



**USAID**

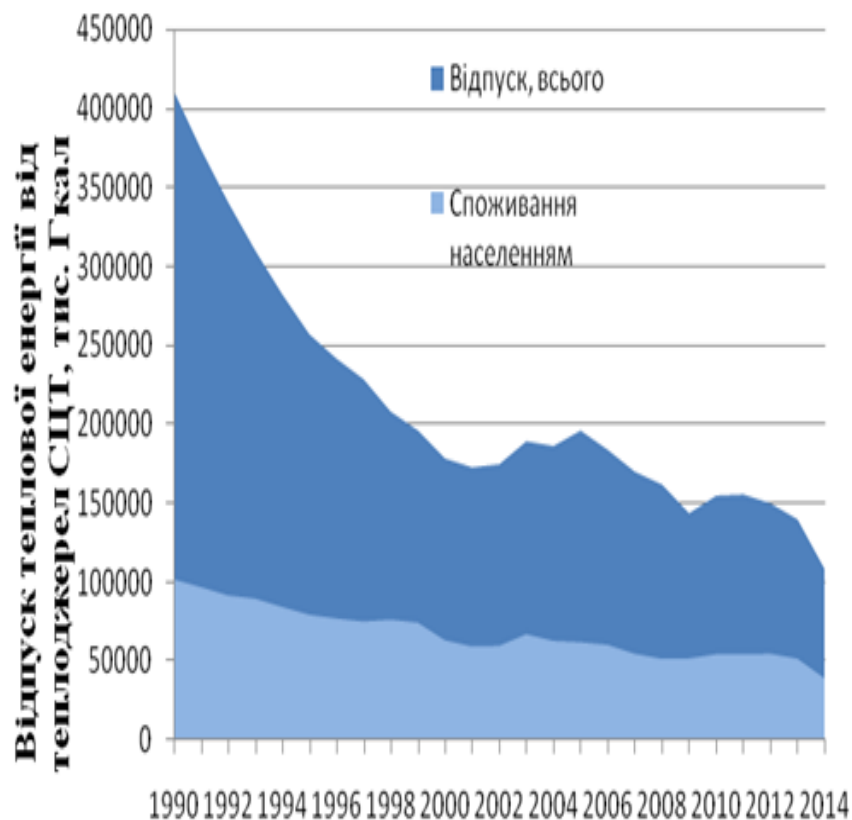
ВІД АМЕРИКАНСЬКОГО НАРОДУ

# **«Досвід та перспективи впровадження міні-ТЕЦ на біопаливі в міських системах теплопостачання»**

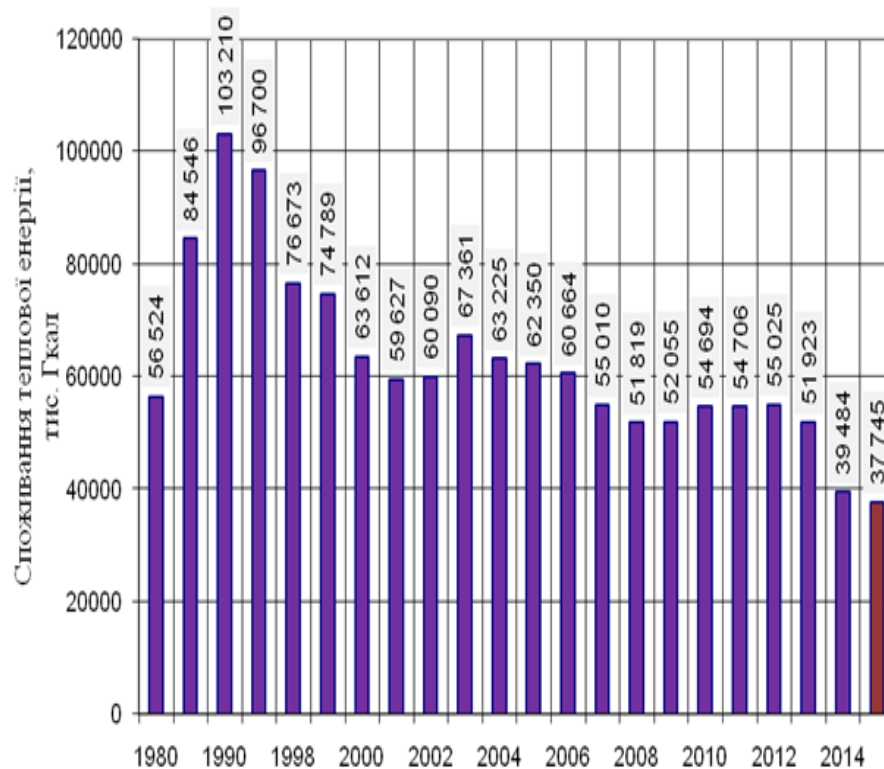
**д.т.н. Дубовський С.В.**

# Динаміка і структура і споживання теплової енергії населенням України

**Відпуск теплової енергії від теплоджерел СЦТ та її споживання населенням**

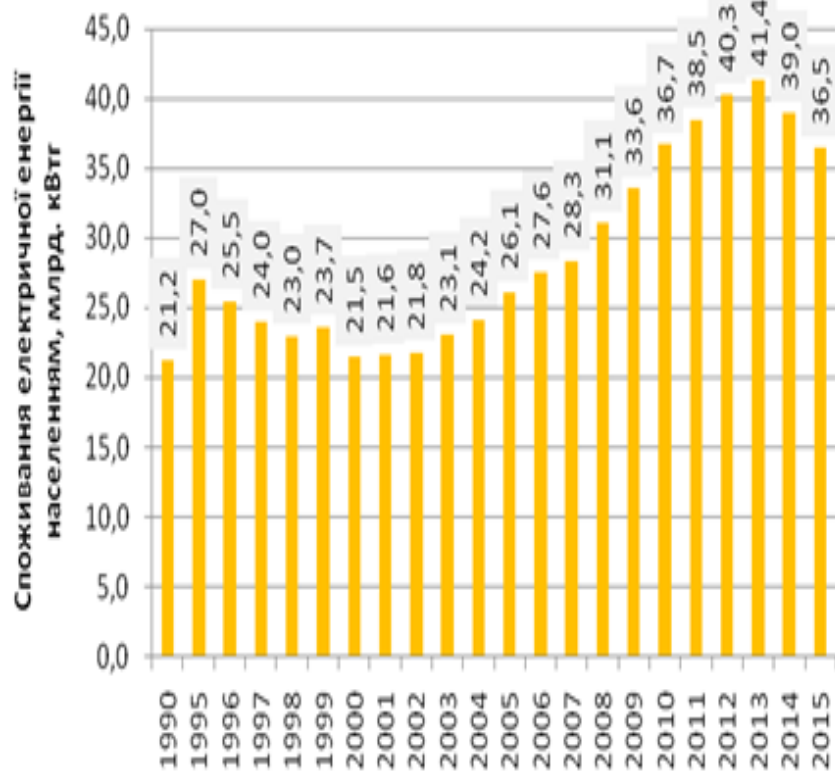


