

Й. Мисак, І. Винницький, Я. Івасик, Н. Лашковська
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій

ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПАРОТУБІННОМУ УСТАТКУВАННІ ТЕС

@ Мисак Й., Винницький І., Івасик Я., Лашковська Н., 2008

Подано удосконалений метод підрахунку витрати палива в комбінованому виробництві тепла та електроенергії на паротурбінному устаткуванні.

Represented improved method of calculation of specific charges of fuel at the combined production of heat and electric power on thermal power-stations parotourbinnih. The decision which does not contact with distributing of economy of fuel of the combined production on comparison with parted one is found. Comparison of the got results is resulted with a calculation after a physical method.

Постановка проблеми. Аналіз різних методів розрахунку техніко-економічних показників енергетичного виробництва показав, що залежно від того, що приймається за корисну продукцію в простому енергобалансі – теплова енергія, як вид енергії, чи здатність перетворення теплової енергії в роботу, можна побудувати два внутрішньо логічні методи, які дають крайні результати значень показників питомих витрат палива з відпуску електроенергії і тепла. Всі інші методи, які дають результати між цими крайніми значеннями, втрачають логіку зв'язків між показниками нетто і питомими витратами палива для послідовного процесу перетворення теплової енергії або втрат працездатності теплової енергії.

У зв'язку з цим, а також враховуючи те, що для практичних потреб теплових електростанцій краще розроблений метод теплових потоків, для удосконалення його в сучасних умовах розвитку народного господарства України, вирішено прийняти метод, викладений нижче.

Аналіз літературних джерел [1–5] з визначення техніко-економічних показників роботи устаткування та виробництва продукції показує, що є декілька логічних методів, що дають різні значення показників питомих витрат палива з відпуску електричної і теплової енергії.

Метод [6], який був створений для зниження собівартості відпуску тепла споживачам за рахунок вольового перерозподілу економії тепла в комбінованому виробництві теплової і електричної енергії, не дав очікуваних результатів із зниження паливної складової собівартості відпуску тепла споживачам від конденсаційних електростанцій, для деяких режимів теплоелектроцентралей з параметрами перегрітої пари 35 кгс/см² і нижче з протитисковими і переведеними на погіршений вакуум турбінами, призвів до збільшення в декілька разів порівняно з [7] питомих витрат палива на відпущену електроенергію.

Мета роботи. Пошук розподілу палива, що зводиться до необхідності такого вирішення, яке б у можливому діапазоні змін характеристик діючої теплової паротурбінної електростанції призвело в умовах експлуатації до забезпечення нижчих витрат на кожний вид відпущеної енергії і порівняно з розділеним.

У зв'язку з тим, що неможливо фізично виміряти пряму витрату натурального палива на кожний вид енергії в комбінованому виробництві тепла та електроенергії, загальна витрата палива завжди розподілятиметься будь-яким методом.

Результати досліджень. Порівняння технічних методів розподілу палива фактично зводиться до того, як вони розділяють економію палива, яка утворюється коли порівнювати комбіноване і розділене виробництво тепла та електроенергії.

Якщо розглядати технічні методи з погляду впливу економії палива, то в методі теплових потоків вона максимально вплинула на зниження питомої витрати палива на відпущену електроенергію, а в термодинамічному методі – на зниження питомої витрати палива на відпущене тепло.

Тільки в цих двох методах економія палива розподіляється, враховуючи визначення самого методу, всі інші проміжні технічні методи визначають цю економію явно і розподіляють її вольовим чином: порівну, пропорційно до виробленої продукції, через заміщувану потужність тощо.

Оскільки в методі [6] розподіл економії палива зумовлений розподілом величини економії тепла, що надійшло в турбіну, за рахунок комбінованого виробництва електричної та теплової енергії, то замість перерозподілу економії тепла, пропонується вольовим чином перерозподіляти тепло відпрацьованої в турбіні пари між виробництвом тепла і електроенергії. Це зумовлено тим, що відпуск тепла споживачам з відпрацьованою в турбіні парою однозначно характеризує комбінований цикл виробництва тепла та електроенергії паротурбінної теплової електростанції.

