

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-07>

УДК 621.311.22

¹Г.І. КАНЮК, доктор технічних наук

завідувач кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: genadiykanuk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1399-9039>

¹А.Ю. МЕЗЕРЯ, кандидат технічних наук

доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: mezzer@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2946-9593>

¹В.С. ВІТЕР,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: vitervladislav215@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3882-4675>

¹В.Є. МАЛЮТА,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: Sony199325@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0789-442X>

¹С.В. НАСИРОВ,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: nasirov1980@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9599-8306>

¹*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

В роботі встановлені співвідношення, які дозволяють визначати основні показники якості електростанцій при їх модернізації та реконструкції, до яких відносяться, насамперед, техніко-економічні показники, що може скласти основу для аналізу показників якості модернізації. Визначені основні причини виникнення перевитрати палива при модернізації та реконструкції: вимушене зменшення енергетичного навантаження через часткові та повні відмови її елементів та погіршення енергетичних характеристик та характеристик міцності внаслідок фізичного та морального зношування обладнання. Встановлені залежності, які визначають рентабельність модернізації та реконструкції обладнання електростанцій. Наведені витрати, які є сумою річних витрат і нормативного прибутку, тобто характеризують витратну складову ефективності модернізації. Визначено додаткові витрати палива, які виникають при консервації обладнання. Визначено, що погіршення якості палива призводить до необхідності збільшення підсвічування газом або мазутом. При цьому збільшення підсвічування призводить до збільшення витрати палива, яке пов'язане з підсушуванням палива та розпиленням мазуту. Показано, що витрати палива, які пов'язані з перевитратою палива при експлуатації енергоблоків в сталих режимах роботи при часткових відмовах, залежать від середнього значення коефіцієнта корисної дії. Наведено, що витрати електроенергії на власні потреби значною мірою залежить від режиму роботи енергоблоку, від його навантаження. Часті пуски та зупинки енергоблоків, зниження та збільшення навантаження призводять до значних перевитрат палива в залежності від їх частоти і тривалості. Тобто перевитрата палива залежить від роботи енергоблоку (у період пуску та зупинки) та кількості пусків та зупинок.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: показники якості, економічність, електростанція, техніко-економічні показники, модернізація, енергозбереження

Як цитувати: Канюк Г. І., Мезеря А. Ю., Вітер В. С., Малюта В. Є., Насиров С. В. Аналіз показників якості електростанцій при модернізації. *Машинобудування*. 2024. Вип. 34 С. 72-81. DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-07>



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

У процесі експлуатації обладнання електростанцій відбувається його моральне та фізичне старіння.

Національна енергетична Стратегія України до 2035 року передбачає щорічні інвестиційні вкладення на реконструкцію та модернізацію наявних енергетичних об'єктів, переважно ТЕС обсягом близько 1 млрд дол. Складне економічне та фінансове становище енергетичної галузі не дозволяє забезпечити фінансування за рахунок власних накопичень чи бюджетних коштів.

Однією з ключових проблем розвитку енергетики є залучення додаткових ресурсів як зовнішніх, так і внутрішніх. З огляду на це Міненерго проводить послідовну політику залучення коштів іноземних інвесторів та кредиторів для реабілітації генеруючих джерел електроенергії. Найбільш доступними кредиторами виявилися Світовий банк та Європейський банк реконструкції та розвитку, політика яких спрямована на розвиток інфраструктури у країнах із перехідною економікою.

Модернізація виробництва проводиться з метою удосконалення характеристик енергетичного обладнання,

яке ще не виробило технічний ресурс, але за техніко-економічними показниками не відповідає сучасним вимогам. Модернізація може відбуватися в період капітальних ремонтів енергоблоків, включаючи реконструкцію вузлів та елементів або їх заміну.

Основними завданнями модернізації енергоблоків є:

- підвищення техніко-економічних показників (ККД, питомих витрат, палива та теплоти);
- зменшення негативного впливу на довкілля відповідно до міжнародних норм;
- підвищення надійності;
- збільшення технічного ресурсу.

Кожне з перелічених завдань вирішується за дотримання вимог, сформульованих у наступних задачах. Наприклад: підвищення техніко-економічних показників має відбуватися за дотримання вимог екології, надійності, довговічності.

У зв'язку з тим, питання визначення техніко-економічних показників при модернізації обладнання є актуальною задачею та відповідає сучасним тенденціям розвитку країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізу та підвищенню техніко-економічних показників (ТЕП) теплових і атомних електростанцій присвячено велику кількість наукових та науково-практичних робіт. Підвищення техніко-економічних показників є однією з основних задач Нової Стратегії розвитку України на період до 2035 року [1].

