

<https://doi.org/10.26565/2079-1747-2026-37-07>

УДК 621.311.22:621.1:658.562

<sup>1</sup>**А. Ю. МЕЗЕРЯ**, кандидат технічних наук

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

<sup>1</sup>**Т. М. ФУРЦОВА**, кандидат технічних наук

доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій  
e-mail: [tatiana2507@ukr.net](mailto:tatiana2507@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1900-7432>

<sup>1</sup>**О. М. БЛИЗНИЧЕНКО**, кандидат технічних наук

доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій  
e-mail: [art-studio\\_diana\\_@ukr.net](mailto:art-studio_diana_@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1654-1598>

<sup>1</sup>**В. Є. МАЛЮТА**,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій  
e-mail: [sony199325@gmail.com](mailto:sony199325@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0789-442X>

<sup>1</sup>**О. Т. ТОЛСТОРЕБРОВ**,

аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій  
e-mail: [oleksandrtolstorebrov@gmail.com](mailto:oleksandrtolstorebrov@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3203-8909>

<sup>1</sup>*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.*

## **АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

У статті розглянуто вплив показників якості основного енергетичного обладнання електростанцій на ефективність виробництва електричної та теплової енергії. Показано, що в сучасних умовах дефіциту маневрових потужностей, старіння енергоблоків, зростання вимог до паливної економічності, екологічної безпеки та гнучкості режимів роботи питання оцінювання якості енергетичного обладнання виходить за межі традиційного аналізу лише номінального ККД. Для турбін, котлів, конденсаторів, генераторів, систем регулювання та охолодження визначальними стають не тільки енергетичні, а й надійнісні, режимні, ресурсні та експлуатаційні характеристики. Обґрунтовано, що ефективність роботи енергетичного обладнання формується під впливом сукупності взаємопов'язаних показників, до яких належать коефіцієнт корисної дії, питома витрата палива, надійність, готовність, коефіцієнт використання встановленої потужності, рівень втрат у допоміжних системах, термодинамічна досконалість та стабільність параметрів у часі.

Проаналізовано сучасні дослідження, які присвячено деградації парових турбін, оптимізації горіння в котлах, впливу надлишку повітря на ефективність, ексергетичному розподілу втрат між основними вузлами теплових електростанцій, підвищенню ефективності турбоустановок у змінних режимах, вдосконаленню систем охолодження турбогенераторів, а також питанням надійності та безпечної експлуатації обладнання. Встановлено, що окремі показники якості мають кількісно відчутний вплив на результативність роботи. Зокрема, довготривала деградація парових турбін може зумовлювати втрату потужності на рівні (2-7,5)%; збільшення надлишку повітря в котлі від 10% до 70% спричиняє зниження енергетичної та ексергетичної ефективності приблизно на 5%; інтеграція термоакумуляційних систем і вдосконалення режимів роботи можуть збільшувати маневровість у 3-4 рази та підвищувати прибутковість електростанції. Для окремих турбоагрегатів раціоналізація температури проміжного перегріву забезпечувала приріст ККД на (0,3-1,5)% і зниження питомої витрати умовного палива на (3-4) г у.п./кВт·год.

Запропоновано систему окремих показників якості енергетичного обладнання та комплексний показник якості, придатний для багатокритеріального оцінювання. Показано, що найбільший вплив на інтегральну ефективність електростанцій справляють показники якості турбінного, котельного та конденсаційного обладнання, а також надійність генераторів і допоміжних систем. Результати можуть бути використані під час технічної діагностики, модернізації, оптимізації режимів роботи та обґрунтування пріоритетів ремонту й реконструкції енергетичного обладнання електростанцій.



**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** енергетичне обладнання, електростанція, показники якості, ефективність роботи, ККД, питома витрата палива, надійність, готовність, турбіна, котел, генератор, комплексний показник якості.