Кількість тепла відпрацьованої в турбіні пари ΔQ_e в ГДж, яка умовно (вольовим чином) відноситься на виробництво електроенергії, визначають за формулою

$$\Delta Q_e = \Delta Q_e^{nap} + \Delta Q_e^{zg} = K_{ep}^{nap} \cdot Q_{відп}^{nap} + K_{ep}^{zg} \cdot Q_{відп}^{zg} \quad (1)$$

де ΔQ_e^{nap} – кількість тепла відпущеної технологічної пари, яка умовно відноситься на виробництво електроенергії, ГДж; ΔQ_e^{zg} – кількість тепла відпущеної гарячої води, яка умовно відноситься на виробництво електроенергії, ГДж; K_{ep}^{nap} – коефіцієнт економічного розподілу відпрацьованої пари у разі відпуску тепла з технологічною парою; $Q_{відп}^{nap}$ – кількість тепла відпрацьованої пари у відпущеному теплі з технологічною парою, ГДж; K_{ep}^{zg} – коефіцієнт економічного розподілу відпрацьованої пари у разі відпуску тепла з гарячою водою; $Q_{відп}^{zg}$ – кількість тепла відпрацьованої пари у відпущеному теплі з гарячою водою, ГДж.

Зміст коефіцієнтів економічного розподілу полягає в тому, що вони можуть бути довільними, тобто встановлюватися, наприклад, із економічних міркувань, під час визначення паливної складової собівартості відпуску тепла та електроенергії.

Кількість тепла з відпрацьованою парою є показником, який характеризує комбінований режим роботи і ніяк не пов'язаний з коефіцієнтами економічного розподілу.

За основу для розробки математичної моделі удосконалення методики [6] приймаються балансові рівняння виробітку і відпуску теплової та електричної енергії, черги устаткування згідно з [7] з урахуванням прийнятих і відданих перетоків тепла і електроенергії у власні потреби. За допомогою алгебраїчних перетворень виведено основні рівняння питомих витрат палива на відпущену теплову і електричну енергію.

Зведення питомих витрат палива на відпущену електричну енергію за прямим та зворотним балансом b_e визначається згідно з формулою

$$b_e = \frac{(B_o - B_{нек}) \cdot K_e \cdot \frac{E_{відп} \cdot (1 + \alpha_{emp}^e)}{E_{вир} - E_e^{en}}}{E_{відп}} = \frac{q_m^H \cdot (1 + \alpha_{e.неп}^{np}) \cdot (1 + \alpha_{emp}^e)}{\eta_k^H \cdot \eta_{mn}^H} \cdot K_{те.неп}^{np} \cdot K_Q^{ee} \quad (2)$$

де B_o – загальна витрата тепла палива, ГДж; $B_{нек}$ – тепло палива пікових водогрійних котлів, ГДж; K_e – коефіцієнт розподілу тепла, яке надійшло в турбоустановку, на вироблену електроенергію; $E_{відп}$ – відпущена споживачам електроенергія, ГДж; $E_{вир}$ – вироблена електроенергія, ГДж; E_e^{en} – витрата виробленої електроенергії на власні потреби на виробництво електроенергії; ГДж. α_{emp}^e –

частка втрат електроенергії, що пов'язана з її відпуском; q_m^H – питома витрата тепла нетто на турбіни на виробництво електроенергії; $\alpha_{e.nep}^{np}$ – частка тепла палива прийнятого перетоку електроенергії на власні потреби; $K_{me.nep}^{np}$ – коефіцієнт, що враховує прийнятий перетік тепла; K_Q^{ee} – коефіцієнт умовного збільшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво електроенергії; η_k^H – ККД нетто котельних агрегатів, %; η_{mn}^H – ККД нетто теплового потоку; b_e – питома витрата тепла палива на відпусцену електроенергію.

