

DOI 10.32820/2079-1747-2023-31-71-79
УДК 621.22.018.8

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АСУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ШЛЯХОМ УТОЧНЕННЯ КРИТЕРІЯ ОПТИМАЛЬНОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

© Грінченко Г.С., Василець Т.Ю., Купріянов О.В., Близниченко О.М., Фурсова Т.М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Грінченко Ганна Сергіївна (Hrinchenko Hanna): ORCID: 0000-0002-6498-6142; e-mail: hrinchenko@iipa.edu.ua кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Василець Тетяна Юхимівна (Vasylets Tetiana): ORCID: 0000-0002-2148-8645; e-mail: vasyleczy.ty@iipa.edu.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Купріянов Олександр (Kupriyanov Oleksandr): ORCID: 0000-0003-0017-5751, доктор технічних наук, професор, Українська інженерно-педагогічна академія, проректор з наукової роботи, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Близниченко Олена Миколаївна (Bliznichenko Olena): ORCID: 0000-0002-2774-5200; e-mail: art-studio_diana_@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Фурсова Тетяна Миколаївна (Fursova Tetiana): ORCID: 0000-0003-1900-7432; e-mail: tatiana2507@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті проведено аналіз факторів, що впливають на техніко-економічні показники роботи енергоблоків електростанцій. На основі відхилення фактичних значень параметрів від оптимально-нормативних та проектних значень визначено коефіцієнти зміни витрати енергії стосовно витрат первинної енергії, а саме: обумовлений дією внутрішніх факторів; обумовлений дією зовнішніх факторів; обумовлений недосконалістю устаткування. Їх чисельне визначення базується на теплових розрахунках окремих елементів енергетичного обладнання при безперервно змінюваних параметрах, що характеризують перебіг процесів у цих елементах (температури, тиску, витрати та ін.). Показано, що при одночасному спалюванні декількох видів палива оптимально-нормативні параметри змінюються в залежності від кількісного співвідношення видів палив, що спалюються. Визначено сумарне відхилення витрати палива як сукупність змін у витратах палива, спричинених відхиленням фактичних значень параметрів від їх проектних величин. Враховано відповідно відхилення витрати палива за рахунок впливу аналізованих факторів парогенератора, турбіни, механізмів власних потреб блоку, асортименту палива та пусків, а також впливу зміни режимів роботи, кількості відпущеної енергії, фактичного асортименту палива, якості експлуатації, а також реальних умов роботи обладнання та якості проектування та монтажу. Отримано аналітичну залежність визначення різниці між фактичною замірною витратою палива та фактичною розрахунковою, яка характеризує величину небалансу. Визначено шляхи подальшого вдосконалення автоматизованих систем управління тепловими електростанціями, які полягають у зменшенні витрат палива, тепла та електроенергії на власні потреби. Наведено схему визначення фактичної розрахункової витрати пального нетто енергоблоком на основі розрахунку окремих аналізованих факторів, що дозволяє конкретно відповісти на питання: що, як і якою мірою впливає на загальні техніко-економічні показники енергоблоку. Використання наведених критеріїв в автоматизованих системах управління окремим обладнанням, енергоблоком та електростанцією в цілому дозволить підвищити якість систем керування.

Ключові слова: техніко-економічні показники, якість систем автоматизованого керування, енергоблок, електростанція, енергозбереження.

Hrinchenko H., Vasylets T., Kupriyanov O., Bliznichenko O., Fursova T. Improving the quality of ASC of thermal power plants by specifying the optimality criteria for technical and economic indicators.