**Кінцеве споживання теплової енергії населенням України від теплоджерел СЦТ**

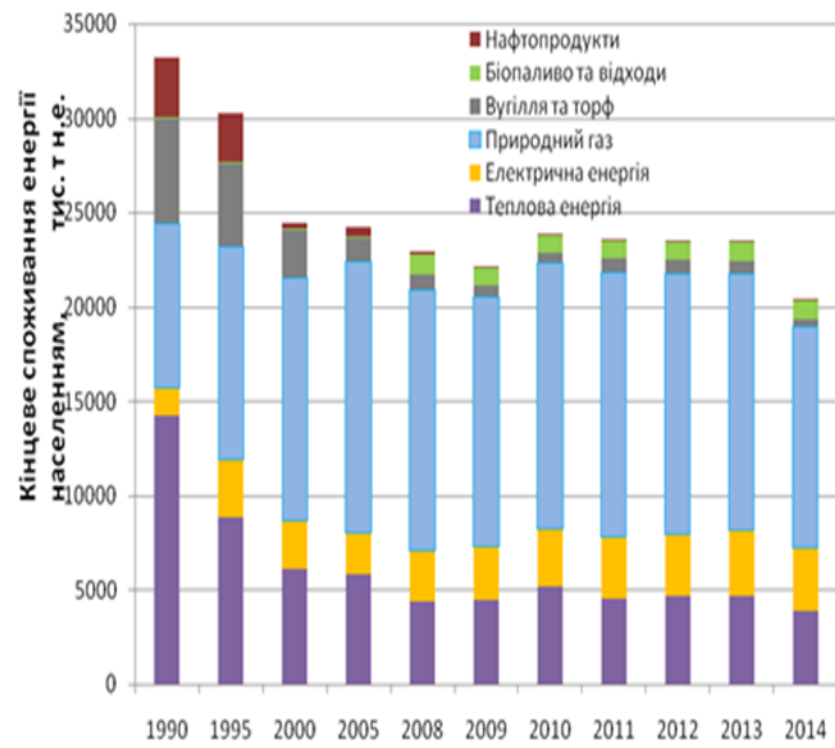


# Динаміка споживання паливно-енергетичних ресурсів населенням

## Споживання електричної енергії



## Обсяг та структура споживання ПЕР



## Досвід використання теплових електростанцій на біомасі в Україні

Станом на початок 2017 року в Україні перебувало в експлуатації 6 теплових електростанцій на біомасі, для яких встановлено зелений тариф на електричну енергію.

Три з них працюють на лушпинні соняшнику, інші – на деревній біомасі.