Важливішим питанням, якому приділяється увага, є аналіз та підвищення техніко-економічних показників електростанцій в сталих режимах [2, 3, 4, 5]. Проводиться корекція ТЕП [6] та експериментальні дослідження з метою покращення ТЕП [7]. Підвищується якість автоматизованих систем керування теплових електростанцій шляхом уточнення критеріїв оптимальності техніко-економічних показників [8] та запроваджуються заходи, щодо практичної реалізації задач розрахунку та аналізу ТЕП [9]. Останнім часом, внаслідок бойових дій, актуальність

набуває питання впровадження та експлуатації розподілених енергосистем, у зв'язку з чим, проводиться оптимізація техніко-економічних показників локальних систем електроживлення, в тому числі з транзактивним керуванням [10].

Порушення штатних режимів роботи електростанцій призводить до необхідності переведення їх в маневровий режим. Аналізу, оптимізації та підвищенню ТЕП електростанцій та окремих енергоблоків в маневрових режимах приділяється велика увага [11, 12, 13].

Беручи до уваги проекти з реконструкції та модернізації електростанцій, які будуть впроваджені, в тому числі, Європейським Союзом в Україні після закінчення бойових дій, встає питання економічної ефективності модернізації. Тому аналіз техніко-економічних показників електростанцій при їх модернізації набуває актуальності.

Постановка мети та завдання дослідження

Метою роботи є аналіз техніко-економічних показників електростанцій при модернізації та реконструкції, що дасть змогу визначити економічну ефективність

модернізації за різними варіантами модернізації (часткова, повна) та параметри інвестиційної привабливості.

Виклад основного матеріалу

В якості критеріїв економічної ефективності інвестицій прийняті: прибуток (Π) – ефект в абсолютних величинах, який отримує ТЕС в результаті модернізації. Він характеризується перевищенням доходів ТЕС над витратами з вироблення та відпуску теплової та електричної енергії.

Для оцінки прибутку щорічно або для характерних років розрахункового періоду (перших років експлуатації, найбільш прибуткового року, кінця періоду), а також для інвестиційних проєктів з нетривалими термінами будівництва (1-2 роки) та практично постійними щорічними доходами та витратами, зручним критерієм ефективності капітальних вкладень є чистий річний прибуток:

$$\Pi = D - Z, \quad (1)$$

де D – вартість реалізованої продукції та інші доходи протягом року; Z – річні витрати на вироблення електроенергії, які складаються з наступних елементів:

$$Z = B + EK, \quad (2)$$

де B – щорічні експлуатаційні витрати (включаючи амортизаційні відрахування на реновацію); E – норма прибутку (банківська відсоткова ставка); K – капітальні вкладення у проєкт.

Рентабельність (R), яка у свою чергу поділяється на декілька видів: рентабельність інвестицій, дисконтна рентабельність інвестицій, загальна рентабельність за прибутком, внутрішня норма рентабельності, відображає частку витрат, що повертається щорічно у вигляді прибутку ТЕС або АЕС:

$$R = \frac{\Pi}{K}. \quad (3)$$

Період повернення капіталу (T) (термін окупності інвестицій, який вкладено в модернізацію):

$$T = \frac{1}{R} = \frac{\Pi}{K}. \quad (4)$$

Якщо період повернення капіталу менший за термін служби, то інвестиції можна вважати ефективними.

Наведені витрати (3), які є сумою річних витрат (собівартості) і нормативного прибутку, тобто характеризують витратну складову ефективності модернізації.

Розмір, що характеризує нижню одиницю вартості реалізованої продукції, коли він здійснює інвестиції рівноцінно альтернативному розміщенню капіталу з нормативом ефективності E :

$$Z = EK + \sum I, \quad (5)$$

де K – капітальні вкладення; I – щорічні витрати на вироблення електричної та теплової енергії на ТЕС, що включають амортизаційні відрахування на реновацію.

Наведені витрати є сумою річних витрат (собівартості та нормативного прибутку). Щорічні витрати можна визначити за такою формулою:

$$\sum I = I_{\text{ка}} + I_{\text{т}} + I_{\text{екол}} + I_{\text{екс}} + I_{\text{зам}} + I_{\text{рен}} + I_{\text{рек}} + I_{\text{т}}. \quad (6)$$

Структура витрат на виробництво енергії на ТЕС, як загальної технологічної схеми, так і підсистеми та окремих елементів однакова і складається з найбільш характерних статей.

Укрупнена сума витрат має вигляд:

$$\sum I_i = I_{\text{кі}} + I_{\text{ті}} + I_{\text{ексі}}. \quad (7)$$

Однак, враховуючи значення до вимог екології та надійності зростає, виникає необхідність у виділенні (відокремленні) витрат на ці статті:

$$\sum I_i = I_{\text{кі}} + I_{\text{ті}} + I_{\text{ексі}} + I_{\text{екол}} + I_{\text{ті}}, \quad (8)$$

де $I_{\text{ті}}$ – витрати пов'язані з надійністю, які можуть входити до складу будь-яких з вище перерахованих витрат.