**Як цитувати:** Мезеря А. Ю., Фурсова Т. М., Близниченко О. М., Малюта В. С., Толсторебров О. Т. Аналіз впливу показників якості на ефективність роботи енергетичного обладнання електростанцій. *Машинобудування*. 2026. Вип. 37. С. 87-96. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2026-37-07>

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

Ефективність роботи електростанцій значною мірою визначається технічним станом і якістю основного енергетичного обладнання: котлів, турбін, турбогенераторів, конденсаторів, систем регулювання, підігрівачів, насосного та допоміжного обладнання. За умов старіння енергоблоків, частих змін навантаження, потреби в маневруванні та жорсткіших вимог до економічності навіть відносно невеликі відхилення окремих показників якості призводять до відчутного погіршення загальної ефективності станції. Для практики енергетики це означає зростання питомої витрати палива, втрат потужності,

кількості відмов, тривалості простоїв і вартості виробленої енергії.

Наукова проблема полягає у формалізації взаємозв'язку між показниками якості енергетичного обладнання та інтегральною ефективністю роботи електростанцій. Практична значущість цієї проблеми пов'язана з необхідністю обґрунтування пріоритетів модернізації, ремонту, режимної оптимізації та діагностування. Особливо актуальним є перехід від аналізу одиничних характеристик до багато критеріальної оцінки, яка враховує енергетичні, надійнісні, ресурсні та економічні аспекти функціонування обладнання.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У наукових публікаціях домінує підхід, за якого ефективність електростанції аналізується через якість роботи ключових елементів енергетичного тракту. Для паротурбінного обладнання доведено, що навіть за збереження загальної працездатності тривала експлуатація спричиняє помітне падіння потужності та ефективності. Зокрема, для турбін різної потужності втрати потужності внаслідок деградації становили (2-7,5)% [1]. Окремі українські дослідження показують, що вибір раціональних режимних параметрів, зокрема температури проміжного перегріву, може дати приріст ККД турбоустановки на (0,3–1,5)% і забезпечити економію палива на рівні (1-2)% [12, 13].

Для котельного обладнання велике значення мають повнота згоряння палива, коефіцієнт надлишку повітря, якість регулювання паливних пристроїв та стан поверхонь нагріву. У роботі [2] показано, що збільшення надлишку повітря з 10% до 70% знижує енергетичну й ексергетичну ефективність відповідно на 5,1% та 5,2%. У дослідженні [3] доведено, що вдосконалене

керування якістю горіння дозволяє одночасно покращувати паливну економічність та екологічні показники котла. Це узгоджується з результатами ексергетичного аналізу, згідно з якими саме котел робить найбільший внесок у втрати: до 59% енергетичних і близько 70% ексергетичних руйнувань у розглянутій тепловій електростанції [4].

Дослідження конденсаційного та регенеративного обладнання вказують, що його якість прямо впливає на втрати теплоти в циклі, вакуум у конденсаторі та кінцеву потужність турбіни. За даними [4], конденсатор відповідав за 5,33% енергетичних і близько 2% ексергетичних втрат, а зниження втрат у конденсаторі на українських енергоблоках супроводжувалося приростом ефективності турбоустановки [12]. Для когенераційних схем важливими стають показники гнучкості та оптимізації теплових відборів: у [5] енергетична ефективність модернізованої установки досягала 90,7%, ексергетична – 38,0%, а прибуток зростав на 8,1%.

Для електромеханічного обладнання акцент зміщується на втрати в генераторах, якість охолодження та точність моніторингу. У [6] показано, що додаткові внутрішні втрати в гідрогенераторах можуть становити близько 2% номінальних втрат, а втрати в сталі через технологічні чинники – до 4%; при цьому похибка вимірвальних систем може досягати 5%. У роботі [14] підкреслено, що надійність високопотужного турбогенератора істотно залежить від ефективності його системи охолодження. Окрему групу становлять дослідження, присвячені маневровості та

резервуванню: інтеграція теплового накопичення збільшувала діапазон навантаження з (30-100)% до (23,4-100)% та підвищувала максимальну швидкість зміни навантаження з 1,82% до 5,94%  $P_n$  / хв, а в іншому режимі – до 7,75%  $P_n$  / хв [8]; для парових турбін доцільним визнано резерв на рівні 10% номінальної потужності [11]. Отже, сучасні дослідження підтверджують, що ефективність електростанції визначається узгодженою дією показників якості всіх ключових елементів енергетичного обладнання.