Оскільки енергетичний потенціал лушпиння соняшнику можна вважати практично вичерпаним, основну увагу в останні роки приділяють в Україні ТЕС на деревних відходах.

| Енергетичні об'єкти в секторі біоенергетики, що мають «зелений» тариф на вироблену електроенергію (на 01.01.2017) |   |  |                                     |
|---|---|--|-------------------------------------|
| №   | Енергогенеруюча компанія                                      | Енергетична установка                              | Дата встановлення ЗТ                |
| 1   | ТОВ «Біогазэнерго» (1-а черга ТЕС) смт. Іванків, Київська обл | ТЕС 6 +12 МВт(е) на деревній біомасі               | 01.12.2013 (для першої черги 6 МВт) |
| 2   | ТОВ «АПК» Евгройл », м. Миколаїв                              | ТЭЦ 5 МВт(е) на лушпинні соняшнику                 | 01.01.2014                          |
| 3   | ПАТ «Кіровоградолія», м Кіровоград                            | ТЕЦ на лушпинні соняшнику 1,2 МВт(е) + 33,6 МВт(т) | 01.01.2010                          |
| 4   | ТОВ «Комбінат Каргілл», м.Донецьк ТЕЦ                         | ТЕЦ на лушпинні соняшнику 2 МВт(е) + 15 МВт (т)    | 01.01.2013                          |
| 5   | ТОВ «Смілаенергопромтранс» м.Сміла, Черкаська обл             | ТЕЦ 6 МВт(е) + 10 МВт(т) на деревній біомасі       | 01.06.2010                          |
| 6   | ТОВ «КЛІАР ЕНЕРДЖІ» ТЕС м. Корюківка, Чернігівської області   | ТЕС 3,5 МВт(е) на деревній біомасі                 | 29.09.2016                          |

## Досвід використання ТЕС на деревних відходах

Першу в Україні ТЕЦ на відходах деревини було запущено в дію у 2010 році у м. Сміла Черкаської області шляхом переведення котлів діючої газової ЕЦ на спалювання деревної тріски.

Подальший розвиток біо - електроенергетики відбувався на основі використання більш сучасних ТЕЦ, що виводяться з експлуатації у країнах Європи, зокрема, у Великобританії.

На сьогодні закуплено та доставлено в Україну три електростанції такого типу, які планується ввести в дію до 2020 року.

Сучасна тенденція розвитку електроенергетики на деревній трісці проявляє себе у орієнтації на спорудження конденсаційних електричних станцій, які забезпечують більший, ніж ТЕЦ відпуск електричної енергії на одиницю біомаси.

| Основні характеристики ТЕС на деревних залишках, що експлуатуються в Україні |                            |                                       |                                    |  |  |
|--|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|--|
| Найменування   | Електрична потужність, МВт | Відпуск електричної енергії, ГВтг/рік | Витрата натурального палива, т/рік | Питома витрата натурального палива на відпуск електричної енергії, т/МВт·год | Питома витрата умовного палива на відпуск електричної енергії, т у.п./кВтг |
| ТОВ «Біогазэнерго» (1-а черга ТЕС) смт. Іванково, Київська обл               | 18                         | 121                                   | 213 000                            | 1,76   | 540  |
| ТОВ «КЛІАР ЕНЕРДЖІ» ТЕС м. Корюківка, Чернігівської області                  | 3,5                        | 20                                    | 30 000                             | 1,5  | 460  |

# ТЕС на деревній трісці

Питома витрата палива на відпуск електричної енергії для біоТЕС конденсаційного типу становить від 460 г у.п./кВтг до 540 г у.п./кВтг проти 360 – 390 г у.п./кВтг на вугільних ТЕС енергетичної системи.

Для ТЕС встановлено «зелений» тариф на електричну енергію, вироблену з біомаси.

Внаслідок призначення підвищеного зеленого тарифу на електричну енергію, відпущену у мережу, та відносно дешевого палива, їх експлуатація у конденсаційному режимі є прибутковою.



**ТЕС потужністю 3,5 МВт на деревних відходах в м. Корюківка Чернігівської області.**



**ТЕС потужністю 6 МВт на деревних відходах в с.м.т. Іванівка, Київська обл.**



# Концептуальний проект модернізації ТЕЦ-1 у м. Вінниця

Вінницька ТЕЦ-1 встановленою електричною потужністю 10 МВт оснащена двома паровими турбінами з протитиском потужністю 4 МВт та 6 МВт.

Склад технологічного обладнання електростанції є типовим для промислово-опалювальної ТЕЦ, розрахованої на забезпечення технологічних потреб промислових підприємств у електричній енергії та парі з супутнім відпуском теплоти з гарячою водою у систему централізованого тепlopостачання житлової, адміністративної і промислової забудови та відпуском надлишку електричної енергії у електромережі ВАТ «Вінницяобленерго».

Проект розглядався у рамках досліджень доцільності об'єднання районних тепломереж системи тепlopостачання м. Вінниця. У ньому розглянуто 2 варіанти модернізації - мінімальний і максимальний.

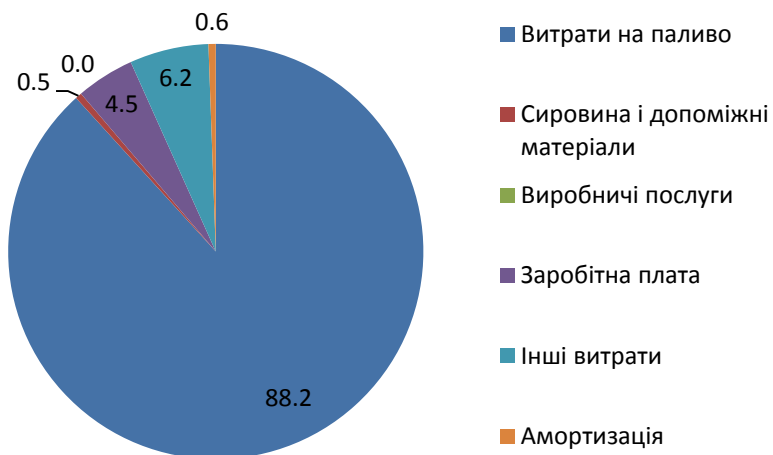
**Мінімальний варіант** передбачає введення в дію непрацездатної сьогодні турбоустановки 6 МВт з розширенням обсягів виробництва за рахунок експансії у сусідні районні теплові мережі.