Але комплексний підхід до оптимізації потребує виділення витрат $I_{\text{ті}}$ у самостійну статтю. Статтю витрат, пов'язаних з амортизаційними

відрахуваннями (I_{ki}), для окремих підсистем та елементів визначити важко, але при поетапній та поелементній оптимізації ця складова необхідна.

Витрати палива, є основними для ТЕС. Вони визначаються з урахуванням найімовірніших варіантів використання енергетичного устаткування енергоблоків.

Річні витрати на паливо залежать від витрати палива, його видів, якості та ціни:

$$I_{\tau} = \sum_1^i B_{ri} \cdot C_{\tau i}, \quad (9)$$

де B_{ri} – витрата i -го виду палива, за аналізований період, т; $C_{\tau i}$ – вартість i -го виду палива, за період, що розглядається, грн/т

Загальна витрата натурального палива енергоблока може бути визначена за формулою:

$$\sum_1^i B_{ri} = \sum B_{\tau} = \sum_1^i \frac{123 Q_{н.у.}^v}{\eta_{ci} \eta_{ci}} \cdot 10^{-6} E_{ri}, \quad (10)$$

де $Q_{н.у.}^p$ – теплота згоряння i -го палива, кДж/кг; $E_{ri} = \sum N_i \cdot \tau_i$ – кількість електроенергії виробленої на i -му паливі, кВт·год; τ_i – час роботи на i -му паливі, год.

Для визначення витрати палива на ТЕС, з урахуванням зміни навантажень, пуско-зупинних операцій, консервації обладнання, а також зміни якості палива можна скористатися виразом:

$$\begin{aligned} \Delta B_u &= \sum B_u - B = \left[\frac{123 Q_{н.у.}^p}{\eta_{счi} Q_{н}^p} \cdot N_{ri} \cdot \tau_{ri} - \frac{123 Q_{н.у.}^p}{\eta_c Q_{н}^p} \cdot N \tau \right] \cdot 10^{-6} = \\ &= 123 \frac{Q_{н.у.}^p}{Q_{н}^p} \tau \left(\sum \frac{N_{ri}}{\eta_{счi}} - \frac{N}{\eta_c} \right) = 123 N \frac{Q_{н.у.}^p}{Q_{н}^p} \tau \left(\sum \frac{N_{ri}}{N} \cdot \frac{1}{\eta_{счi}} - \frac{1}{\eta_c} \right) \cdot 10^{-6} \end{aligned} \quad (13)$$

За допомогою формули (13) можна визначити зміну витрати палива, як при переведенні енергоблока на постійний (тривалий) режим експлуатації, так і на тимчасовий, що викликається приватними відмовами в енергетичному обладнанні.

При короткочасних, але частих зниженнях навантаження необхідно враховувати збільшення витрати палива в результаті пуско-зупинних операцій ($\Delta B_{по}$), тобто для цього випадку:

$$\sum B_{\tau} = \sum B_{\tauн} + \Delta B_u + \Delta B_{по} + \Delta B_{кc} + \Delta B_Q, \quad (11)$$

де $\sum B_{\tauн}$ – витрата палива для забезпечення проектного навантаження, т; ΔB_u – втрати (перевитрата) палива, пов'язані зі зміною навантаження, т; $\Delta B_{по}$ – втрати палива при пуско-зупинних операціях, т; $\Delta B_{кc}$ – втрати палива внаслідок тривалого резерву (консервації), т; ΔB_Q – втрати палива внаслідок зміни якості, т.

При тривалій експлуатації енергоблоків у режимах часткових навантажень, обумовлених старінням та зношуванням обладнання, відбувається збільшення витрати палива внаслідок зниження економічності [8].

У цьому випадку витрати пального можна визначити так:

$$\sum B_u = \sum b_{ui} \cdot E_{ui} = \sum_1^i \frac{123 Q_{н.у.}^p}{\eta_{внi} Q_{н}^p} \cdot N_{ri} \cdot \tau_{ri} \cdot 10^{-6}, \quad (12)$$

де b_{ui} – питома витрата палива при частковому i -му навантаженні; $\eta_{внi}$ – ККД станції при i -му частковому навантаженні; τ_{ri} – час часткового i -го навантаження.

Зміна витрати палива порівняно з номінальним режимом (N) за період часу $\tau = \sum \tau_{ri}$, буде представляти різницю:

$$\Delta B_{чr} = \Delta B_{ч} + \Delta B_{по}. \quad (14)$$

Значення ККД ($\eta_{счi}$) можуть визначитися або за допомогою енергетичних характеристик енергоблоків або аналітично.

