

## УПРАВЛІННЯ ВИТРАТОЮ ПАЛИВА ЕНЕРГОБЛОКА 200 МВт ПРИ РОБОТІ В РЕЖИМІ ЧАСТИХ ПУСКІВ

*В контексті недостатньої кількості маневрових потужностей в Об'єднаній енергетичній системі України, енергоблоки 200 МВт використовуються для покриття пікових навантажень в змінних режимах роботи. При цьому спостерігається погіршення економічних показників енергетичного обладнання. Ефективність генерації електричної енергії безпосередньо залежить від режимів роботи енергоблоку. Тому було поставлена задача розроблення системи для раціоналізації режимів експлуатації з метою підвищення економічності. В якості цільової функція обрано середньорічну питому витрату умовного палива. Для розрахунку питомих витрат протягом року був використаний метод приведення всіх витрат при пуску і під час стаціонарної роботи до аналогічних витрат умовного палива. В якості факторів оптимізації обрано: час роботи енергоблоку протягом року, сумарна кількість пусків з різних теплових станів за 1 рік та доля пусків з різних теплових станів. Межі зміни факторів були обрані наступні: кількість годин роботи енергоблоку  $t_i$  від 2000 до 6500 годин на рік; річна кількість запусків  $n_i$  від 25 до 75 разів на рік; частка пусків з холодного стану металу  $CS_i$  від 0,1 до 0,9; доля пусків з гарячого стану  $GS_j$  в межах частки всіх пусків (гарячого і неостиглого) від 0 до 1. Розроблена математична модель дозволяє оцінити витрати палива для всіх можливих комбінацій режимних факторів. Для демонстрації роботи цієї системи були проведені розрахунки для конкретного енергоблоку потужністю 200 МВт з енергетичним котлом ТП-100 та паровою турбіною К-200-130. Основні параметри режиму роботи енергоблоку були визначені з використанням карти пусків та інструкції з експлуатації, розробленої виробником. Проведені розрахунки встановили раціональний розподіл режимних параметрів, при яких витрата умовного палива складає 334-340 г.у.п./кВт·год. Встановлено, що раціональне число годин використання енергоблоку  $t_i = 5500-6500$  год/рік, при річній кількості пусків  $n_i = 25-36$  рік<sup>-1</sup>, при цьому доля пусків має становити: з холодного стану металу  $CS_i = 0,72-0,9$ ; з гарячого стану  $HS_j = 0,1-0,28$ ; з неостиглого стану  $US_{i,j} = 0-0,18$  і тоді відмінність між максимально раціональним та нераціональним режимами роботи складає 16,5 % (перевитрата палива 55 г.у.п./кВт·год).*

**Ключові слова:** теплова електростанція, енергоблок, економічність, витрата, паливо, пуск, теплові стани, ефективність.

### Вступ

Характерними особливостями енергосистеми України є певна переобтяженість базовими енергогенеруючими потужностями та суттєвий дефіцит маневрених енергоблоків. Як наслідок, спроектовані для роботи в базовому та напівбазовому режимі енергоблоки потужністю 200-300 МВт активно залучаються для компенсації піків та провалів споживання електричної енергії [1].

Енергоблоки 200-300 МВт теплових електростанцій України мають досить обмежений діапазон регулювання потужності та низьку питому вагу маневрування, тому в енергосистемі поширеною є щоденна зупинка 7-10 енергоблоків у період нічного провалу споживання з подальшими пусками блоків для покриття ранкового піку, повторна зупинка кількох блоків у денний час (через профіцит генерації внаслідок роботи сонячних електростанцій) та чергові пуски енергоблоків для забезпечення проходження вечірнього максимуму споживання [2]. Очевидно, що така робота обладнання призводить до суттєвого прискорення вичерпання ресурсних показників обладнання, підвищення аварійності, призводить до погіршення екологічних показників та перевитрат палива [3].