Коефіцієнт умовного збільшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво електроенергії K_Q^{ee} визначається за формулою

$$K_Q^{ee} = 1 + \frac{\Delta Q_e}{Q_e + Q_m^{gn}} \quad (3)$$

де Q_e – витрата тепла на турбіну на виробництво електроенергії, ГДж; Q_m^{gn} – витрата тепла на власні потреби турбін, ГДж.

Коефіцієнт розподілу тепла, яке надійшло в турбоустановку, на вироблену електроенергію K_e визначається за формулою

$$K_e = \frac{Q_e + Q_m^{gn} + \Delta Q_e}{Q_e + Q_m^{gn} + Q_{\text{відн}}^{nap} \cdot (1 + \alpha_{\text{вмп}}^{nap}) + Q_{\text{відн}}^{zg} \cdot (1 - \alpha_{\text{пвк}}^{zg} - \alpha_{\text{нас}}^{zg} + \alpha_{\text{вмп}}^{zg}) + Q_{\text{nep}}^{\text{від}}}} \quad (4)$$

де $Q_{\text{відн}}^{nap}$ – відпущене тепло з технологічною парою, ГДж; $\alpha_{\text{вмп}}^{nap}$ – коефіцієнт втрат тепла з технологічною парою у разі її відпуску споживачам; $Q_{\text{відн}}^{zg}$ – відпущене тепло з гарячою (мережною водою), ГДж; $\alpha_{\text{пвк}}^{zg}$ – частка відпуску тепла від пікових водогрійних котлів; $\alpha_{\text{нас}}^{zg}$ – частка відпуску тепла за рахунок її нагрівання в мережних насосах; $\alpha_{\text{вмп}}^{zg}$ – коефіцієнт втрат тепла з гарячою водою у разі її відпуску споживачам; $Q_{\text{nep}}^{\text{від}}$ – відданий перетік тепла на власні потреби, ГДж.

Зведення питомих витрат тепла палива на відпусцену теплову енергію за прямим та зворотним балансом b_{me} визначається за формулою

$$b_{me} = \frac{B_o - B_{e.nep}^{np.me} - B_{e.nep}^{\text{від}} - B_{me.nep}^{\text{від}} - B_e}{Q_{\text{відн}}} = \alpha_{\text{nap}} \cdot b_{me}^{nap} + \alpha_{\text{zg}} \cdot \left[(1 - \alpha_{\text{пвк}}^{zg} - \alpha_{\text{нас}}^{zg}) \cdot b_{me.mfy}^{zg} + \alpha_{\text{пвк}}^{zg} \cdot b_{me.пвк}^{zg} \right] \quad (5)$$

де $B_{e.nep}^{np.me}$ – тепло палива перетоку електроенергії у власні потреби, віднесене на відпусцену теплову енергію, ГДж; $B_{e.nep}^{\text{від}}$ – витрата тепла палива з відданим перетоком виробленої електроенергії, ГДж; $B_{me.nep}^{\text{від}}$ – витрата тепла палива з відданим перетоком виробленої теплової енергії, ГДж; B_e – витрата тепла палива на відпусцену електричну енергію, ГДж; $Q_{\text{відн}}$ – загальний відпуск тепла з технологічною парою та гарячою водою, ГДж; α_{nap} – частка відпуску тепла з технологічною парою; b_{me}^{nap} – питома витрата тепла палива на відпусцену теплову енергію з технологічною парою; α_{zg} – частка відпуску тепла з гарячою водою; $\alpha_{\text{пвк}}^{zg}$ – частка відпуску тепла від пікових водогрійних котлів; $\alpha_{\text{нас}}^{zg}$ – частка відпуску тепла за рахунок її нагрівання в мережних насосах; $b_{me.mfy}^{zg}$ – питома витрата тепла палива в гарячій воді на відпуск тепла від теплофікаційної установки; $b_{me.пвк}^{zg}$ – питома витрата тепла палива на відпуск тепла від пікової водогрійної котельні.