Втрати палива за час запуску енергоблоку визначаються шляхом підсумовування втрат на електростанції:

$$\Delta B_{\text{по}} = \frac{\sum_1^6 \Delta B_i^{\text{по}}}{\Delta B_i^{\text{п}}}. \quad (15)$$

При цьому $\Delta B_i^{\text{п}}$ складається із сумарних витрат власне палива ($\Delta B_i^{\text{т}}$), палива та отримання теплової енергії від стороннього джерела (на забезпечення пуску) ($\Delta B_i^{\text{п}}$) та палива на електроенергію від побудованого джерела ($\Delta B_i^{\text{е}}$) тобто:

$$\Delta B_i^{\text{по}} = \Delta B_i^{\text{т}} + \Delta B_i^{\text{п}} + \Delta B_i^{\text{е}}. \quad (16)$$

Приймаючи єдиний еквівалент – умовне паливо, маємо:

$$\Delta B_i^{\text{т}} = \frac{B_i^{\text{т}} \cdot Q_{\text{нп}}^{\text{п}} \cdot 10^{-3}}{29,27}, \text{ т.} \quad (17)$$

Перевитрата палива, витраченого на отримання пари від стороннього джерела (з відбору турбіни):

$$\Delta B_i^{\text{п}} = \frac{D_i^{\text{п}} (h_{\text{п}} - h'_{\text{к}}) \xi_{\text{п}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{к}}^{\text{п}} \cdot 29,27}, \text{ т,} \quad (18)$$

де $D_i^{\text{п}}$ – споживання пари на i -му етапі, т; $h_{\text{п}}$, $h'_{\text{к}}$ – ентальпії пари та конденсату, кДж/кг; $\xi_{\text{п}} = y_{\text{п}} \frac{h_0 - h'_{\text{жв}}}{h_{\text{т}} - h'_{\text{от}}}$ – коефіцієнт теплоти пари відбору; $y_{\text{п}} \frac{h_0 - h'_{\text{жв}}}{h_{\text{т}} - h'_{\text{от}}}$ – коефіцієнт недовироблення пари відбором; h_0 , $h_{\text{т}}$, $h_{\text{к}}$, $h_{\text{п}}$, $h'_{\text{от}}$, $h'_{\text{жв}}$ – відповідно, ентальпії гострої пари турбіни, теплофікаційного відбору, пари на вихлопі з турбіни, конденсату пари відбору, живильної води при використанні пари від котельної установки $\xi_{\text{п}} = 1$, тобто:

$$\Delta B_i^{\text{п}} = \frac{D_i^{\text{п}} (h_{\text{п}} - h'_{\text{к}}) \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{к}}^{\text{п}} \cdot 29,27}, \quad (19)$$

Перевитрата палива на отримання електроенергії від стороннього джерела на здійснення пуску:

$$\Delta B_i^{\text{е}} = E_i^{\text{вп}} \frac{123}{\eta_{\text{е.вп}}} \cdot 10^{-6}, \text{ Т} \quad (20)$$

де $E_i^{\text{вп}}$ – витрати електроенергії на i -й період пуску, кВт·год; $\eta_{\text{е.вп}}$ – електричний ККД енергоблоку, що забезпечує пуск.

Повсюдне зниження вугільного промислового виробництва, залишаючись

визначальною тенденцією на сучасному етапі та в найближчій перспективі, призвело до суттєвого скорочення енергопостачання у виробничих галузях. Як наслідок, спостерігається збільшення тривалості простою основного обладнання ТЕЦ, ТЕС та АЕС [6].

Основне енергетичне обладнання, що виводиться з дії, значною мірою піддається так званій стоянковій корозії. Корозійні пошкодження за свідченням вітчизняних та закордонних експлуатаційників різко знижують надійність та довговічність обладнання та можуть призводити зокрема до важких аварій турбоагрегатів. У зв'язку з цим, «Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж» рекомендується при виведенні турбіни в резерв на 7 діб і більше вжити заходів для її консервації.

Основні заходи та вимоги до методів та засобів консервації енергетичного обладнання:

- вони повинні надійно та ефективно забезпечувати зберігання виробів протягом заданих термінів консервації;

- бути високотехнологічними, тобто. не викликати ускладнення процесів консервації, розконсервації та догляду за виробами в період їхнього вимушеного простою;

- не чинити негативного впливу на інші матеріали в період консервації;

- відповідати прийнятим нормам безпеки (вибухо- та пожежобезпечність, нетоксичність, екологічність) та ергономічності;

- бути економічно вигідними та недефіцитними.

Аналіз всього спектра запропонованих нині методів і засобів консервації енергетичного устаткування показує, що пошук оптимальних шляхів вирішення зазначеної проблеми завершено і має здійснюватися з урахуванням конкретного типу устаткування.

Існуючі способи консервації можна умовно розділити на «мокрі» та «сухі». До перших відноситься заповнення об'єму, що консервується, спеціальними водними розчинами інгібіторів атмосферної корозії.

Залежно від способу консервації енергетичного обладнання, змінюється величина втрат палива.

При «гарячій» консервації парою, додаткова витрата умовного палива може бути визначена залежно від джерела отримання пари (з відборів турбіни або котельної установки) за допомогою формул (10) та (11).

