \quad (10.12)$$

де  $B_{ГВЕР}$  - використане в котлах паливо ГВЕР в умовному обчисленні, т.у.п., або кг.у.п.;  $\eta_k$ ,  $\eta_{К(ГВЕР)}$  - к.к.д. котлів при роботі на первинному паливі та на ГВЕР (або суміші первинного палива та ГВЕР), відповідно.

### 10.5 Техніко-економічний розрахунок доцільності використання ВЕР

Ступінь використання ВЕР не є постійною величиною і може змінюватися в діапазоні від 0 до 1. Кожному поточному значенню коефіцієнта  $k_{вер}$  відповідає своя величина економії палива  $B_{ек}$  в ДТ, яка приводить до зменшення витрат коштів на купівлю палива на ринку енергоресурсів. Із збільшенням коефіцієнта  $k_{вер}$  зростає лінійно (у першому наближенні) економія палива і відповідно зменшуються витрати коштів на купівлю палива ВКП (лінія ВКП =  $f(k_{вер})$  на рис.10.1).

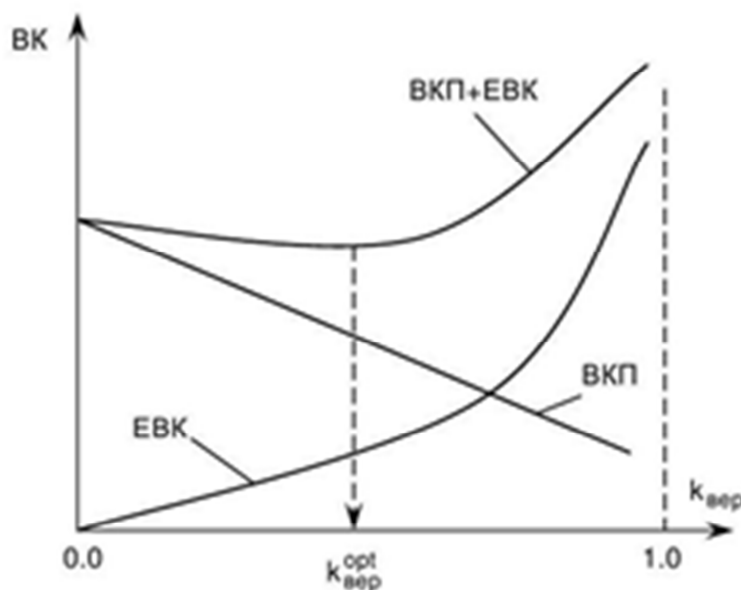


Рис.10.1 Визначення оптимального ступеня використання ВЕР  
ВКП - витрати коштів на паливо; ЕВК - експлуатаційні витрати коштів

Першому наближенню відповідає припущення, що ДТ та УУ роблять з постійним ККД. Незалежно від зміни  $k_{\text{вер}}$  з іншого боку, при збільшенні коефіцієнта  $k_{\text{вер}}$  ростуть експлуатаційні витрати коштів на утримання УУ: амортизація і ремонт устаткування та комунікацій, електроенергія на транспорт енергоносіїв (вода або пара), заробітна плата персоналу і інш. (Лінія  $\text{ЕВК} = f(k_{\text{вер}})$ ).

Характер залежності  $\text{ЕВК} = f(k_{\text{вер}})$  нелінійний тому, що при збільшенні  $k_{\text{вер}}$  температурний напір в УУ не залишається постійним, а зменшується в той час як утилізована теплота збільшується.

Відповідно до рівняння теплопередачі в УУ

$$Q = kF\Delta t, \quad (10.13)$$

При практично незмінному темпі зростання теплоти  $Q$  темп зростання площі теплообміну  $F$  більше темпу зростання  $k_{\text{вер}}$ , тобто

$$F_{\text{УУ}} \sim k_{\text{ВЕР}}^n, \quad (10.14)$$

де показник ступеня  $n > 1$ .

Сумарні витрати коштів на паливо і експлуатаційні витрати (лінія  $\text{СВ} = \text{ВКП} + \text{ЕВК} = f(k_{\text{ВЕР}})$  на рис.10.1) мають мінімум  $\text{СВ}_{\text{min}}$ . Коефіцієнт  $k_{\text{вер}}$ , який відповідає  $\text{СВ}_{\text{min}}$ , є оптимальним значенням ступеня використання ВЕР  $k_{\text{ВЕР}}^{\text{opt}}$ . При  $k_{\text{вер}} < k_{\text{ВЕР}}^{\text{opt}}$  має місце мала економія палива, а при  $k_{\text{вер}} > k_{\text{ВЕР}}^{\text{opt}}$  - занадто великі експлуатаційні витрати.

## 10.6 Напрямки використання ВЕР

Можливі такі напрями використання ВЕР:

1. Паливний напрямок. Він характерний лише для ГВЕР. Їх використовують як котельно-пічне паливо шляхом спалювання у вогнетехнічних установках (Котли, печі, нагрівальні колодязі тощо).