**Максимальний варіант** передбачав встановлення нової турбоустановки конденсаційного типу з регульованим відбором пари із переведенням енергетичних котлів ТЕЦ на спалювання твердої біомаси – лушпиння соняшника та деревної тріски.

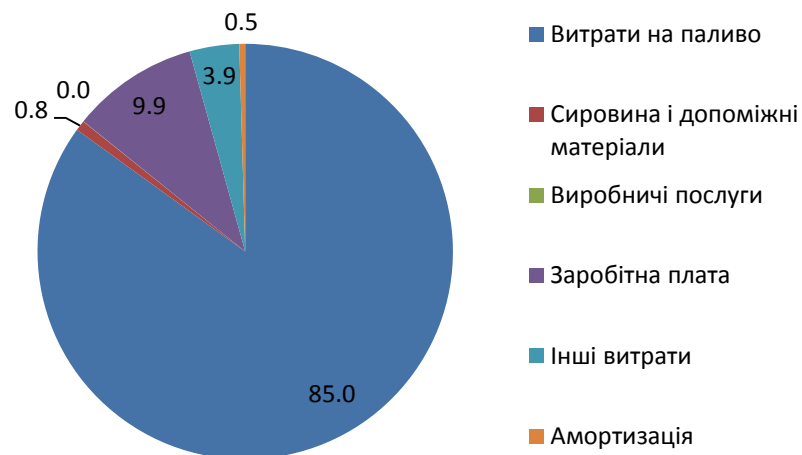


# Структура тарифу на відпуск енергії

## Електрична енергія



## Теплова енергія





## Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії

Оцінки доцільності об'єднання теплових мереж з різнотипними джерелами теплової енергії – котельними, когенераційними установками та ТЕЦ з комбінованим виробництвом електричної і теплової енергії, які до того ж, можуть працювати на різних видах палива, на основі зіставлення лише енергетичних показників ефективності, а саме значень питомої витрати палива на відпуск теплової енергії, можуть бути недостатніми і суперечливими.

**По-перше,** це пояснюється різницею порядку визначення таких показників. У випадку котельної, згідно чинних нормативних документів, показник питомої витрати палива на відпуск теплової енергії не враховує витрати електричної енергії на технологічні потреби котельної та мережевих насосів, що здійснюють транспортування теплоносія у тепловій мережі, в той час як для ТЕЦ такі витрати враховують.

## **Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії**

По-друге, показники питомої витрати палива на відпуск теплової енергії від ТЕЦ суттєво залежать від методу їх розрахунку.

По-третє, показники питомої витрати істотно залежать від того, який вид палива використовується даним джерелом теплової енергії. Для котлів на природному газі і мазуті, електричних котлів тощо, цей показник майже завжди вищий, ніж для котлів на вугіллі, торфі, біопаливах.

У зв'язку з цим, для об'єктивного зіставного аналізу теплогерел, що використовують різні технології одержання теплової енергії і різні види паливно-енергетичних ресурсів, необхідно використовувати методи та критерії, засновані на використанні економічних еквівалентів цінності видів енергії, які б не були залежними від методу визначення показників енергетичної ефективності теплогерел.

## Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії

Оцінки доцільності об'єднання теплових мереж з різнотипними джерелами теплової енергії – котельними, когенераційними установками та ТЕЦ з комбінованим виробництвом електричної і теплової енергії, які до того ж, можуть працювати на різних видах палива, на основі зіставлення лише енергетичних показників ефективності, а саме значень питомої витрати палива на відпуск теплової енергії, можуть бути недостатніми і суперечливими.

**По-перше,** це пояснюється різницею порядку визначення таких показників. У випадку котельної, згідно чинних нормативних документів, показник питомої витрати палива на відпуск теплової енергії не враховує витрати електричної енергії на технологічні потреби котельної та мережевих насосів, що здійснюють транспортування теплоносія у тепловій мережі, в той час як для ТЕЦ такі витрати враховують.

# Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії

У якості критерія зіставлення теплоджерел різних типів пропонується використовувати енергоекономічний показник – приведену вартість енергії, яка визначається за формулою:

$$C_T^i = c_f^* B^i + c_e^* E^i$$

де  $B^i$  - споживання палива кожним теплоджерелом системи теплопостачання, що розглядається;

$E^i = E_{en}^i - E_{exp}^i$  - сальдо споживання електричної енергії кожним теплоджерелом, яке є позитивним у разі котельних без когенераційних установок (КоГУ) і може бути негативним у разі ТЕЦ або котельних з встановленими КоГУ.

Для ТЕЦ та котельних з надлишком електрогенерації встановлених КоГУ сальдо споживання дорівнює відпуску електричної енергії нетто з від'ємним знаком.

# Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії

Введення уніфікованого критерія оцінки дозволяє звести задачу оптимізації складу та режимів роботи генеруючих теплоджерел до вирішення традиційної задачі нелінійного програмування:

Запис відповідної задачі оптимізації містить критерій оптимальності:

$$C_T = \sum_{i=1}^M C_m^i \Rightarrow MIN,$$

та систему обмежень, яка включає:

- балансове рівняння збереження сумарного рівня відпуску теплової енергії :

$$Q_T - \sum_{i=1}^M Q_m^i = 0$$

- обмеження на максимальну теплопродуктивність кожної РСТ:

$$Q_T^i \leq Q_{max}^i, \quad i=1.....M$$

- енергоекономічну характеристику теплоджерел :

$$C_T^i = F^i(Q^i, E^i, B^i, c_f^i, c_e^i)$$

## Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії

Вирішення цієї задачі дозволяє визначити:

- оптимальні навантаження кожної з районних систем, що забезпечують мінімум сукупних витрат на енергію;
- напрями і значення потоків теплової енергії від РСТ, що збільшують навантаження до РСТ, що знижують навантаження.

На другому етапі, виходячи з одержаних орієнтовних даних:

- проводять гідравлічний і тепловий розрахунок міжсистемних теплотрас, на підставі якого визначають необхідну додаткову витрату електричної енергії на транспортування теплоносія по міжрайонним теплотрасам, додаткові втрати теплової енергії та води, а також орієнтовну вартість прокладання і обслуговування;
- уточнюють нові значення теплової потужності теплоджерел РСТ з урахуванням змін теплових навантажень, спричинених втратами теплової енергії в міжрайонних зв'язках;



## Методичний підхід до оцінки ефективності інтеграції котельних і джерел комбінованого виробництва теплоти і електроенергії

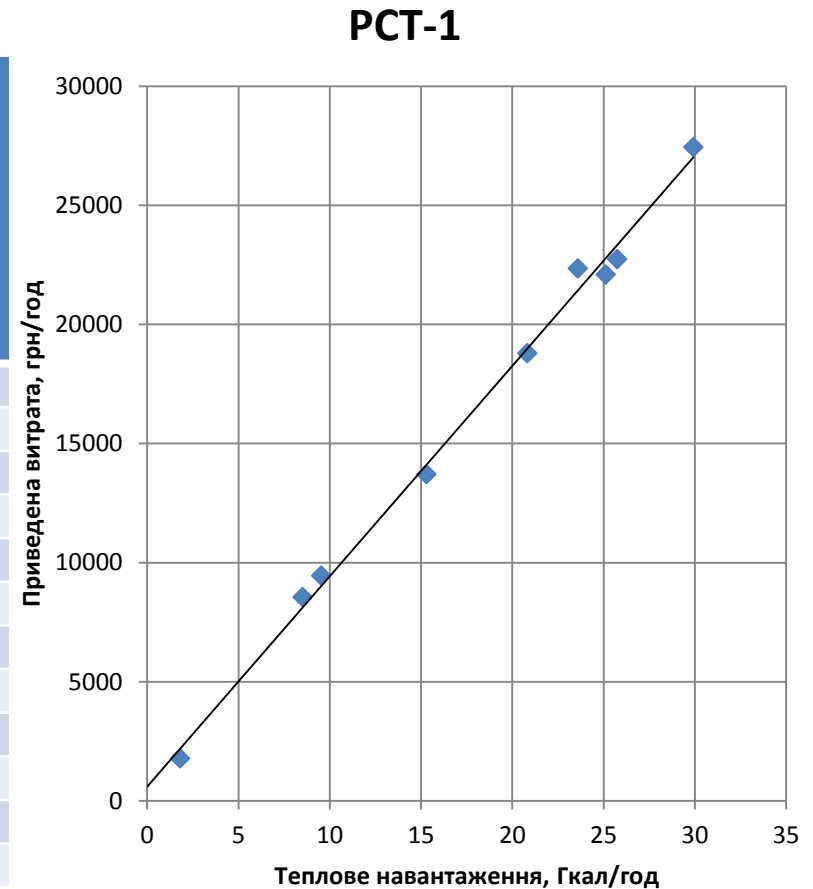
- необхідні додаткові витрати палива на забезпечення оптимальної потужності, додаткові витрати електричної енергії на власні потреби теплоджерел
- інші додаткові витрати, пов'язані, зокрема, з втратами теплоносію у міжрайонних теплотрасах.

Додаткові витрати палива і енергії, пов'язані з організацією міжрайонних перетоків, відносять на РТС – донор.

На третьому етапі здійснюють перевірку об'єднаної системи на відповідність критеріям економічної, енергетичної та екологічної ефективності.