The article analyzes the factors affecting the technical and economic indicators of the operation of power units of power plants. Based on the deviation of the actual values of the parameters from the optimal normative and design values, the coefficients of change of energy consumption relative to the consumption of primary energy are determined, namely: due to the action of internal factors; caused by external factors; caused by the imperfection of the equipment. Their numerical determination is based on thermal calculations of individual elements of power equipment with continuously changing parameters characterizing the course of processes in these elements (temperature, pressure, flow, etc.). It is shown that with the simultaneous burning of several types of fuel, the optimal normative parameters change depending on the quantitative ratio of the types of fuel being burned. The total deviation of fuel consumption is determined as a set of changes in fuel consumption caused by the deviation of the actual values of the parameters from their design values. Accordingly, the deviation of fuel consumption due to the influence of the analyzed factors of the steam generator, turbine, mechanisms of the unit's own needs, the range of fuel and starts, as well as the influence of changes in operating modes, the amount of energy released, the actual range of fuel, the quality of operation, as well as the real operating conditions of the equipment, its design and assembly quality, are taken into account. The analytical dependence of the determination of the difference between the actual measured fuel consumption and the actual estimated fuel consumption, which characterizes the amount of imbalance, was obtained. The ways of further improvement of the automated control systems of thermal power plants, which consist in reducing the consumption of fuel, heat and electricity for their own needs, were determined. The study presents a scheme for determining the actual estimated net fuel consumption of power units, utilizing a calculation method that takes into account various analyzed factors. The scheme enables addressing questions related to the factors that influence the overall technical and economic indicators of power units, including what aspects are influential, how they affect the indicators, and to what extent. Incorporating these criteria into automated control systems for individual equipment, power units, and entire power plants will enhance the quality of control systems. By utilizing the proposed scheme, improvements can be achieved in the efficiency and effectiveness of power unit operations, leading to enhanced technical and economic performance.

Keywords: technical and economic indicators, quality of automated control systems, power unit, power plant, energy saving.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями

В даний час очевиднішим стає факт взаємозв'язку енергозбереження, що забезпечує зниження витрати палива та енергії на одиницю продукції, що виробляється, з глобальною проблемою екології планети. Згідно з дослідженнями, проведеними наприкінці минулого століття, потенціал енергозбереження становить близько 1/3 всього обсягу споживаних первинних ресурсів. Витрата первинних енергоресурсів у розрахунку на одиницю валового внутрішнього продукту в нашій країні приблизно в 1,3 рази більша ніж у США, і в 2 рази вище порівняно з передовими західноєвропейськими країнами та Японією [1].

У нашій країні питання енергозбереження історично вирішуються і вирішуватимуться за двома глобальними напрямками:

- енергозбереження при генерації електричної та теплової енергії на електричних станціях;
- енергозбереження у сфері споживання енергії.

За першим напрямом ведуться і інтенсивно розвиватимуться дослідницькі, конструкторські та монтажні роботи з підвищення економічності діючих теплових (ТЕС) та атомних (АЕС) електростанцій, оскільки більша частина основного та допоміжного обладнання енергоблоків 200 і 300 МВт виробило свій ресурс (фізично та морально застаріло), то з метою безпеки параметри пари та води в них знижено. Знижено потужність енергоблоків 200 МВт до 170-180 МВт, а енергоблоків 300 МВт до 280 МВт, тобто. вони експлуатуються у нерозрахункових, не економічних режимах. Це призвело до зниження їх коефіцієнтів корисної дії (ККД) на 4 та більше відсотків [2]. Таким чином, виникає необхідність вироблення універсального критерію оптимальності техніко-економічних показників роботи електростанцій, який би враховував усі фактори, що впливають на економічність. Цей критерій має бути використаний у системах автоматизованого керування енергоблоками, що підвищить якість керування та точність визначення основних ТЕР, тобто аналіз техніко-економічних показників (ТЕР) є одним із найважливіших функцій автоматизованих систем управління виробництвом (АСУП) ТЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання енергозбереження висвітлено в Основні положення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [3] та отримали свій подальший розвиток у «Нова енергетична стратегія України до 2035 року» [4]

Найближчим часом долю неекономічних блоків в Україні доведеться вирішувати шляхом впровадження маловитратних, економічно чистих енерготехнологій [5] та модернізації існуючого обладнання з метою приведення їх ТЕР у межі допустимого [6]. Сюди відноситься переведення конденсаційних електростанцій (КЕС) в режим ТЕЦ, впровадження технологій спалювання низькосортних палив [7] та відповідна модернізація обладнання [8], вдосконалення низькопотенційних комплексів [9] і т.д.

Поряд з цим, велика увага приділяється оптимізації та моделюванню режимів роботи енергоукомплектування електростанцій, у тому числі оптимізації навантаження на ТЕС [10], що дуже впливає на ТЕР. Розглядаються соціальні та екологічні аспекти роботи ТЕС, що також має бути враховано щодо інтегральних показників ТЕР [11, 12]. Розробляються проекти нормативних документів щодо забезпечення енергоефективних режимів роботи елементів енергоблоків [13, 14].