### Постановка мети та завдання дослідження

Мета статті полягає в аналізі впливу показників якості енергетичного обладнання електростанцій на ефективність їх роботи, формалізації окремих і комплексного показників якості та визначенні кількісних діапазонів впливу основних характеристик обладнання на техніко-економічні результати роботи станції.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- розробити структуру основних показників якості енергетичного обладнання електростанцій;

- визначити значення окремих показників якості та комплексного показника якості;

- встановити основні канали впливу показників якості на ефективність роботи електростанції;

- узагальнити чисельні значення впливу окремих показників за сучасними публікаціями;

- побудувати структуру впливу показників якості енергетичного обладнання на ефективність роботи обладнання.

### Виклад основного матеріалу

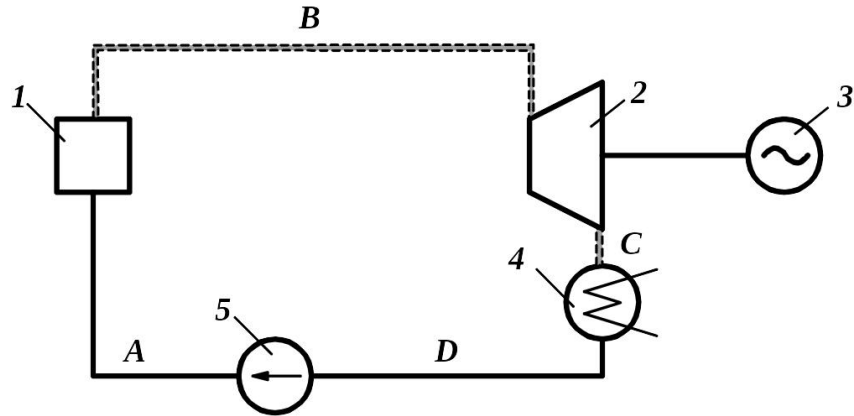
#### 1. Показники якості енергетичного обладнання

Для енергетичного обладнання електростанцій, спрощена технологічна схема якої показана на рис. 1, доцільно виокремити такі основні показники якості:

- енергетична ефективність (ККД),  $\eta$ ;
- питома витрата палива,  $b$ ;
- коефіцієнт готовності,  $K_r$ ;

- імовірність безвідмовної роботи,  $P(t)$ ;
- коефіцієнт використання встановленої потужності,  $K_{вст}$ ;

- коефіцієнт технічного стану,  $K_{тех}$ ;
- відносні втрати потужності,  $\Delta N/N_n$ ;
- ексергетична ефективність,  $\eta_{ex}$ ;
- коефіцієнт маневровості,  $K_{ман}$ .



**Рис. 1** – Технологічна схема теплової електростанції, яка працює за циклом Ренкіна: 1 – парогенератор (котел); 2 – турбіна; 3 – електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – насос; B, C – пара; A, D – конденсат

**Fig. 1** – Technological scheme of a thermal power plant operating on the Rankine cycle: 1 – steam generator (boiler); 2 – turbine; 3 – electric generator; 4 – condenser; 5 – pump; B, C – steam; A, D – condensate

Електростанційна ефективність залежить як від окремих значень цих показників для вузлів, так і від їх сукупної узгодженості.

Загальний коефіцієнт корисної дії енергетичного обладнання або енергоблока:

$$\eta = \frac{N_{\text{вих}}}{N_{\text{вх}}}, \quad (1)$$

де  $N_{\text{вих}}$  – корисна потужність або корисний енергетичний потік;  $N_{\text{вх}}$  – підведена потужність або енергія палива.

Для теплового енергоблока зручним є запис через теплоту палива:

$$\eta_e = \frac{P_e}{BQ_n}, \quad (2)$$

де  $P_e$  – електрична потужність блока;  $B$  – витрата палива;  $Q_n$  – нижча теплота згоряння палива.