Значна кількість наукових та прикладних досліджень доводять ефективність застосування методів прогнозуючої оптимізації при вирішенні питань раціонального використання енергоресурсів та зменшення негативного впливу енергетичного сектору на навколишнє середовище [4-5]

Авторами [6] розроблено систему оцінки та прогнозування раціональних режимів експлуатації енергоблоків ТЕС. Дана система дозволяє уповільнити темпи зношення високотемпературних елементів парових турбін за рахунок обмеження числа нераціональних режимів експлуатації.

Для того, щоб оцінити енергетичну та економічну ефективність роботи блоків авторами [7], виконується порівняльна оцінка нормативних питомих витрат умовного палива. Аналіз питомих витрат виявив, що питомі витрати палива з 1990 року поступово зростали. Це пояснюється фізичним зносом блоків та якістю палива, а також тим, що ці блоки використовуються для покриття пікового навантаження в енергосистем, що прискорює їхній знос і погіршує експлуатаційні та економічні характеристики.

Враховуючи вище викладене, можна стверджувати, що наукове дослідження, спрямоване на розробку системи оптимізації режимів роботи окремого енергоблоку з метою забезпечення економічності та ресурсозбереження, є актуальним і важливим завданням. Впровадження такої системи дозволить генеруючим компаніям більш ефективно планувати стратегію експлуатації їх устаткування. Крім того, ця система має велике значення для прогнозування та формування структури генеруючих потужностей у сфері енергосистем. Ефективне планування дозволить значно знизити витрати на виробництво електричної енергії та запобігти передчасному зношенню основного енергетичного обладнання на теплових електростанціях.

**Мета та задачі дослідження.**

Метою даної роботи є розробка системи для розрахунку раціонального розподілу режимних параметрів енергоблоку 200 МВт, що здатні забезпечити мінімізацію витрат умовного палива при роботі енергоблоку в маневреному режимі протягом року. Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- розрахунок і приведення до єдиного еквіваленту значення втрат теплової та електричної енергії при пуску, а також витрати палива для встановлення значення пускових втрат;
- вирішення задачі пошуку оптимального розподілу режимних параметрів енергоблоку для мінімізації середньорічної питомої витрати умовного палива, в якості цільової функції;
- визначення оптимальних комбінацій параметрів режиму роботи енергоблоку, які забезпечують мінімізацію витрат умовного палива енергоблоку потужністю 200 МВт.

**Розрахунок втрат палива, теплової та електричної енергії при пусках енергоблоків ТЕС**

Раціоналізація режимів експлуатації енергоблоків ТЕС з метою мінімізації витрати палива потребує обов'язкового встановлення величини та діапазону зміни енергетичних втрат для типових пускових та стаціонарних режимів роботи.

Ключова проблема при встановленні значення цих втрат полягає в тому, що повна витрата тепла при пусковому режимі завжди складається з безпосередньо самих теплових втрат, витрати електричної енергії для приводу електродвигунів механізмів та витрати палива.

Таким чином, оцінюючи пускові втрати палива  $\Delta B_i$ , необхідно враховувати не лише саму перевитрату натурального палива, а й еквівалентну перевитрату палива, що компенсує наявні втрати тепла та електроенергії:

$$\Delta B_i = \Delta B_i^f + \Delta B_i^h + \Delta B_i^e + \Delta B_i^u \quad (1)$$

де  $\Delta B_i^f$ ,  $\Delta B_i^h$ ,  $\Delta B_i^e$  – використане на  $i$ -му етапі пуску або розхолодження паливо, тепло від стороннього джерела і електроенергія на власні потреби, що зведені до паливного еквіваленту (т.у.п.);

$\Delta B_i^u$  – паливо, еквівалентне корисній електроенергії виданій в мережу в процесі розхолодження, навантаження і стабілізації при пуску.

Пусковий цикл енергоблоку зручно розбити на декілька етапів (рис. 1):

*I* – попередній прогрів проточної частини турбіни за рахунок подачі ущільнюючої пари;

*II* – поштовх ротора до частоти обертання холостого ходу (3000 об/хв, 50 Гц) з проміжними частотами обертання 500 та 1200 об/хв;

*III* – витримка ротора на частоті холостого ходу та синхронізація турбогенератора з енергосистемою;

*IV* – навантаження енергоблоку до номінальної потужності 200 МВт;

*V* – робота на номінальній потужності та стабілізація температурного поля проточної частини.