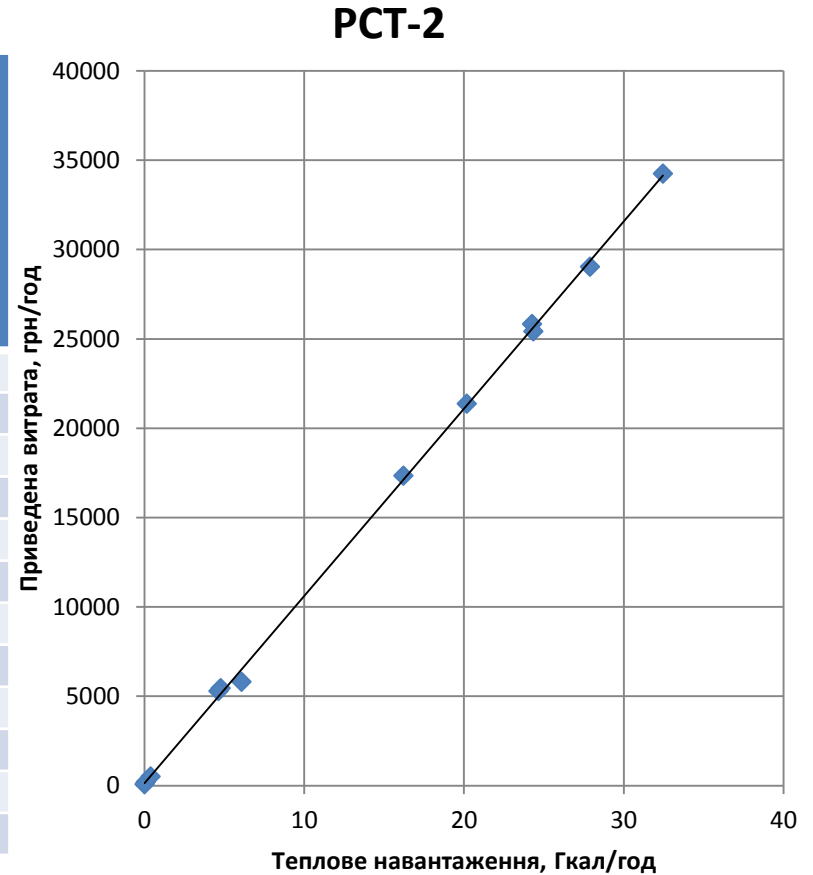
# Приклад енергоекономічної характеристики (ТЕЦ)

| Місяць року | Теплова потужність<br>$Q$ , Гкал/год | Витрата палива,<br>$B$ , тис. нм3/год | Сальдо споживання електричної енергії<br>$E$ , МВт | Тариф на паливо,<br>$c_p$ , грн/тис. м3 | Тариф на електричну енергію,<br>$c_e$ , грн/Мвтгод | Приведена вартість,<br>$C_p$ , грн/год |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|---|--|--|
| 01          | 29,914                               | 4,548                                 | -2,043   | 7127                                    | 2429   | 27449                                  |
| 02          | 23,585                               | 3,541                                 | -1,185   | 7127                                    | 2429   | 22359                                  |
| 03          | 20,820                               | 3,213                                 | -1,693   | 7127                                    | 2429   | 18791                                  |
| 04          | 9,535                                | 1,376                                 | -0,144   | 7127                                    | 2429   | 9455                                   |
| 05          | 8,513                                | 1,216                                 | -0,044   | 7127                                    | 2429   | 8558                                   |
| 06          | 1,801                                | 0,253                                 | -0,004   | 7127                                    | 2429   | 1795                                   |
| 07          | 0,000                                | 0,000                                 | -0,000   | 7127                                    | 2429   | 0                                      |
| 08          | 0,000                                | 0,000                                 | -0,000   | 7127                                    | 2429   | 0                                      |
| 09          | 0,000                                | 0,000                                 | -0,000   | 7127                                    | 2429   | 0                                      |
| 10          | 15,300                               | 2,350                                 | -1,250   | 7127                                    | 2429   | 13712                                  |
| 11          | 25,119                               | 3,910                                 | -2,374   | 7127                                    | 2429   | 22103                                  |
| 12          | 25,743                               | 4,007                                 | -2,395   | 7127                                    | 2429   | 22743                                  |



# Приклад енергоекономічної характеристики (газова котельня)

| Місяць року | Теплова потужність Q, Гкал/год | Витрата палива, В, тис. нм3/год | Сальдо споживання електричної енергії E, МВт | Тариф на паливо, $c_f$ , грн/тис. м3 | Тариф на електричну енергію, $c_e$ , грн/Мвтгод | Приведена вартість, $C_p$ , грн/год |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 01          | 32,450                         | 4,448                           | 0,811  | 7258                                 | 2429  | 34256                               |
| 02          | 24,251                         | 3,312                           | 0,737  | 7258                                 | 2429  | 25832                               |
| 03          | 20,169                         | 2,705                           | 0,715  | 7258                                 | 2429  | 21367                               |
| 04          | 0,071                          | 0,009                           | 0,055  | 7258                                 | 2429  | 202                                 |
| 05          | 0,000                          | 0,000                           | 0,035  | 7258                                 | 2429  | 86                                  |
| 06          | 0,374                          | 0,053                           | 0,055  | 7258                                 | 2429  | 518                                 |
| 07          | 4,774                          | 0,637                           | 0,345  | 7258                                 | 2429  | 5460                                |
| 08          | 4,629                          | 0,627                           | 0,307  | 7258                                 | 2429  | 5294                                |
| 09          | 6,068                          | 0,695                           | 0,312  | 7258                                 | 2429  | 5805                                |
| 10          | 16,206                         | 2,208                           | 0,542  | 7258                                 | 2429  | 17340                               |
| 11          | 24,342                         | 3,275                           | 0,681  | 7258                                 | 2429  | 25423                               |
| 12          | 27,888                         | 3,731                           | 0,808  | 7258                                 | 2429  | 29039                               |