2. Тепловий напрямок. ГВЕР спалюють і отримують водяний пар або гарячу воду для систем тепlopостачання або спалюють у вогнетехнічних установках і теплоту згоряння використовують в енерготехнологічних установках (печі, колодязі, сушарки). ТВЕР використовують безпосередньо в системах тепlopостачання або в теплоутилізаційних установках для вироблення водяної пари або гарячої води, які подають в системи тепlopостачання. Теплові ВЕР можна також утилізувати по внутрішнім

напрямок в самих технологічних процесах, наприклад для підігріву повітря газами нагрівальних печей.

3. Силовий напрямок. За рахунок ГВЕР і ТВЕР отримують водяний пар для вироблення електроенергії в паротурбінних установках, або для приводу робочих машин (компресорів, повітродувок, насосів тощо). ВЕРНТ використовують для вироблення механічної та електричної енергії в турбодетандерах, парових і газових турбінних установках.

4. Комбінований напрямок. В УУ виробляють водяну пару, яку використовують в теплофікаційних турбінах для тепло- та електропостачання. Можливі схеми з автономними утилізаційними паротурбінними установками, або з використанням обладнання діючих ТЕЦ.

При використанні ВЕР по кожному напрямку необхідно враховувати наступні вимоги:

1. Однакова надійність енергопостачання як до, так і при використанні ВЕР.

2. Вибирати найбільш ефективні схеми утилізації і орієнтуватися на сучасне обладнання.

3. Отримувати за рахунок ВЕР в першу чергу найбільш цінну енергію - електричну, а потім теплову з парою і гарячою водою.

4. Використання ВЕР не повинно негативно відбиватися на стані навколишнього середовища по всіх викидах (твердих, рідинних і газоподібних).

*Використання теплових ВЕР для теплопостачання.* ТВЕР - найбільш поширені вторинні енергоресурси, як на пром підприємствах, так і на об'єктах ЖКГ. ТВЕР, які використовують для теплопостачання об'єднують в такі групи:

1. Теплота вихідних газів технологічних агрегатів (печей, котлів, реакторів хімічних виробництв та ін.).

2. Теплота відпрацьованої пари силових машин (турбін, парових молотів) і вторинний пар енерготехнологічних установок (сушарок, випарників, систем випарного охолодження).

3. Теплота продукції, полупродукції (проміжної продукції), відходів технологічних процесів (кокс, злитки, нітрозні гази агрегатів аміаку, шлак).

4. Забруднений паровий конденсат, який скидають у каналізацію або подають на конденсатоочищення.

5. Тепла вода систем охолодження обладнання (нагнітачів і приводних двигунів, печей, компресорів, маслосистем та ін.).

За основним параметром ТВЕР - температурою, їх ділять на дві групи: високотемпературні з  $t > 350^{\circ}\text{C}$  і низькотемпературні з  $t < 350^{\circ}\text{C}$ . ТВЕР 1 і 3 груп можуть бути як високо- так і низькотемпературними, ТВЕР інших груп - тільки низькотемпературними. При вирішенні питання утилізації ТВЕР необхідно мати інформацію по характеристиці носіїв ВЕР та режиму їх виходу. Ці характеристики визначають склад і матеріал обладнання УУ, а також режим роботи УУ та ІТ.

*Використання теплоти відхідних газів.* При високотемпературних потоках газів як УУ використовують котли на вихідних газах (водотрубні і газотрубні), в яких виробляють насичений і перегрітий пар з тиском до 4,0 МПа. Водотрубні котли-утилізатори (КУ) можуть бути з природною і примусовою циркуляцією. Котли останнього типу найбільш поширені через те, що роблять надійно при будь-яких значеннях навантажень менших номінальних і барабани можна розташовувати окремо від трубних пучків котлів. КУ вибирають по номінальній витраті і температурі газів з урахуванням необхідних параметрів ( $P$  і  $t$ ) виробленого пара. Для обраного КУ виконують перевірочний розрахунок з метою визначення фактичної його паропродуктивності. При низькотемпературних потоках газів в якості УУ використовують утилізаційні теплообмінники (УТО) для отримання гарячої води. Конструктивно УТО виконують різноманітних модифікацій: трубчастого економайзерного типу, контактного з активною насадкою (КТАН) і блочного контактного економайзерів (БКЕ) залежно від складу і температури газів і необхідної температури гарячої води.

*Використання теплоти відпрацьованої пари.* Відпрацьований пар має тиск 0,12-1,2 МПа. Вибір способу використання такої пари залежить від його кількості (витрати), параметрів ( $P$  і  $t$ ), режиму виходу, якості, відстані від місця виходу пари до місця використання. Можливі такі способи використання пара: на вироблення електроенергії та теплоти в теплофікаційних турбінах, пряма подача в парову мережу, подача в парову мережу з попередньою трансформацією параметрів з використанням редукційних, охолоджуючих, редукційно-охолоджувальних установок (РУ, ОУ, РОУ), струменевих і механічних компресорів, для підігріву води в водних тепломережах з використанням поверхневих або змішувальних теплообмінників. Невідповідність виходу і споживання теплоти пара компенсують за допомогою парових або водяних акумуляторів.