Витрата електричної енергії обладнанням, яке перебуває на консервації, призводить також до збільшення витрати палива на ТЕС (енергоблоках що діють). Додаткова витрата палива при цьому може бути визначена за формулою (20).

Таким чином, сумарна додаткова витрата умовного палива на час «гарячої» консервації становитиме:

$$\Delta B_{\text{конс}} = \Delta B_{\text{конс}}^{\text{п}} + \Delta B_{\text{конс}}^{\text{е}}, \quad (21)$$

де $\Delta B_{\text{конс}}^{\text{п}}$ – додаткова витрата палива на отримання пари, т; $\Delta B_{\text{конс}}^{\text{е}}$ – додаткова витрата палива на електроенергію.

Опалювальні пристрої котельних установок мають оптимальні показники тільки при спалюванні палива, передбаченого проектом.

Відмінність видів палива призводить до суттєвого впливу на втрати від: механічного недопалу (q_4); зовнішнього охолодження (q_5); теплових втрат із шлаком (q_6). Поруч із цим, якість палива істотно впливає на витрату енергії на власні потреби котельних установок і ТЕС загалом, тобто при постійному навантаженні (котельні установки ($Q_{\text{ку}}$)), зміна якості палива (зольність A , вологість W , теплоти згоряння $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$) призводить до збільшення витрати палива на величину $\Delta B_{Q_{\text{н}}^{\text{п}}}$ [11].

Сумарний перевитрата палива залежить від збільшення втрат (зниження ККД бруто $\Delta \eta_{\text{ку}}^{\text{бр}}$) та збільшення витрати електричної енергії ($\Delta \alpha_{\text{вп}}$). Витрата палива при новому режимі становитиме:

$$B_{\text{ку}_i}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{ку}_i}}{Q_{\text{н}_i}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}_i}^{\text{бр}}}, \quad (22)$$

тобто зниження $Q_{\text{н}_i}^{\text{п}} < Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ та ККД $\eta_{\text{ку}_i}^{\text{бр}} < \eta_{\text{ку}}^{\text{бр}}$ при $Q_{\text{ку}_i} = Q_{\text{ку}} = \text{const}$ відбудеться збільшення витрати палива на:

$$\Delta B_{\text{ку}_i}^{\text{бр}} = B_{\text{ку}_i}^{\text{бр}} - B_{\text{ку}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{ку}_i}}{Q_{\text{н}_i}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}_i}^{\text{бр}}} - \frac{Q_{\text{ку}}}{Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}}^{\text{бр}}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}}^{\text{бр}} - Q_{\text{н}_i}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}_i}^{\text{бр}}}{Q_{\text{н}_i}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}_i}^{\text{бр}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ку}}^{\text{бр}}},$$

або відповідно, в умовному паливі:

$$\Delta B_{\text{ку}_i(y)}^{\text{бр}} = \Delta B_{\text{ку}_i}^{\text{бр}} \frac{Q_{\text{н}_i}^{\text{п}}}{Q_{\text{н}_y}^{\text{п}}}, \quad (23)$$

Збільшення витрати палива $\Delta B_{\text{ку}_i}^{\text{п}}$, пов'язане зі збільшенням витрати пари на підсушування палива, розпилення мазуту і т.д.

Збільшення витрати палива $\Delta B_{\text{ку}_i}^{\text{е}}$, внаслідок збільшення $\alpha_{\text{вп}}$ можна визначити за формулою:

$$\Delta B_{\text{ку}_i}^{\text{е}} = \Delta E_{\text{ку}_i}^{\text{вп}} \frac{123}{\eta_{\text{е}}} \cdot 10^{-6}, \text{ т.у.п.}, \quad (24)$$

де

$$\Delta E_{\text{ку}_i}^{\text{вп}} = E_{\text{ку}_i}^{\text{вп}} - E_{\text{ку}}^{\text{вп}} = E_{\text{ку}}^{\text{вп}} \left(\frac{E_{\text{ку}_i}^{\text{вп}}}{E_{\text{ку}}^{\text{вп}}} - 1 \right) = E_{\text{ку}}^{\text{вп}} \left(\frac{\alpha_{\text{ку}_i}^{\text{вп}}}{\alpha_{\text{ку}}^{\text{вп}}} - 1 \right)$$

Крім цього, погіршення якості палива призводить до необхідності збільшення підсвічування газом або мазутом. При цьому збільшення підсвічування призводить до збільшення витрати палива. Таким чином, погіршення якості палива призводить до збільшення втрат в еквіваленті палива:

$$\Delta B_{Q_{\text{н}}^{\text{п}}} = \Delta B_{\text{ку}_i(y)}^{\text{бр}} + \Delta B_{\text{ку}_i}^{\text{е}}. \quad (25)$$

Таким чином, загальна витрата умовного палива (11) може бути визначена за допомогою формул (18), (19), (20), (21), (25).