Питома витрата палива:

$$b = \frac{B}{E}, \quad (3)$$

де  $B$  – витрата палива за розрахунковий інтервал;  $E$  – виробіток електроенергії.

Коефіцієнт готовності:

$$K_r = \frac{T_p}{T_p + T_b}, \quad (4)$$

де  $T_p$  – час працездатного стану;  $T_b$  – час ремонту або відновлення.

Імовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов;  $t$  – час роботи.

Ексергетична ефективність:

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{Ex_{\text{кор}}}{Ex_{\text{під}}}, \quad (6)$$

де  $Ex_{\text{кор}}$  – корисна ексергія;  $Ex_{\text{під}}$  – підведена ексергія.

Відносні втрати потужності внаслідок погіршення якості обладнання:

$$\delta_N = \frac{N_n - N_{\text{ф}}}{N_n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де  $N_n$  – номінальна потужність;  $N_{\text{ф}}$  – фактична потужність.

Коефіцієнт використання встановленої потужності:

$$K_{\text{вст}} = \frac{E}{N_{\text{вст}} T}, \quad (8)$$

де  $N_{\text{вст}}$  – встановлена потужність;  $T$  – календарний час.

Коефіцієнт технічного стану можна подати нормованою сумою:

$$K_{\text{тех}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i k_i, \quad (9)$$

де  $\alpha_i$  – вагові коефіцієнти;  $k_i$  – нормовані часткові показники стану вузлів.

Для інтегральної оцінки якості енергетичного обладнання пропонується використовувати комплексний показник:

$$K_{\text{к}} = w_1 k_{\eta} + w_2 k_b + w_3 k_r + w_4 k_p + w_5 k_{\text{тех}} + w_6 k_{\text{ex}} + w_7 k_{\text{ман}}, \quad (10)$$

де  $w_i$  – вагові коефіцієнти, для яких виконується умова  $\sum_{i=1}^7 w_i = 1$ ,  $k_{\eta}$  – нормований показник ККД;  $k_b$  – нормований показник питомої витрати палива;  $k_r$  – нормований показник готовності;  $k_p$  – нормований показник безвідмовності;  $k_{\text{тех}}$  – нормований показник технічного стану;  $k_{\text{ex}}$  – нормований показник ексергетичної ефективності;  $k_{\text{ман}}$  – нормований показник маневровості.

## 2. Аналіз впливу показників якості на ефективність роботи

З аналізу наукових публікацій, можна зробити такий висновок, щодо впливу показників якості на ефективність роботи енергетичного обладнання електростанцій.

Для турбінного обладнання ключовими є  $\eta$ ,  $\eta_i$ , вібраційний стан, температура проміжного перегріву та якість регулювання режимів. За даними довготривалої експлуатації, деградація парових турбін призводила до втрати потужності (2-7,5)%, що прямо знижує відпуск електроенергії та підвищує умовно-постійну складову собівартості. Для українських енергоблоків встановлено, що раціональне зниження температури вторинної пари від 545°C до 535°C може підвищити ККД турбоустановки приблизно на 0,6%, а в окремих когенераційних режимах – більш ніж на 1,5%. Одночасно фіксується зниження питомої витрати умовного палива на (3-4) г у.п./кВт·год.

Для котельного обладнання вирішальний вплив мають якість спалювання палива, коефіцієнт надлишку повітря, стан поверхонь нагріву та якість автоматичного регулювання. Підвищення надлишку повітря від 10% до 70% зменшує енергетичну ефективність на 5%. Водночас сучасні системи керування якістю горіння дозволяють зменшувати теплові втрати через надмірний кисень та неповне згорання, тобто утримувати котел ближче до оптимальної області роботи. Ексергетичний аналіз реальної теплової електростанції показав, що котел формує до 59% і близько 70% ексергетичних втрат, тому саме покращення якості котельного обладнання забезпечує найбільший резерв підвищення загальної ефективності станції.