*Використання теплоти продукції, полупродукції і відходів технологічних процесів.* Теплота цих ВЕР за винятком шлаку металургійних заводів і коксу коксохімічних заводів низькотемпературна. Тому вона



використовується для підігріву води в поверхневих теплообмінниках різних конструкцій. При утилізації необхідно враховувати такі особливості носіїв ВЕР, як агресивність, однорідність, агрегатний стан, розміри складових і щільність. Високотемпературні ВЕР використовуються для підігріву повітря з подальшим прямим споживанням в системах вентиляції, згорання палива або використанням гарячого повітря для підігріву води в системах тепlopостачання.

*Використання теплоти води для охолодження забрудненого конденсату.* Теплоту гарячої води можна використовувати для підігріву іншої води. Якщо гаряча вода забруднена, то доцільно попереднє очищення її або використання теплообмінників з відповідно стійкого до забруднень матеріалу. Гарячу воду можна використовувати сезонно для агротеплофікації в теплицях або підігріву відкритого ґрунту. Доцільність утилізації теплоти забрудненого конденсату, поверненого від споживачів, залежить від ступеня і характеру забруднення, витрати і режиму його надходження. Забрудненим конденсатом можна підігрівати воду або повітря в калориферах систем вентиляції.

## РОЗДІЛ 11 ТЕПЛОВІ НАСОСИ

### 11.1 Загальні відомості про роботу теплових насосів

Принцип дії теплового насоса відомий вже більше 100 років. Вперше в Європі потужний тепловий насос для опалення будівлі був застосований в Цюріху в 1938 р. Випробування теплового насоса проводилися в 50-ті роки у Вищому технічному училищі, м. Дрезден. У НДР перші теплові насоси виконані за системою повітря-повітря. Після завершення експериментальної розробки комплексної системи використання енергії в Інституті повітряної і холодильної техніки, м. Дрезден, в 1978-1979 рр. в НДР почалося широке застосування теплових насосів.

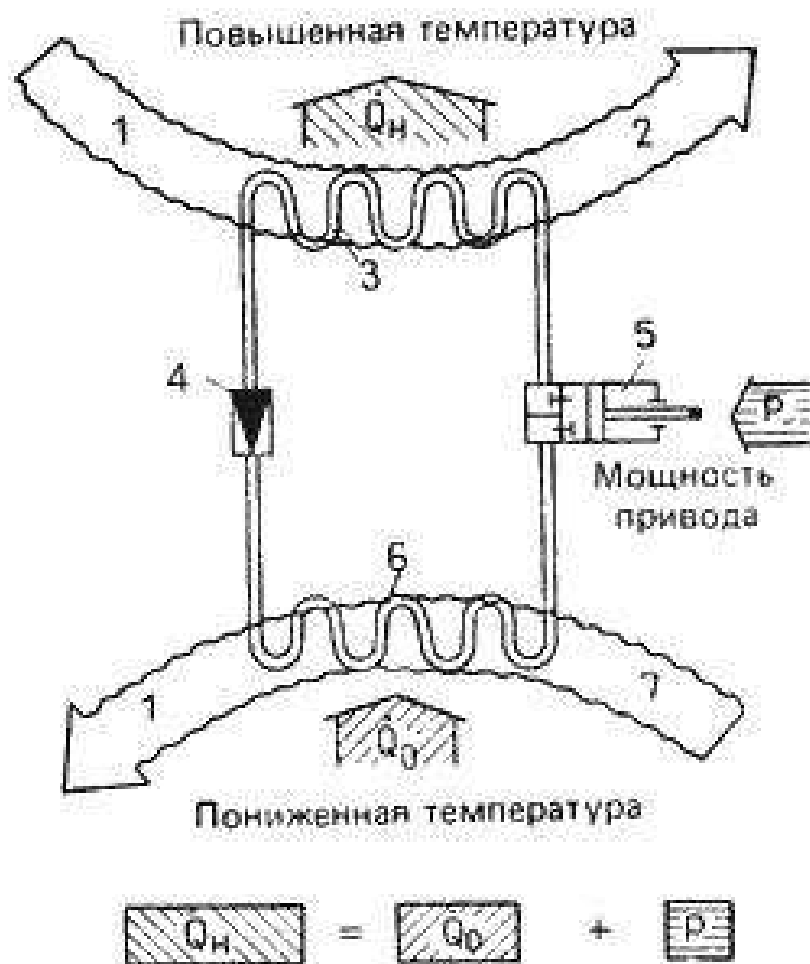


Рис.11.1 - Теплонасосный цикл

1 - энергоносій; 2 - приймач теплоти; 3 - конденсатор; 4 - регулюючий вентиль, 5 - компресор; 6 - Випарник; 7 - джерело теплоти.