Незважаючи на велику кількість робіт, спрямованих на підвищення ТЕР роботи енергоблоків електростанцій, загальний критерій оптимальності визначено у неявному вигляді. Так у [10] розглядається струм оптимум розподілу навантаження, без урахування інших факторів. У роботах [13, 14] пропонується як критерій оптимальності ТЕР технічна сторона, без урахування заробітних плат, амортизації, екології тощо. Зазначені недоліки вимагають уніфікації критерію оптимальності ТЕР та облік усіх факторів, що входять до розрахунку ТЕР.

Постановка мети та завдання дослідження

Метою роботи є удосконалення методики визначення та аналізу техніко-економічних показників теплових електростанцій з метою їх ефективного використання в автоматизованих системах управління енергоблоками та підвищення якості систем управління.

Виклад основного матеріалу

Для ліквідації принципових недоліків існуючих способів аналізу ТЕР ТЕС та отримання необхідної для АСУП інформації система автоматизованого аналізу має передбачати:

1) поділ всіх аналізованих факторів на внутрішні (залежні від персоналу електростанції) та зовнішні (не залежні від нього: режимний, об'ємний, зміна асортименту палива та ін.);

2) визначення нормативних показників до функцій від навантаження обладнання для реальних умов експлуатації та стану обладнання;

3) розрахунок оптимальних експлуатаційних параметрів з видачею необхідних рекомендацій усім категоріям працівників (від персоналу окремих робочих місць до керівництва електростанції) щодо підтримки оптимальних режимів роботи обладнання;

4) підготовку вихідних даних для визначення оптимальних обсягів ремонтних та реконструктивних робіт та проведення їх у оптимальні терміни;

5) підготовку вихідних даних з оцінки діяльності персоналу ТЕС загалом по оптимально-нормативному витраті палива, тобто. за такою витратою, яку електростанція могла б мати за відсутності причин перевитрати з вини її персоналу;

6) підготовку вихідних даних для кількісної оцінки діяльності різних груп персоналу щодо зон обслуговування установок та механізмів, на режим та параметри, яких безпосередньо впливає цей персонал.

Для поділу всіх аналізованих факторів на внутрішні та зовнішні та підготовки всіх необхідних вихідних даних у [2] запропоновано наступну класифікацію параметрів та відповідних показників:

- проектні параметри (показники) P_p ;
- фактичні параметри (показники) P_f ;
- оптимально-нормативні параметри (показники) P_n .

Проектні параметри - це параметри, які мали б місце, якби всі вихідні положення, що стали основою проектування (конструювання), повністю досягнуто в процесі експлуатації. Ці параметри закладаються на стадії конструювання обладнання та проектування електростанції. Фактичні параметри – це параметри, які реально мають місце на устаткуванні у процесі його експлуатації.

Різниця між фактичними та проектними параметрами

$$\Delta P_{f,p} = P_f - P_p \quad (1)$$

визначає загальну зміну ТЕП обладнання, викликане недосконалістю конструкції, недосконалістю експлуатації та відхиленням фактичних умов роботи від проектних. Для виділення впливу кожного з цих факторів, а також для визначення нормативних показників та оптимізації режимів роботи в реальних умовах експлуатації є оптимально-нормативні параметри.

Оптимально-нормативні параметри – це параметри, які були на обладнанні, якби за фактичних зовнішніх умов був відхилен через недосконалість експлуатації. Таким чином, різниця між фактичними та оптимально-нормативними параметрами

$$\Delta P_{f,n} = P_f - P_n \quad (2)$$

визначає зміну ТЕП через недосконалість експлуатації (внутрішні чинники). Оптимально-нормативні параметри мають визначатися відповідно до прийнятої методики.

Різниця між оптимально-нормативними та проектними показниками

$$\Delta P_{n,p} = P_n - P_p \quad (3)$$

визначає зміну ТЕП, викликане недосконалістю проектування (конструювання) та відхиленням фактичних умов роботи від проектних (зовнішні чинники).

Різниця між оптимально-нормативними показниками, визначеними для фактичних (P_n) та проектних (P_p) умов роботи обладнання за фактичного (непроектного) стану його,

$$\Delta P_{n,p} = P_n - P_p \quad (4)$$

дозволяє підрахувати зміну ТЕП через відхилення фактичних умов роботи від проектних.

Різниця

$$\Delta\Pi_{п.р} = \Pi_{п} - \Pi_{р} \quad (5)$$

дозволяє оцінити якість проектування та монтажу.