Питома витрата тепла палива на відпущене тепло з технологічною парою b_{me}^{nap} визначається за формулою

$$b_{me}^{nap} = \frac{1 + \alpha_{впр}^{nap}}{\eta_k \cdot \eta_{mn}} \cdot K_{me,пер}^{np} \cdot K_{Q,пар}^{me} + \frac{e_{пар}}{(1 + \alpha_{e,пер}^{np}) \cdot (1 + \alpha_{впр}^e)} \quad (6)$$

де $K_{Q,пар}^{me}$ – коефіцієнт умовного зменшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво теплової енергії з технологічною парою; $e_{пар}$ – питома витрата електроенергії на відпуск тепла з технологічною парою.

Коефіцієнт умовного зменшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво теплової енергії з технологічною парою $K_{Q,пар}^{me}$ визначається за формулою

$$K_{Q,пар}^{me} = 1 - \frac{\Delta Q_e}{Q_{відп}^{nap} \cdot (1 + \alpha_{впр}^{nap})} \quad (7)$$

Питома витрата тепла палива в гарячій воді на відпуск тепла від теплофікаційної установки $b_{me,мфу}^{зв}$ визначається за формулою

$$b_{me,мфу}^{зв} = \frac{1 + \alpha_{впр}^{мфу}}{\eta_k \cdot \eta_{mn}} \cdot K_{me,пер}^{np} \cdot K_{Q,зв}^{me} + \frac{e_{мфу}}{(1 + \alpha_{e,пер}^{np}) \cdot (1 + \alpha_{впр}^e)} \quad (8)$$

де $\alpha_{впр}^{мфу}$ – коефіцієнт втрат тепла, пов'язаний з відпуском тепла від теплофікаційної установки в гарячій воді; $K_{Q,зв}^{me}$ – коефіцієнт умовного зменшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво теплової енергії з гарячою водою; $e_{мфу}$ – питома витрата електроенергії на відпуск тепла від теплофікаційної установки в гарячій воді.

Коефіцієнт умовного зменшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво теплової енергії з гарячою водою $K_{Q,зв}^{me}$ визначається за формулою

$$K_{Q,зв}^{me} = 1 - \frac{\Delta Q_e^{зв}}{Q_{відп}^{зв} \cdot (1 - \alpha_{нвк}^{зв} - \alpha_{нас}^{зв} + \alpha_{впр}^{зв})} \quad (9)$$

Коефіцієнти економічного розподілу впливають на питомі витрати палива так:

а) у разі визначення питомих витрат палива за прямим балансом через коефіцієнт розподілу тепла, яке надійшло в турбоустановку, на вироблену електроенергію K_e згідно з формулою (4) у формулах (2), (5);

б) у разі визначення питомих витрат палива за зворотним балансом:

– через коефіцієнт умовного збільшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво електроенергії K_Q^{ee} згідно з формулою (3) у формулі (2);

– через коефіцієнт умовного зменшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво теплової енергії з технологічною парою $K_{Q,пар}^{me}$ згідно з формулою (7) через формулу (6) у формулі (5);

– через коефіцієнт умовного зменшення витрати тепла відпрацьованої пари на виробництво тепла з гарячою (мережною) водою $K_{Q,зв}^{me}$ згідно з формулою (9) через формулу (8) у формулі (5).

Очевидним є те, що коли встановити коефіцієнти економічного розподілу такими, що дорівнюють нулю, отримаємо метод згідно з [7].