Конденсаційне та регенеративне обладнання впливає на ефективність через вакуум, кінцевий тиск у турбіні, втрати в конденсаторі та ступінь регенерації. За літературними даними, конденсатор у дослідженій станції відповідав за 5% енергетичних втрат і близько 2% ексергетичних руйнувань, а зниження втрат у конденсаторі на українських турбоуста-

новках супроводжувалося приростом ККД і корисної потужності. Це підтверджує, що якість теплообміну та стан конденсаційного обладнання мають менший абсолютний внесок, ніж котел, але дуже відчутний вплив на результат у часткових режимах навантаження.

Для генераторів та турбогенераторів ключовими є електричний ККД, втрати в обмотках і сталі, якість охолодження, точність діагностики та режимна стабільність. Для гідрогенераторів додаткові циркуляційні втрати можуть становити близько 2% номінальних втрат, а технологічно зумовлене зростання втрат у сталі – до 4%. Це не є великими величинами окремо, однак для машин великої потужності вони перетворюються на суттєві абсолютні втрати енергії та нагрів. Якість вимірвальної системи при цьому може вносити помилки до 5%, що робить точність контролю самостійним фактором ефективності. Для турбогенератора 325 МВт окремо підкреслюється критична роль системи охолодження для забезпечення безвідмовності та стабільного теплового режиму.

Для маневровості та режимної якості енергоблоків важливі резерв потужності, швидкість зміни навантаження та гнучкість теплової схеми. Інтеграція системи накопичення теплоти на вугільній ТЕС збільшувала діапазон навантаження з (30-100)% до (23,4-100)%, швидкість розвантаження – з 1,82% до 5,94 $P_n$ /хв, а швидкість набору навантаження – з 1,79% до 7,75%  $P_n$ /хв

Для 350-МВт надкритичного блока оптимізація верхньої турбіни високого тиску може підвищити ефективність генерування з 30,6% до 35,2%. В українських роботах додатково показано, що резерв у 10% номінальної потужності парових турбін є доцільним з позицій стійкості та якості електропостачання.

Загальний вплив показників якості на ефективність роботи енергообладнання електростанцій можна представити так, як показано на рис. 2.



**Рис. 2** – Структура показників якості енергетичного обладнання та їх вплив на ефективність роботи електростанції

**Fig. 2** – Structure of quality indicators of power equipment and their impact on the efficiency of power plant operation

Проведений аналіз показує, що найбільший системний вплив на ефективність електростанції мають показники якості котла, турбіни та конденсаційного тракту. Котельне обладнання визначає основну частку термодинамічних втрат, турбіна – величину корисної потужності та чутливість до режимної деградації, а конденсатор – втрати в кінцевій частині циклу. Генератор і його система охолодження рідше формують найбільші питомі енергетичні втрати, проте саме їхній стан суттєво впливає на надійність і допустиме теплове навантаження машини.

Чисельні результати свідчать, що

навіть порівняно невеликі поліпшення окремих показників якості дають економічно відчутний ефект. Приріст ККД турбоустановки на (0,3-1,5)%, зниження питомої витрати палива на (3-4) г у.п./кВт·год або приріст ефективності блоку з 30,6% до 35,2%% уже змінюють паливний баланс і режимну цінність енергоблока. Одночасно погіршення якості – наприклад, через деградацію турбіни чи неоптимальний надлишок повітря – призводить до втрати потужності до 7,5%% та падіння ефективності на 5%. Це підтверджує доцільність використання саме комплексного показника якості, а не контролю одного-двох параметрів.

## Висновки

Ефективність роботи електростанцій істотно залежить від системи показників якості енергетичного обладнання, а не лише від номінального ККД окремих агрегатів.

Найбільший вплив на інтегральну ефективність мають показники якості котла, турбіни, конденсатора, генератора та допоміжних систем охолодження й регулювання.

Деградація турбін зумовлює значні втрати потужності, неоптимальний коефіцієнт надлишку повітря – викликає

помітне зниження енергетичної та ексергетичної ефективності.