Таким чином, використання наведеної класифікації при аналізі економічності роботи обладнання та електростанції в цілому дає можливість кількісно оцінити вплив:

- 1) якості експлуатації ($\Delta\Pi_{ф.н}$);
- 2) відхилення реальних умов експлуатації від проектних ($\Delta\Pi_{н.п}$);
- 3) якості проектування та монтажу ($\Delta\Pi_{п.р}$).

Для визначення оптимально-нормативних величин усі параметри поділяються на три групи залежно від характеру їхнього впливу на витрату палива.

До першої групи включаються параметри, які не залежать від режиму роботи обладнання: $\Pi_1 \neq f_1(N)$. Як правило, вони або підтримуються постійними, або змінюються у певних, наперед заданих межах.

Другу групу утворюють параметри, які залежать тільки від режиму роботи обладнання та визначаються ним: $\Pi_2 \neq f_2(N)$. Вони є змінними величинами (температура газів, поживної води та ін.).

Третя група – це параметри, що залежать як від режиму роботи обладнання, так і від факторів, на які персонал електростанції безпосередньо впливати не може (наприклад, асортимент палива, що спалюється, температура охолоджуючої води та ін.): $\Pi_3 \neq f_3(N)$.

При визначенні оптимально-нормативних величин параметрів третьої групи необхідно, як правило, проводити розрахунки з оптимізації, оскільки в цьому випадку нормативна величина визначається із знаходження оптимального поєднання різних параметрів та умов роботи обладнання. Наприклад, оптимально-нормативна величина – вакууму може бути отримана тільки при визначенні сумарної максимальної потужності турбоагрегату та циркуляційних насосів в залежності від температури води, що охолоджує, при даному стані конденсатора. У цю групу включаються показники, що визначають надійність роботи установок.

При одночасному спалюванні декількох видів палива оптимально-нормативні параметри змінюються в залежності від кількісного співвідношення видів палив, що спалюються. Визначення таких параметрів здійснюється за виразом:

$$\Pi_i = \sum_k \delta_k \Pi_{ik} \quad (6)$$

де δ_k – частка спаленого k-го виду палива у загальних витратах (середня величина за аналізований період); Π_i і Π_{ik} , – будь-який показник, віднесений відповідно до суміші палива та k-му його виду.

На основі відхилення фактичних значень i-х параметрів від оптимально-нормативних та проектних значень $\Pi_{ін}$ і $\Pi_{пр}$ визначаються коефіцієнти зміни витрати енергії Φ_i , по відношенню до витрат первинної енергії:

- коефіцієнт зміни витрати енергії, зумовлений дією внутрішніх факторів:

$$\Phi_{iфн} = k_i \Delta\Pi_{iфн} \quad (7)$$

- коефіцієнт зміни витрати енергії, зумовлений дією зовнішніх факторів:

$$\Phi_{iфп} = k_i \Delta\Pi_{iфп} \quad (8)$$

- Коефіцієнт зміни витрати енергії, обумовлений недосконалістю обладнання:

$$\Phi_{\text{іпр}} = k_i \Delta \Pi_{\text{іпр}} \quad (9)$$

У цих виразах коефіцієнти k_i являють собою зміни потужності або витрати тепла на агрегат, викликані відхиленням i -х параметрів на одиницю при одиничних витратах електричної потужності або витраті тепла. Величини k_i є функцією навантажень, стану обладнання та теплової схеми та ін. Надалі називатимемо ці величини питомими параметричними коефіцієнтами. Чисельне визначення їх базується на теплових розрахунках окремих елементів енергетичного обладнання при безперервно змінюваних параметрах, що характеризують перебіг процесів у цих елементах (температури, тиску, витрати та ін.), і в загальному випадку є предметом самостійного дослідження.

Коефіцієнти зміни витрати енергії Φ_i з (7), (8) та (9) служать для визначення змін потужності ΔN_i ; витрати тепла ΔQ_i та палива ΔB_i викликаних впливом i -го аналізованого фактору:

$$\Delta N_i = \Phi_i^N N; \quad \Delta Q_i = \Phi_i^Q Q; \quad \Delta B_i = f(\Delta N_i, \Delta Q_i); \quad (10)$$

де N, Q – фактичне електричне або теплове навантаження агрегату (індекси при Φ_i показують вид енергії, до якого належить цей коефіцієнт).