Якщо прийняти коефіцієнти економічного розподілу у разі відпуску тепла з технологічною парою та гарячою водою рівними, то для того, щоб результати розрахунку за розробленим методом збігалися з результатами згідно з методом [6], необхідно задати коефіцієнт економічного розподілу K_{ep} такою формулою:

$$K_{ep} = \frac{Q_e + Q_m^{en}}{Q_{відпр}} \cdot \left(\frac{1 + \frac{0,5 \cdot \sum (1 - \xi_{відб.i}) \cdot Q_{відб.i} \cdot \frac{Q_{відпр}}{Q_m}}{Q_e + Q_m^{en}}}{1 + \frac{0,5 \cdot \sum (1 - \xi_{відб.i}) \cdot Q_{відб.i} \cdot \frac{Q_{відпр}}{Q_m}}{Q_e + Q_m^{en} + Q_{відпр} \cdot (1 - \alpha_{нек} - \alpha_{нас} + \alpha_{втр}^{ек}) \cdot 10^{-2}}} - 1 \right) \quad (10)$$

де $Q_{відпр}$ – загальний відпуск тепла з відпрацьованою парою, ГДж; $\xi_{відб.i}$ – коефіцієнт цінності тепла і-го відбору; $Q_{відб.i}$ – відпуск тепла з і-го відбору понад потреб регенерації; Q_m – сумарний відпуск тепла з відборів турбіни понад потреб регенерації; $\alpha_{нек}$ – частка відпуску тепла від водогрійних котлів; $\alpha_{нас}$ – частка відпуску тепла від мережних насосів; $\alpha_{втр}^{ек}$ – загальна частка втрат тепла з його відпуском від енергетичних котлів.

Висновки

1 Принципова відмінність розробленого методу розподілу палива від інших технічних методів полягає в тому, що розподіляється не економія тепла палива чи тепла пари в турбіні під час комбінованого виробництва порівняно з розділенням, а розподіляється тепло відпрацьованої пари – показник, який характеризує наявність комбінованого виробництва у разі відпуску тепла зовнішнім споживачам.

2. Розроблений метод, порівняно з методом [7], додатково вводить два показники, які не зв'язані із самим методом і можуть задаватися вольовим чином, наприклад, враховуючи економічні міркування. При тому коефіцієнти економічного розподілу можуть бути у вигляді константи, або задані функціонально.

3. Відхилення коефіцієнтів економічного розподілу від нуля фактично свідчить про відхилення результатів розрахунку питомих витрат палива від визначених за методом [7]. Математична модель розробленого методу дає змогу, підібравши відповідно коефіцієнти економічного розподілу, перетворити його у будь-який відомий технічний метод розподілу палива за результатами розрахунку питомих витрат тепла палива.

4. Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є доведення виконувати аналіз зміни економічності устаткування за фактичними показниками порівняно з попереднім періодом і за фактичними і нормативними показниками в періоді, що аналізується, за різних коефіцієнтів економічного розподілу.

1. Гоштейн Д. П. *Современные методы термодинамического анализа энергетических установок.* – М.: Энергия. 1969. – С. 368. 2. Бродянский В. М. *Эксергетический метод термодинамического анализа.* – М.: Энергия, 1973. – С. 296. 3. Горшков А.С. *Технико-экономические показатели тепловых электростанций.* – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – С.383. 4. Дубовской С. В. *Термодинамический метод разделения затрат в комбинированных энергетических процессах / Промышленная теплоэнергетика,* – 1995. –Т.17. – №1–3. – С.85–92. 5. Славина Н.А., Косматов Э.М., Барыкин Е. Е. *О методах распределения затрат на ТЭЦ / Электрические станции,* – 2001. – № 11. – С.14–17. 6. ГКД 34.09.108-98 *Розподіл витрати палива на теплових електростанціях на відпущену електричну і теплову енергію при їх комбінованому виробництві: Методика / С.М. Герасимов, І. П. Винницький, Й. С. Мисак, Т. Г. Кахикало.* – К.: НДІ Енергетики., 1998. – С. 16. 7. ГКД 34.09.103-96 *Розрахунок звітних техніко-економічних показників електростанції про теплову економічність: Методичні вказівки / С. М. Герасимов, Л. М. Баранова, І. Я. Ярошевич.* – К.: УНВО “Енергопрогрес”, 1996. – С.137.