З урахуванням конкретних умов експлуатації ТЕС, окремі складові можуть дорівнювати нулю.

Наприклад: $\Delta B_{Q_{\text{н}}^{\text{п}}} = 0$, якщо $Q_{\text{н}_i}^{\text{п}} = Q_{\text{н}}^{\text{п}} = \text{const}$; $\Delta B_{\text{конс}} = 0$ якщо блок не зупиняється на період більше семи діб; $\Delta B_{\text{по}} = 0$, якщо блок несе базове навантаження.

При тривалій експлуатації ($N_{\text{еr}} < N_{\text{е}}$) при часткових та повних відмовах на ТЕС і АЕС відбувається перевитрата палива через погіршення їх ККД.

Перевитрата палива ΔB може бути викликана двома причинами:

- вимушеними зменшеннями енергетичного навантаження енергоблока або електростанції через часткові та повні відмови її елементів, підсистем;

- при поступовому зниженні параметрів та погіршенні енергетичних характеристик та характеристик міцності внаслідок фізичного та морального зношування обладнання (це призводить до зниження потужності енергоблоку порівняно з нормально розрахунковою та підвищення питомих витрат палива).

Через війну перевитрати палива відбувається збільшення річних витрат за паливо:

$$\Delta I_{\tau} = \sum_{\tau=1}^{R_m} Z_{\tau,\tau} \cdot \Delta B_{\tau}, \quad (26)$$

де $Z_{\tau,\tau}$ – наведені витрати на паливо у аналізований період τ ; ΔB_{τ} – перевитрата палива в період τ .

Перевитрата палива залежить від питомих витрат палива:

$$\Delta B_{\tau} = b_{\tau} E_{\tau} = b_{\tau} \cdot N_{\text{ет}} \cdot \tau, \quad (27)$$

де b_{τ} – питома витрата палива енергоблоком, $\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

Як відомо, питомі витрати натурального палива пов'язані залежністю:

$$b_{\tau} = b_{\text{ту}} \cdot \frac{Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \quad (28)$$

де $b_{\text{ту}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{ст}}}$ – питома витрата умовного палива, $\frac{\text{кг.у.п}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$; $Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}$ і $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ –

нижча теплота згоряння палива, умовного та натурального відповідно, кДж/кг.

ККД енергоблоку з вироблення електричної енергії:

$$\eta_{\text{ст}} = \eta_{\text{ку}\tau} \cdot \eta_{\text{ту}\tau} \cdot \eta_{\text{тр.}\tau} \cdot \eta_{\text{г}\tau} (1 - \alpha_{\text{вп}\tau}), \quad (29)$$

де $\eta_{\text{ку}\tau}, \eta_{\text{ту}\tau}, \eta_{\text{тр.}\tau}, \eta_{\text{г}\tau}, \alpha_{\text{вп}\tau}$ – відповідно ККД котельної та турбінної установок, транспорту, електричного генератора та частка витрати електричної енергії на власні потреби енергоблоку в період τ .

Таким чином, як видно з (26)-(29) витрати, пов'язані з перевитратою палива при експлуатації енергоблоків в сталих режимах роботи при часткових відмовах, залежать від середнього значення ККД за період τ .

Слід звернути увагу на вплив витрат на потреби енергоблоків на перевитрату палива. Як відомо, витрати електроенергії на власні потреби значною мірою залежить від режиму роботи енергоблоку, від його навантаження.

Часті пуски та зупинки енергоблоків, зниження та збільшення навантаження можуть бути викликані: частковою та повною відмовою елементів та підсистем; графіки споживання енергії.

Часті режими роботи зупинки призводять до значних перевитрат палива в залежності від їх частоти і тривалості. Тобто можна записати:

$$\sum B_{\text{п}\tau} = \sum_{i=1}^z \sum_{\tau=1}^{\tau=\tau_n} b_{\tau i} \cdot N_{\text{ети}} \cdot \tau_i, \quad (30)$$

перевитрата палива залежить від роботи енергоблока (у період пуску та зупинки) τ_i у режимах $b_{\tau i} > b$ і $N_{\text{ети}} < N_e$ та кількості пусків та зупинок Z .

Висновки

Встановлені причини перевитрати палива при модернізації та реконструкції, основними з яких є:

- вимушене зменшення енергетичного навантаження енергоблока або електростанції через часткові та повні відмови її елементів, підсистем;

- зниження параметрів та погіршення енергетичних характеристик та характеристик міцності внаслідок фізичного та морального зношування обладнання (це призводить до зниження потужності

енергоблоку порівняно з нормально розрахунковою та підвищення питомих витрат палива);

- погіршення якості палива.

Витрати, пов'язані з перевитратою палива при експлуатації енергоблоків в сталих режимах роботи при часткових відмовах, залежать від середнього значення ККД.