Сукупність змін у витратах палива, викликаних відхиленням фактичних значень параметрів від їх проектних величин, дає змогу визначити сумарне відхилення витрат палива $\Delta B_{\text{фр}}$. Воно визначається за виразом:

$$\Delta B_{\text{фр}} = \sum \Delta B_i = \sum \Delta B_{k_i} + \sum \Delta B_{T_i} + \sum \Delta B_{c_{\text{ні}}} + \sum \Delta B_{p_{\text{ж}}} + \sum \Delta B_{\text{э}} + \sum \Delta B_a + \sum \Delta B_{\text{п}} \quad (11)$$

де $\sum \Delta B_{k_i}, \sum \Delta B_{T_i}, \sum \Delta B_{c_{\text{ні}}}, \sum \Delta B_{p_{\text{ж}}}, \sum \Delta B_{\text{э}}, \sum \Delta B_a, \sum \Delta B_{\text{п}}$ – відповідно відхилення витрати палива за рахунок впливу аналізованих факторів парогенератора, турбіни, механізмів власних потреб блоку, режимного та об'ємного факторів, асортименту палива та пусків.

Режимний, об'ємний та асортиментний фактори визначають вплив зміни відповідно до режимів роботи, кількості відпущеної енергії та фактичного асортименту палива на економічність роботи обладнання.

Доданки $\sum \Delta B_{k_i}, \sum \Delta B_{T_i}, \sum \Delta B_{c_{\text{ні}}}$ вирази (11), містять відхилення, що визначають вплив ні витрата палива, якості експлуатації ($\sum \Delta B'_{k_i}, \sum \Delta B'_{T_i}, \sum \Delta B'_{c_{\text{ні}}}$), а також реальних умов роботи обладнання та якості проектування та монтажу – зовнішніх факторів ($\sum \Delta B''_{k_i}, \sum \Delta B''_{T_i}, \sum \Delta B''_{c_{\text{ні}}}$):

$$\sum \Delta B_{k_i} = \sum \Delta B'_{k_i} + \sum \Delta B''_{k_i}; \quad \sum \Delta B_{T_i} = \sum \Delta B'_{T_i} + \sum \Delta B''_{T_i}; \quad \sum \Delta B_{c_{\text{ні}}} = \sum \Delta B'_{c_{\text{ні}}} + \sum \Delta B''_{c_{\text{ні}}}$$

Фактичний розрахунковий $V_{\text{ф.р.}}$ та оптимально-нормативні витрати $V_{\text{н}}$ палива визначаються відповідно за формулами:

$$V_{\text{ф.р.}} = V_{\text{р.}} + \Delta B_{\text{ф.р.}} \quad (12)$$

$$V_{\text{н}} = V_{\text{р.}} + \Delta B_{\text{н.р.}} \quad (13)$$

де $V_{\text{р.}}$ – проектний витрата палива, тобто. витрата, що визначається за проектних умов роботи обладнання та його проектному стані; $\Delta B_{\text{н.р.}}$ – відхилення витрати палива за рахунок впливу зовнішніх факторів:

$$\Delta V_{н.р} = \sum \Delta V_{ki}'' + \sum \Delta V_{Ti}'' + \sum \Delta V_{с.нi}'' + \sum \Delta V_{р.ж} + \sum \Delta V_{э} + \sum \Delta V_{а} + \sum \Delta V_{п} \quad (14)$$

Різниця між фактичною замірною витратою палива $V_{ф.з.}$ фактичним розрахунковим $V_{ф.р.}$ характеризує величину небалансу:

$$\Delta V_{НЕБ} = V_{ф.з.} + \Delta V_{ф.р.}$$

Слід наголосити, що при обліку досить великої кількості факторів, що впливають на економічність роботи обладнання, достовірність визначення фактичних розрахункових витрат пального набагато вища за достовірність фактичних замірних значень.

Схема визначення фактичної розрахункової витрати пального нетто енергоблоком на основі розрахунку окремих аналізованих факторів наведена на рис. 1.

У [2] наведено приблизну класифікацію аналізованих факторів по групах, прийняту при спрощеному аналізі роботи конденсаційних електростанцій, обладнаних пилотутними енергоблоками.

Розподіл всіх чинників на внутрішні та зовнішні, яке використано у системі автоматизованого аналізу, дозволяє безпосередньо відповісти на питання: що, як і якою мірою впливає на загальні ТЕП.