Для генераторного обладнання істотними є додаткові втрати та якість охолодження, що прямо впливає на ефективність та надійність машин великої потужності.

Доцільним є використання комплексного показника якості  $K_k$ , який дає змогу поєднати енергетичні, надійнісні, режимні та технічні характеристики обладнання в єдиній моделі оцінювання.

## 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 використаних джерел:

1. Assessment of steam turbine performance degradation in long-term operation / Dosa I., Gavriiliuc I., Costea M., Neagoe M., Popescu C. *Energy*. 2025. Vol. 327. 136491. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136491> .
2. Mechanism modeling of optimal excess air coefficient for operating in coal fired boiler / Wang Y., Wang C., Zhang H. et al. *Energy*. 2022. Vol. 261. Art. 125274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125128>
3. Artificial Intelligence-Driven Approach to Optimizing Boiler Power Generation Efficiency: The Advanced Boiler Combustion Control Model / Lee K. J. et al. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 4. Art. 820. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18040820> .
4. Gungor Celik A. Energy, Exergy Analysis and Sustainability Assessment of a Thermal Power Plant Operating in Various Environmental Conditions Using Real Operational Data. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 4. Art. 1417. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17041417>
5. Operation Optimization of a Combined Heat and Power Plant Integrated with Flexibility Retrofits in the Electricity Market / Chen H. et al. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 13. Art. 3583. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18133583> .
6. Study on Determining the Efficiency of a High-Power Hydrogenerator Using the Calorimetric Method / Spunei E. et al. *Energies*. 2025. Vol. 18, No. 18. Art. 4813. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18184813> .
7. Improving the Fuel Combustion Quality Control System in Medium Power Boilers / Janta-Lipińska S. et al. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 12. Art. 3055. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17123055> .
8. Dynamic performance of a power plant integrating with molten salt thermal energy storage / Wang C. et al. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 262. 1 March 2025. Article 125223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.125223>
9. Assessment of Power Equipment Operational Safety in the Sustainable Management of Residual Lifespan / H. Hrinchenko, N. Antonenko, V. Khomenko, S. Artiukh. *Economics Ecology Socium*. 2024. Vol. 8, No. 3. P. 78–91. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.3-7> .
10. Бардик С. І., Бондаренко О. Л., Болотний М. П. Аналіз режимної надійності при плануванні сталого розвитку енергосистеми. *Відновлювана енергетика*. 2024. № 3. С. 38–46. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4\(79\).46-58](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79).46-58)
11. Development of the model and improvement of the method of automated control of steam turbine parameters to minimize the power imbalance in the energy system to increase its efficiency /

Kryvda V. et al. *Technology Audit and Production Reserves*. 2024. Vol. 6, No. 1(80). P. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.314219>

12 Tarelin A. O. Rational mode parameters of power units with steam turbines under partial loads. *Проблеми машинобудування*. 2024. Vol. 27. No. 1. pp. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.15407/pmach2024.01.035>

13. Мазур А. О. Аналіз теплофікаційної паротурбінної установки ТЕЦ за енергетичними та ексергетичними показниками. *Проблеми машинобудування*. 2025. Вип. 28. №. 2. С. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/pmach2025.02.017> .

14. Шестак В., Внгель В., Шевченко О. Підвищення ефективності системи охолодження турбогенератора шляхом використання в газоохолоджувачі оребрених трубок. *Проблеми машинобудування*. 2025. Т. 28, № 3. С. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.15407/pmach2025.03.034> .

15. Analysis of the distribution of gas turbine unit operation modes as a tool for improving the stability of the power system / Yavorskiy O., Tarakhtii O., Zhukovskiy V., Panin V. *Technology Audit and Production Reserves*. 2024. Vol. 6, No. 2(80). P. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.320229> .