# Планові теплові навантаження

| Місяць року | Q <sup>1</sup> | Q <sup>2</sup> | Q <sup>3</sup> | Разом  |
|-------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| 1           | 29,914         | 32,450         | 4,919          | 67,284 |
| 2           | 24,161         | 26,209         | 3,973          | 54,343 |
| 3           | 20,441         | 22,174         | 3,362          | 45,977 |
| 4           | 4,164          | 4,517          | 0,685          | 9,365  |
| 5           | 2,664          | 2,890          | 0,438          | 5,993  |
| 6           | 2,669          | 2,895          | 0,439          | 6,003  |
| 7           | 2,485          | 2,695          | 0,409          | 5,589  |
| 8           | 2,820          | 3,059          | 0,464          | 6,342  |
| 9           | 2,914          | 3,161          | 0,479          | 6,554  |
| 10          | 15,570         | 16,890         | 2,560          | 35,021 |
| 11          | 22,820         | 24,755         | 3,753          | 51,328 |
| 12          | 26,890         | 29,170         | 4,422          | 60,482 |

# Оптимальні характеристики

| Місяць року | Оптимальні навантаження, Гкал/год |                |                |        | Приведені витрати, С <sub>т</sub> , тис. грн |                      | Економічний ефект, тис. грн |
|-------------|-----------------------------------|----------------|----------------|--------|--|----------------------|-----------------------------|
|             | Q <sup>1</sup>                    | Q <sup>2</sup> | Q <sup>3</sup> | Разом  | Об'єднані системи                            | Не об'єднані системи |                             |
| 1           | 67,284                            | 0,000          | 0,000          | 67,284 | 44651,54                                     | 48893,35             | 4241,81                     |
| 2           | 54,343                            | 0,000          | 0,000          | 54,343 | 32650,87                                     | 35775,05             | 3124,178                    |
| 3           | 45,977                            | 0,000          | 0,000          | 45,977 | 30652,62                                     | 33605,41             | 2952,788                    |
| 4           | 9,365                             | 0,000          | 0,000          | 9,365  | 6384,772                                     | 7098,77              | 713,9977                    |
| 5           | 5,993                             | 0,000          | 0,000          | 5,993  | 4382,008                                     | 4915,794             | 533,7859                    |
| 6           | 6,003                             | 0,000          | 0,000          | 6,003  | 4246,887                                     | 4764,028             | 517,1411                    |
| 7           | 5,589                             | 0,000          | 0,000          | 5,589  | 4116,283                                     | 4625,601             | 509,3179                    |
| 8           | 6,342                             | 0,000          | 0,000          | 6,342  | 4611,499                                     | 5166,416             | 554,9174                    |
| 9           | 6,554                             | 0,000          | 0,000          | 6,554  | 4597,162                                     | 5146,557             | 549,3944                    |
| 10          | 35,021                            | 0,000          | 0,000          | 35,021 | 23453,87                                     | 25743,8              | 2289,925                    |
| 11          | 51,328                            | 0,000          | 0,000          | 51,328 | 33066,05                                     | 36236,87             | 3170,814                    |
| 12          | 60,482                            | 0,000          | 0,000          | 60,482 | 40182,51                                     | 44012,82             | 3830,301                    |
| Рік         | 29,44                             | 0,000          | 0,000          | 29,44  | 232996,1                                     | 255984,5             | 22988,37                    |

# Характеристики парових турбін ТЕЦ -1 за варіантом максимальної реконструкції.

| Показники  | Т-6-35    | Р-4-35М |
|--|-----------|---------|
| Номінальна потужність, кВт   | 6000      | 4000    |
| Максимальна потужність   | 6000      | 4300    |
| Тиск пари перед турбіною, МПа  | 3,43      | 3,43    |
| Температура пари перед турбіною, °С  | 435       | 435     |
| Тиск пари у теплофікаційному відборі (протиск), МПа                                  | 0,12-0,25 | 0,49    |
| Температура пари за турбіною за номінальної потужності і номінального протитиску, °С | 127-185   | 231     |
| Номінальна витрата пари через регульований відбір, т/год                             | 35        | -       |
| Теплова потужність відбору, Гкал/год   | 19,3      | 26      |
| Номінальна витрата пари на турбіну при номінальному відборі пари, т/год              | 42        | 40,6    |
| Номінальна витрата пари на турбіну без відбору пари (конденсаційний режим), т/год    | 27,9      | 40,6    |
| Питома витрата пари на турбіну при номінальному відборі, кг/кВтг                     | 7,06      | -       |
| Питома витрата пари на турбіну без регульованого відбору, кг/кВтг                    | 4,65      | 10,15   |