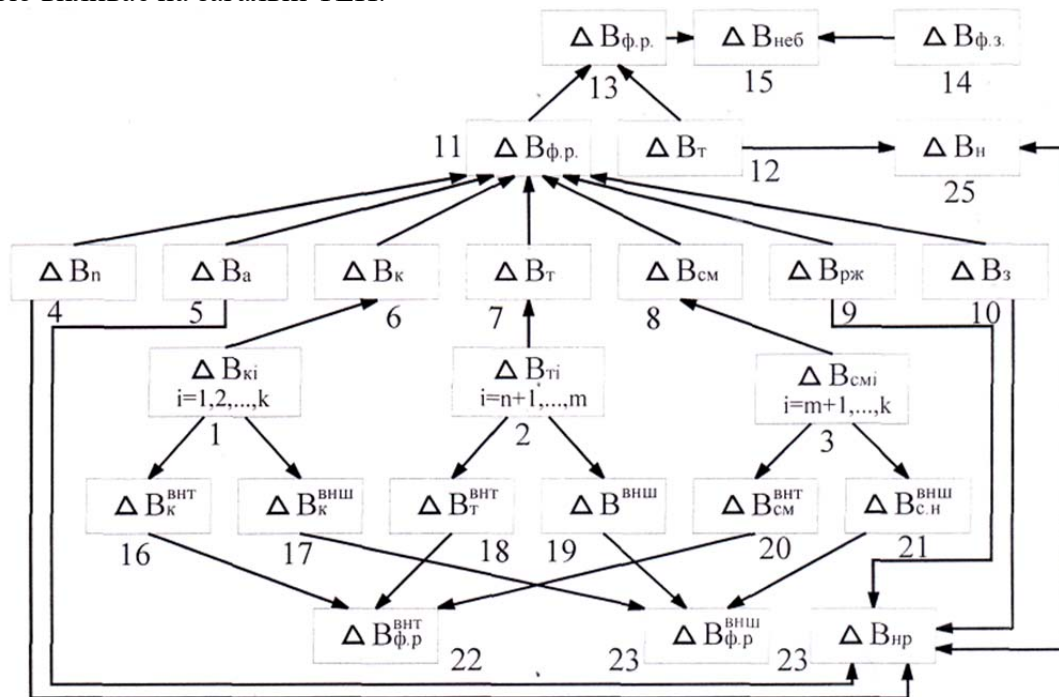


Рис. 1 – Схема визначення фактичного розрахункового та оптимально-нормативного витрат палива енергоблоком за аналізованими факторами

Цифрами позначені: блоки розрахунків відхилень витрат палива за рахунок впливу відповідно: 1 – i -го фактору парогенератора; 2 – i -го фактору турбіни; 3 – i -го фактору механізмів власних потреб енергоблоку; 4 – пуску енергоблоку; 5 – асортимент палива, що спалюється; 6 – всіх аналізованих факторів парогенератора; 7 – всіх аналізованих факторів турбіни; 8 – всіх аналізованих факторів механізмів власних потреб енергоблоку; 9 – режимного фактору; 10 – об'ємного фактору; 11 – всіх факторів енергоблоку; 12 – проектний; 13 – фактичний розрахунковий; 14 – фактично вимірний; 15 – небаланс; 16 – внутрішніх факторів парогенератора; 17 – зовнішніх факторів парогенератора; 18 – внутрішніх факторів турбіни; 19 – зовнішніх факторів турбіни; 20 – внутрішніх факторів механізмів власних потреб енергоблоку; 21 – зовнішніх факторів механізмів власних потреб енергоблоку; 22 – внутрішні фактори енергоблоку; 23 – зовнішні фактори енергоблоку, пов'язані з недосконалістю проектування; 24 – всіх зовнішніх факторів енергоблоку; 25 – оптимально-нормативний; блоки формування сумарних відхилень витрат палива за рахунок впливу зовнішніх та внутрішніх факторів.

На основі викладених положень необхідна розробка та впровадження системи автоматизованого керування елементами електростанцій, яка дозволяє підтримувати оптимальні режими роботи обладнання та, таким чином:

- зменшити витрати тепла на турбоустановку;
- зменшити витрату палива на парогенератор;
- покращити ТЕП бруто окремих блоків та станції в цілому за будь-який період часу;
- зменшити витрати електроенергії на власні потреби по блоках, цехах та основних групах споживачів та розмірів їх відхилень від нормативних, включаючи оптимізацію окремих систем;
- підтримувати оптимально-нормативні показники всіх ланок ТЕС;
- враховувати вплив різних вартісних показників на собівартість енергії, прибуток та розрахункові витрати (ціна палива, заробітна плата, амортизація, поточний ремонт, капіталовкладення, сума реалізації та ін.).