Витрати електроенергії на власні потреби значною мірою залежать від режиму роботи енергоблоку, від його

навантаження. Часті пуски та зупинки енергоблоків, зниження та збільшення навантаження призводять до значних перевитрат палива в залежності від їх частоти й тривалості. Тобто перевитрата палива залежить від роботи енергоблока (у період пуску та зупинки) та кількості пусків та зупинок.

Погіршення якості палива призводить до необхідності збільшення підсвічування газом або мазутом. При цьому збільшення

підсвічування призводить до збільшення витрати палива. Таким чином, погіршення якості палива призводить до збільшення витрат в еквіваленті палива.

Встановлені співвідношення, які дозволяють визначати основні показники якості електростанцій при їх модернізації та реконструкції, що може скласти основу для аналізу ефективності модернізації електростанцій.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність : нова енергетична стратегія України до 2035 року. – Режим доступу : <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2015-04/Energy%20Strategy.pdf> (дата звернення 8. 10. 2024)
2. ГКД 34.09.103-96 Розрахунок звітних техніко-економічних показників електростанції про теплову економічність обладнання. Методичні вказівки. – Режим доступу : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61080 (дата звернення 8. 10. 2024)
3. 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.
4. Залознова Ю. С. Економічні та соціальні проблеми розвитку промисловості : монографія / Ю. С. Залознова ; НАН України, Ін-т економіки промисловості. – Київ, 2017. – 288 с.
5. Automatic Control System for Thermal Power Plants Based on Artificial Intelligence / Qi Wang // Conference: 2023. International Conference on Electronics and Devices, Computational Science (ICEDCS). – 2023. DOI:10.1109/ICEDCS60513.2023.00027
6. Любчик Л. М. Коррекция автоматизированного расчета технико-экономических показателей энергоблока / Л. М. Любчик, Г. Л. Гринберг // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Системний аналіз, управління та інформаційні технології : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – Вип. 19. – С. 45-52.
7. Alpeev A. S. Automated Control and Safety of Nuclear Power Plants / A. S. Alpeev // Atomic Energy. – 2001. – № 90(2). – С. 109-112. DOI:10.1023/A:1011344806693
8. Підвищення якості АСУ теплових електростанцій шляхом уточнення критерія оптимальності техніко-економічних показників / Г. С. Грінченко, Т. Ю. Василець, О. В. Купріянов, О. М. Близниченко, Т. М. Фурсова // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2023. – Вип. 31. – С. 71-79. DOI 10.32820/2079-1747-2023-31-71-79
9. Пантелеева І. В. Реалізація задач розрахунків та аналізу техніко-економічних показників теплових електричних станцій / І. В. Пантелеева // *Енергетика та Електротехніка*. Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 4. – С. 1-6.
10. Белоха Г. С. Оптимізація техніко-економічних показників локальних систем електроживлення з транзактивним керуванням : монографія / Г. С. Белоха. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 127 с.
11. Шульженко С. В. Техніко-економічні показники виробництва електроенергії АЕС в маневреному режимі / С. В. Шульженко // *Проблеми загальної енергетики*. – 2016. – Вип. 1. – С. 34-40.
12. Коберник В. С. Техніко-економічні показники технологій теплової енергетики, що експлуатуються в маневрених режимах / В. С. Коберник // *The Problems of General Energy*. – 2021. – issue 3(66). – Рр. 36-42. DOI.org/10.15407/pge2021.03.036
13. Коберник В. С. Витрати палива технологій теплової енергетики в маневрених режимах / В. С. Коберник // *Проблеми загальної енергетики*. – 2020. – Вип. 4(63). – С. 45-49. doi.org/10.15407/pge2020.04.045

¹**KANJUK G., D.Sc.,**

Head of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: genadiykanuk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1399-9039>

¹**MEZERYA A., Ph.D.,**

Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: mezz@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2946-9593>

¹**VITER V.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: vitervladislav215@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3882-4675>

¹**MALIUTA V.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: Sony199325@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0789-442X>

¹**NASYROV S.,**

Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: nasirov1980@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9599-8306>

¹*V.N. Karazin Kharkiv National University*
Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF POWER PLANTS DURING MODERNIZATION

The work establishes ratios that allow for determining the main quality indicators of power plants during their modernization and reconstruction, which include, first of all, technical and economic indicators, which can form the basis for the analysis of modernization quality indicators. The main causes of fuel overspending during modernization and reconstruction have been determined: forced reduction of energy load due to partial and complete failures of its elements and deterioration of energy characteristics and strength characteristics due to equipment's physical and moral wear and tear. Dependencies determining the profitability of modernization and reconstruction of power plant equipment are established. The listed costs are the sum of annual costs and regulatory profit, that is, they characterize the cost component of modernization efficiency. Additional fuel consumption that occurs during equipment preservation is determined. It was determined that the deterioration of fuel quality leads to the need to increase lighting with gas or fuel oil. At the same time, an increase in illumination leads to an increase in fuel consumption, which is associated with fuel drying and spraying fuel oil. It is shown that the fuel consumption, which is associated with fuel overconsumption during the operation of power units in stable modes of operation with partial failures, depends on the average value of the efficiency. It is stated that the consumption of electricity for one's own needs largely depends on the mode of operation of the power unit and its load. Frequent starts and stops of power units, load reduction, and increase lead to significant fuel overspending, depending on their frequency and duration. That is, excess fuel consumption depends on the operation of the power unit (during start-up and stoppage) and the number of starts and stops.