Отримано: 19.03.2026 / Переглянуто: 21.04.2026 / Прийнято: 25.05.2026 / Опубліковано: 30.05.2026

<sup>1</sup>**A. MEZERYA**, Candidate of Technical Sciences

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

<sup>1</sup>**T. FURSOVA**, Candidate of Technical Sciences

Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies  
e-mail: [tatiana2507@ukr.net](mailto:tatiana2507@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1900-7432>

<sup>1</sup>**O. BLIZNICHENKO**, Candidate of Technical Sciences

Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies  
e-mail: [art-studio\\_diana\\_@ukr.net](mailto:art-studio_diana_@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1654-1598>

<sup>1</sup>**V. MALIUTA**, Postgraduate student

Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies  
e-mail: [sony199325@gmail.com](mailto:sony199325@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0789-442X>

<sup>1</sup>**O. TOLSTOREBROV**, Postgraduate student

Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies  
e-mail: [oleksandrtolstorebrov@gmail.com](mailto:oleksandrtolstorebrov@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3203-8909>

<sup>1</sup>*V.N. Karazin Kharkiv National University*

*4 Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine.*

## **ANALYSIS OF THE IMPACT OF QUALITY INDICATORS ON THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF POWER PLANT ENERGY EQUIPMENT**

The article examines the influence of quality indicators of the main power plant energy equipment on the efficiency of electric and thermal energy production. It is shown that under current conditions of limited flexible generation capacity, aging power units, and increasing requirements for fuel economy, environmental safety, and operational flexibility, the assessment of energy equipment quality extends beyond the traditional analysis of nominal efficiency alone. For turbines, boilers, condensers, generators, control systems, and cooling systems, not only energy-related characteristics but also reliability, operational, lifetime, and maintenance characteristics become decisive. It is substantiated that the operational efficiency of energy equipment is formed under the influence of a set of interrelated indicators, including efficiency, specific fuel consumption, reliability, availability, capacity factor, the level of losses in auxiliary systems, thermodynamic perfection, and the stability of parameters over time.

Modern studies devoted to steam turbine degradation, combustion optimization in boilers, the effect of excess air on efficiency, the exergetic distribution of losses among the main units of thermal power plants, increasing the efficiency of turbine installations under variable operating modes, improving turbogenerator cooling systems, as well as issues of equipment reliability and safe operation, are analyzed. It has been

established that individual quality indicators have a quantitatively significant influence on operating performance. In particular, long-term degradation of steam turbines may cause a power loss at the level of (2-7,5)%; an increase in excess air in the boiler from 10% to 70% leads to a decrease in energy and exergetic efficiency by approximately 5%; the integration of thermal energy storage systems and the improvement of operating modes can increase maneuverability by 3-4 times and improve the profitability of a power plant. For certain turbine units, rationalization of the reheated steam temperature provided an increase in efficiency of (0,3-1,5)% and a reduction in specific equivalent fuel consumption by (3-4) g standard fuel/kWh.

A system of individual quality indicators of power equipment and a comprehensive quality indicator suitable for multicriteria assessment is proposed. It is shown that the greatest impact on the integrated efficiency of power plants is exerted by the quality indicators of turbine, boiler, and condensing equipment, as well as the reliability of generators and auxiliary systems. The results can be used in technical diagnostics, modernization, optimization of operating modes, and substantiation of priorities for repair and reconstruction of power plant energy equipment.

**Keywords:** energy equipment, power plant, quality indicators, operational efficiency, efficiency, specific fuel consumption, reliability, availability, turbine, boiler, generator, comprehensive quality indicator.

**In cites:** Mezerya A., Fursova T., Bliznichenko O., Maliuta V., Tolstorebrov O. (2026). Analysis of the impact of quality indicators on the operational efficiency of power plant energy equipment. *Engineering*, (37), 87-96. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2026-37-07> ( 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.