# Основні характеристики варіантів реконструкції

| Показники   | Базовий | Мінімальний | Максимальний   |
|---|---------|-------------|----------------|
| Основне паливо  | Газ     | Газ         | Деревна тріска |
| Електрична потужність, МВт                                | 4       | 10          | 10             |
| Теплова потужність турбін, Гкал/год                       | 26      | 78          | 45             |
| Паропродуктивність котлів, т/год                          | 170     | 170         | 100            |
| Теплова потужність котлів, Гкал/год                       | 115     | 119         | 74             |
| Відпуск електричної енергії , МВтг/рік                    | 8135,4  | 16729       | 51224          |
| Відпуск теплової енергії , Гкал/рік                       | 116713  | 240000      | 212446         |
| Витрата умовного палива, т у.п.                           | 20829   | 42831       | 53262          |
| Витрата натурального палива , т (тис. м3)                 | 17776   | 36554       | 174548*        |
| Ціна натурального палива, грн/т (тис. м3)                 | 7127    | 7127        | 1200*          |
| Ціна умовного палива, грн/т у.п.                          | 6082    | 6082        | 3932           |
| Капітальні витрати на проведення реконструкції, тис. грн. | 0       | 9000,0      | 509600         |

# Методи обчислення питомих витрат палива

- Починаючи з 1996 року і дотепер в Україні чинний галузевий керівний документ **ГКД 34.09.103–96. «Расчет отчетных технико-экономических показателей электростанции о тепловой экономичности оборудования. Методические указания. – К.: УНПО «Энергопрогресс», 1996».**
- Цей документ відносить економію палива, головним чином, на електричну енергію, «підвищуючи» ефективність її виробництва на ТЕЦ

# Методи обчислення питомих витрат палива

У 1998 р. у **ГКД 34.09.103–96** внесені поправки, за якими певну частину економії палива віднесено на теплову енергію. Цю поправку закріплено у **ГКД 34.08.108–98**. **Розподіл витрат палива на теплових електростанціях на відпущену електричну і теплову енергію при їх комбінованому виробництві. –К.: НДІ Енергетики, 1998. – 17 с., що використовується як додаток до вихідного документу **ГКД 34.09.103–96**.**

# Методи обчислення питомих витрат палива

У 2003 році набув чинності галузевий керівний документ **ГКД 34.09.100.-2003 «Витрати палива на відпущену електричну та теплову енергію при їх комбінованому виробництві. Методика визначення»**. Цей документ передбачає призначення на певний термін з періодичним перепризначенням, індивідуальних показників ефективності, які найбільш влаштовують кожну електростанцію. Поряд з цим, він містить також методику розрахунку мінімально припустимого значення питомої витрати палива на відпуск теплової енергії, що визначається у рамках термодинамічної теорії.

# Методи обчислення питомих витрат палива

- У 2014 р. був прийнятий та у 2017 р. набув чинності національний стандарт України **ДСТУ 7674:2014 «Енергозбереження. Енергоємність технологічного процесу вироблення електричної та теплової енергії, відпущеної тепловою електростанцією»** (Надано чинності: наказ Мінекономрозвитку України від 29.12.2014 р. № 1484), в основу якого покладений точний метод визначення питомих витрат палива на відпуск електричної і теплової енергії, розроблений згідно законів термодинаміки. У якості джерела інформації зазначений стандарт використовує зовнішні техніко-економічні параметри роботи ТЕЦ – відпуск електричної і теплової енергії, сумарні витрати палива на ТЕЦ, а також номінальні значення температури та тиску пари перед турбінами ТЕЦ.

Поділ сумарної витрати палива на ТЕЦ між її продуктами здійснюється за формулами:

$$B_e = B \frac{0,86 \cdot E_{e\dot{\text{д}}n}}{0,86 \cdot E_{e\dot{\text{д}}n} + \omega Q_{e\dot{\text{д}}n}}$$

$$B_{те} = B \frac{\omega Q_{e\dot{\text{д}}n}}{0,86 \cdot E_{e\dot{\text{д}}n} + \omega Q_{e\dot{\text{д}}n}}$$

де:

$B_e$  - витрата палива на відпуск електричної енергії, т у.п.;

$B_{те}$  - витрата палива на відпуск теплової енергії, т у.п.;

$\omega$  - коефіцієнт термодинамічної цінності теплоти.

Коефіцієнт термодинамічної цінності теплоти визначають за формулою:

$$\omega = \eta \frac{\eta_e^o - \eta_e}{1 - \eta_e}$$

де

$$\eta_e = \frac{0,86 E_{e\dot{\text{д}}n}}{7B} \text{ - видимий електричний ККД ТЕЦ;}$$

$\eta_e^o$  - теоретичний електричний ККД, що визначають за початковими параметрами пари перед турбінами.



# Приклад визначення питомої витрати палива

| Метод розрахунку | Природний газ  |                | Біопаливо      |                |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                  | b <sub>e</sub> | b <sub>T</sub> | b <sub>e</sub> | b <sub>T</sub> |
|                  | г/кВтг         | кг/Гкал        | г/кВтг         | кг/Гкал        |
| Фізичний         | 174,2          | 166,3          |                |                |
| Термодинамічний  | 337,3          | 154,9          | 374,1          | 156,9          |
| Ексергетичний    | 643,2          | 133,6          |                |                |