Висновки

В результаті досліджень отримано залежності, що визначають фактичну розрахункову витрату палива нетто енергоблока на основі розрахунку окремих аналізованих факторів. Показано методику визначення фактичного відхилення витрати палива від розрахункового значення. Отримані взаємозв'язки чинників, що дозволяють безпосередньо з відповіддю: що, як і якою мірою впливає загальні техніко-економічні показники роботи енергоблока. Використання наведених критеріїв в АСУ ТЕС дозволить підвищити якість управління енергоблоками і знизити собівартість енергії, що виробляється.

Список використаних джерел:

1. Дуэль М. А. Автоматизированные системы управления энергоблоками тепловых и атомных станций. – Харьков : ЧП "КиК", 2006. – 420 с.
2. Артюх С. Ф. Автоматизированные системы управления энергогенерирующими установками электростанций. / С. Ф. Артюх, М. А. Дуэль, И. Г. Шелепов. – Харьков, 2000. – 447 с.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. : втрата чинності 18.08.2017 р. / Каб. М-в України від 24.07.2013 р № 1071. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text> (дата звернення 15.05.2023).
4. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332> (дата звернення 15.05.2023).
5. Халатов А. А. Энергетика Украины: сучасний стан і найближчі перспективи / А. А. Халатов // Вісник НАН України. – 2016. – № 6. – С. 53-61.
6. Шелепов И. Г. О некоторых проблемах оценки энергосбережения при эксплуатации устаревшего оборудования ТЭС / И. Г. Шелепов, Д. В. Михайский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № ½. – С. 173–175.
7. Підвищення точності виміру та контролю параметрів систем паливopодачі парових котлів електростанцій / Г. І. Канюк, А. Ю. Мезеря, А. М. Чеботарьов, Г. С. Близниченко, Ю. О. Бондаренко // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2022. – Вип. 29. – С. 80-88.
8. Модернизация режимов эксплуатации ТЭС с учетом качества топлива / И. Г. Шелепов, Д. В. Михайский, А. В. Павленко, О. В. Кедь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 6/2. – С. 144-148.
9. Підвищення ефективності роботи систем низькопотенційного комплексу електростанцій шляхом оптимального керування витратою циркуляційної води / Г. І. Канюк, А. Ю. Мезеря, А. М. Чеботарьов, Г. С. Близниченко // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2020. – Вип. 4(52). – С. 34–39.
10. Експериментальне моделювання процесів оптимізації навантаження на ТЕС / О. С. Сердюк // *Управління економікою: теорія та практика* : зб. наук. пр. – Київ : ІЕП НАНУ, 2018. – С. 213–227.
11. Дубовський С. В. Техніко-економічні оцінки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України / С. В. Дубовський, В. С. Коберник // *Проблеми загальної енергетики*. – 2013. – № 2(33). – С. 49–56.
12. Залознова Ю. С. Економічні та соціальні проблеми розвитку промисловості : монографія / Ю. С. Залознова ; НАН України, Інститут економіки промисловості. – Київ, 2017. – 288 с.

13. Князева В. Н. Анализ нормативных документов Украины по обеспечению эффективной эксплуатации элементов систем низкпотенциальных комплексов электростанций / В. Н. Князева, А. Ю. Мезеря, А. Н. Чеботарев // The 6th International scientific and practical conference “Topical issues of the development of modern science” (February 12-14, 2020). – Sofia : Publishing House “ACCENT”, 2020. – Pp. 553–557.

14. Чеботарев А. М. Аналіз нормативного забезпечення ефективності роботи елементів систем низькопотенційних комплексів електростанцій / А. М. Чеботарев, Ю. О. Бондаренко // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2022. – Вип. 29. – С. 97–103.

Reference:

1. Dujel', MA 2006, *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya jenergoblokami teplovyh i atomnyh stancij*, [Automated control systems for power units of thermal and nuclear power plants], ChP "KiK", Har'kov.