KEYWORDS: *quality indicators, efficiency, power plant, technical and economic indicators, modernization, energy saving.*

In cites: Kanjuk G., Mezerya A., Viter V., Maliuta V., Nasyrov S., (2024). Analysis of quality indicators of power plants during modernization. *Engineering*, (34), 72-81. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-07> (in Ukraine)

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.

References:

1. *Bezpeka, energoefektivnist, konkurentospromozhnist : Nova energetichna strategiya Ukrayini do 2035 roku*, 2015, [Security, energy efficiency, competitiveness: New energy strategy of Ukraine until 2035.], viewed October 8, 2024 <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2015-04/Energy%20Strategy.pdf>
2. *GKD 34.09.103-96 Rozrahunok zvitnih tehniko-ekonomichnih pokaznikov elektrostanciyi pro teplovu ekonomichnist obladnannya. Metodichni vkazivki* [Calculation of the power plant's reporting technical and economic indicators on the thermal efficiency of equipment. Methodological guidelines], 1996

3. Dubovskij, SV & Kobernik, VS 2013, 'Tehniko-ekonomichni ocinki perspektivnih prirodohoronnih tehnologij teplovoyi energetiki Ukraini' [Feasibility studies of promising environmental protection technologies in the thermal power industry of Ukraine.], *Problemi zagalnoyi energetiki*, No 2(33), Pp. 49-56.
4. Zaloznova, YuS 2017, *Ekonomichni ta socialni problemi rozvitku promislivosti* [Economic and social problems of industrial development], Kiyiv.
5. Wang, Qi 2023, 'Automatic Control System for Thermal Power Plants Based on Artificial Intelligence', *Conference: 2023 International Conference on Electronics and Devices, Computational Science (ICEDCS)*, DOI:10.1109/ICEDCS60513.2023.00027
6. Lyubchik, LM & Grinberg, GL 2006, 'Korrekcija avtomatizirovannogo rascheta tehniko-ekonomicheskikh pokazatelej energobloka' [Correction of the automated calculation of technical and economic indicators of the power unit.], *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «Harkivskij politehnicnij institut». Tematicnij vipusk: Sistemnij analiz, upravlinnya ta informacijni tehnologiyi*, iss. 19, Pp. 45-52.
7. Alpeev, AS 2001, 'Automated Control and Safety of Nuclear Power Plants', *Atomic Energy*, no 90(2), Pp. 109-112. DOI:10.1023/A:1011344806693
8. Grinchenko, GS, Vasilec, TYu, Kupriyanov, OV, Bliznichenko, OM & Fursova, TM 2023, [Improving the quality of ASC of thermal power plants by specifying the optimality criteria for technical and economic indicators.], *Engineering*, No 31, Pp.71-79. DOI: <https://10.32820/2079-1747-2023-31-71-79>
9. Pantyelyeyeva, IV 2017, 'Realizaciya zadach rozrahunkiv ta analizu tehniko-ekonomichnih pokaznikov teplovih elektricnih stancij' [Implementation of tasks: calculation and analysis of technical and economic indicators of thermal power plants.], *Energetika ta Elektrotehnika. Naukovi praci VNTU*, no 4, Pp. 1-6.
10. Byeloha, GS 2023, *Optimizaciya tehniko-ekonomichnih pokaznikov lokalnih sistem elektrozhlennya z tranzaktivnim keruvannyam* [Optimization of technical and economic indicators of local power supply systems with transactional control.], KPI im. Igorya Sikorskogo, Kiyiv.
11. Shulzhenko, SV 2016, 'Tehniko-ekonomichni pokazniki virobnictva elektroenergiyi AES v manevrenomu rezhimi' [Technical and economic indicators of electricity production at nuclear power plants in maneuvering mode.], *Problemi zagalnoyi energetiki*, iss 1, Pp. 34-40.
12. Kobernik, VS 2021, [Technical and economic indicators of thermal power technologies operated in maneuvering modes.], *The Problems of General Energy*, issue 3(66), Pp. 36-42. DOI: <https://10.15407/pge2021.03.036>
13. Kobernik, VS 2020, [Fuel consumption of thermal power technologies under maneuvering modes], *Problemi zagalnoyi energetiki*, iss 4(63), Pp. 45-49. doi.org/10.15407/pge2020.04.045

The article was received by the editors 10/10/2024

The article is recommended for printing 11/25/2024