#### Reference:

1. Dosa, I, Gavriiliuc, I, Costea, M, Neagoie, M & Popescu, C 2025, 'Assessment of steam turbine performance degradation in long-term operation', *Energy*, Vol. 327, 136491. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136491> .
2. Wang, Y, Wang, C, Zhang, H et al 2022, 'Mechanism modeling of optimal excess air coefficient for operating in coal fired boiler', *Energy*, Vol. 261, Art. 125274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125128>
3. Lee, KJ et al 2025, 'Artificial Intelligence-Driven Approach to Optimizing Boiler Power Generation Efficiency: The Advanced Boiler Combustion Control Model', *Energies*, Vol. 18, No. 4, Art. 820. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18040820> .
4. Gungor Celik A 2025, 'Energy, Exergy Analysis and Sustainability Assessment of a Thermal Power Plant Operating in Various Environmental Conditions Using Real Operational Data', *Sustainability*, Vol. 17, No. 4, Art. 1417. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17041417>
5. Chen, H et al 2025, 'Operation Optimization of a Combined Heat and Power Plant Integrated with Flexibility Retrofits in the Electricity Market' *Energies*, Vol. 18, No. 13, Art. 3583. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18133583> .
6. Spunei, E et al 2025, 'Study on Determining the Efficiency of a High-Power Hydrogenerator Using the Calorimetric Method', *Energies*, Vol. 18, No. 18, Art. 4813. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18184813> .
7. Janta-Lipińska, S et al 2024, 'Improving the Fuel Combustion Quality Control System in Medium Power Boilers', *Energies*, Vol. 17, No. 12, Art. 3055. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17123055> .
8. Wang, C 2025, 'Dynamic performance of a power plant integrating with molten salt thermal energy storage', *Applied Thermal Engineering*, Vol. 262, Article 125223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.125223>
9. Hrinchenko, H, Antonenko, N, Khomenko, V & Artiukh, S 2024, 'Assessment of Power Equipment Operational Safety in the Sustainable Management of Residual Lifespan', *Economics Ecology Socium*, Vol. 8, No. 3, Pp. 78–91. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.3-7> ( in Ukraine)

10. Bardyk, YeI, Bondarenko, OL & Bolotnyi, MP 2024, ‘Analiz rezhymnoi nadiinosti pry planuvanni staloho rozvytku enerhosystemy’ [Operational Reliability Analysis for Sustainable Energy System Planning Development], *Vidnovlyuvana energetika*, № 3, Pp. 38–46. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4\(79\).46-58](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79).46-58) ( in Ukraine)
11. Kryvda, V et al 2024, ‘Development of the model and improvement of the method of automated control of steam turbine parameters to minimize the power imbalance in the energy system to increase its efficiency’, *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 6, No. 1(80), Pp. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.314219> ( in Ukraine)
12. Tarelin, AO 2024, ‘Rational mode parameters of power units with steam turbines under partial loads’, *Problemy mashynobuduvannia*, Vol. 27, No. 1, Pp. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.15407/pmach2024.01.035> ( in Ukraine)
13. Mazur, AO 2025, ‘Analiz teplofikacijnoyi paroturbinnoyi ustanovki TEC za energetichnimi ta eksergetichnimi pokaznikami’ [Analysis of the thermal steam turbine plant of the CHP according to energy and exergy indicators. ], *Problemy mashynobuduvannia*, Vol. 28, №. 2, Pp. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/pmach2025.02.017> ( in Ukraine)
14. Shestak, V, Vnhel, V & Shevchenko, O 2025, ‘Pidvyshchennia efektyvnosti systemy okholodzhennia turbogeneratora shliakhom vykorystannia v hazookholodzhuvachi orebrenykh trubok’ [Increasing the efficiency of the turbogenerator cooling system by using finned tubes in the gas cooler. ], *Problemy mashynobuduvannia*, Vol. 28, no 3, Pp. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.15407/pmach2025.03.034> ( in Ukraine)
15. Yavorskyi, O, Tarakhtii, O, Zhukovskyi, V & Panin, V 2024, ‘Analysis of the distribution of gas turbine unit operation modes as a tool for improving the stability of the power system’, *Technology Audit and Production Reserves*, Vol. 6, No. 2(80), Pp. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.320229> ( in Ukraine)

**Submission received: 03.19.2026/Revised: 04.21.2026/Accepted: 05.25.2026/Published: 05.30.2026**