2. Artjuh, SF, Dujel', MA & Shelepov, IG 2000, *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya jenerogogenerirujushhimi ustanovkami jelektro-stancij*, [Automated control systems for power generating units of power plants], Har'kov.

3. Kabinet Ministriv Ukrainy 2013, Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 r. : vtrata chynnosti 18.08.2017 r., [Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030: expired on August 18, 2017], viewed 15 May 2023 <<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text>>.

4. Kabinet Ministriv Ukrainy 2017, Nova enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2035 roku: «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist», [New Energy Strategy of Ukraine until 2035: "Security, Energy Efficiency, Competitiveness"], viewed 15 May 2023 <<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>>.

5. Khalatov, AA 2016, ‘Enerhetyka Ukrainy: suchasnyi stan i naiblyzhchi perspektyvy’, [Ukraine's energy sector: current situation and short-term prospects], *Visnyk NAN Ukrainy*, no 6, Pp. 53-61.

6. Shelepov, IG, Mikhayskiy, DV 2006, ‘O nekotorykh problemakh otsenki energosberezheniya pri ekspluatatsii ustarevshego oboru-dovaniya TES’, [On some problems of assessing energy savings in the operation of obsolete TPP equipment], *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, no 1/2, Pp. 173-175.

7. Kanyuk, GI, Mezerya. AYu, Chebotarov. AM, Bliznichenko. GS & Bondarenko, you 2022, ‘Pidvishchennya tochnosti vimiru ta kontrolyu parametriv sistem palivopodachi parovikh kotliv elektrostantsiy’, [Improving the accuracy of measurement and control of parameters for fuel supply systems of steam boilers at power plants], *Mashinobuduvannya*, iss. 29, Pp. 80-88.

8. Shelepov, IG, Mikhayskiy, DV & Ked, OV 2005, ‘Modernizatsiya rezhimov ekspluatatsii TES s uchetom kachestva topliva’, [Modernization of TPP operation modes taking into consideration fuel quality], *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, no 6/2, Pp. 144-148.

9. Kanyuk, GI, Mezerya, AYu, Chebotarov, AM & Bliznichenko, GS 2020, ‘Pidvishchennya effektivnosti roboti sistem nizkopotentsiynogo kompleksu elektrostantsiy shlya-khom optimalnogo keruvannya vitratoyu tsirkulyatsiynoi vodi’, [Improving the efficiency of low-potential power plant systems by optimizing circulating water consumption], *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi*, iss 4(52), Pp. 34-39.

10. Serdyuk, OS 2018, ‘Eksperimentalne modelyuvannya protsesiv optimizatsii navantazhennya na TES’, [Experimental modeling of load optimization processes at TPPs], *Upravlinnya ekonomikoyu: teoriya ta praktika*, Pp. 213-227.

11. Dubovskiy, SV & Kobernik, VS 2013, ‘Tekhniko-ekonomichni otsinki perspektivnykh prirodookhoronnykh tekhnologiy teplovoi energetiki Ukraïni’, [Technical and economic assessments of promising environmental protection technologies in the thermal power industry of Ukraine], *Problemi zagalnoi energetiki*, no 2(33), Pp. 49-56.

12. Zaloznova, YuS 2017, *Ekonomichni ta sotsialni problemi rozvitku promislivosti: monografiya*, [Economic and social problems of industrial development: a monograph], *NAN Ukraïni. Institut ekonomiki promislivosti*, Kiïv.

13. Knyazeva, VN, Mezerya. AYu & Chebotarev, AN 2020, ‘Analiz normativnykh dokumentov Ukrainy po obespecheniyu effektivnoy ekspluatatsii elementov sistem nizkpotentsialnykh kompleksov elektrostantsiy’, [Analysis of regulatory documents of Ukraine to ensure the effective operation of elements in the systems of low-potential complexes of power plants], *The 6th International scientific and practical conference “Topical issues of the development of modern science” (February 12-14. 2020)*, Publishing House “ACCENT”, Pp.553-557.

14. Chebotarov, AM & Bondarenko, YuO 2022, ‘Analiz normativnogo zabezpechennya effektivnosti roboti elementiv sistem nizkopo-tentsiynikh kompleksiv elektrostantsiy’, [Analysis of the regulatory support for the efficiency of system elements of low-potential power plant complexes], *Mashinobuduvannya*, iss 29, Pp. 97-103.

Стаття надійшла до редакції 14 червня 2023 року