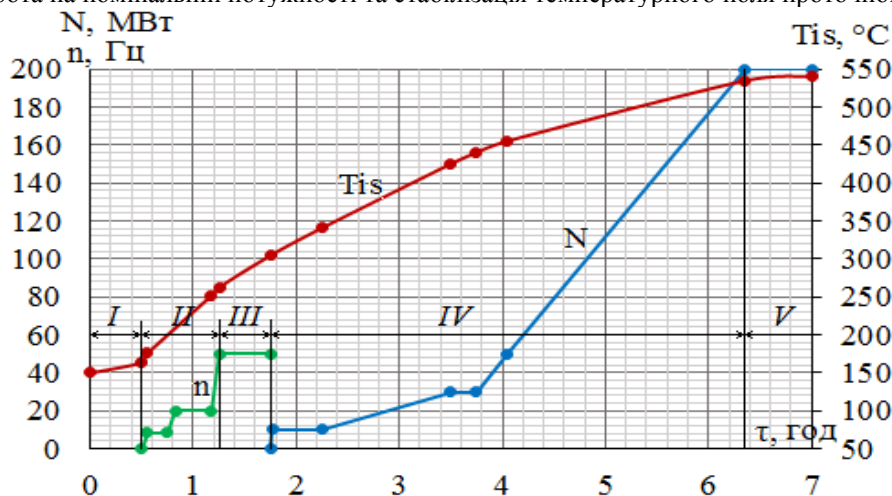


Рисунок 1 - графік пуску енергоблоку 200 МВт з холодного стану металу ( $t_m = 100\text{ }^\circ\text{C}$ )

Для кожного з вказаних вище етапів визначаються основні складові паливних втрат з рівняння (1). Конкретні методики розрахунку пускових втрат, зазвичай, затверджено відповідними нормативними документами енергетичної галузі промисловості переважної більшості країн світу. В даному дослідженні використано методику, що представлена в нормативному документі “RD 34.09.106-94. Method for Calculation of Loss of Fuel, Electric Power and Steam During Startup of Power Units with Power of 160-1200 MW” [8].

Самі ж пускові режими роботи енергоблоків ТЕС прийнято класифікувати в залежності від температури металу перед початком пуску. Визначальною температурою, зазвичай, слугує температура металу першого ступеня, фланців в області паровпуску, або паровпускних патрубків.

В даній роботі пропонується розглянути наступні пускові режими роботи енергоблоків: пуск з холодного стану металу (CS) при температурі  $>150$  °C, з нестиглого стану (US) при температурі 200-300 °C та з гарячого стану (HS) при температурі 410-460 °C.

Типовий графік пуску енергоблока 200 МВт з турбіною К-200-130 з холодного стану металу представлений на рис. 1. Даний графік охоплює моменти часу пуску енергоблоку від подачі ущільнюючої пари до кінцевих ущільнень циліндрів до виходу енергоблоку на електричну потужність 200 МВт та часткової стабілізації температурного поля проточної частини.

### Розробка системи оцінки і прогнозування раціональних режимів роботи енергоблоків ТЕС для мінімізації витрат палива

Після визначення величини енергетичних втрат у режимах пуску та стаціонарної роботи енергоблоку на ТЕС можна розробити систему планування для оптимізації експлуатації. Головним кроком у цьому процесі є постановка та вирішення задачі оптимізації, яка спрямована на знаходження такого розподілу параметрів роботи енергоблоку, що мінімізує енергетичні втрати.

У якості цільової функції для цієї задачі оптимізації може бути використана питома витрата умовного палива  $b_{eq}$ . Ця функція є інформативною, оскільки враховує комплексні аспекти ефективності генерації електроенергії:

$$b_{eq}(\vec{x}) \rightarrow \min_{\vec{x} \in \bar{X}} b_{eq}(\vec{x}) \quad (2)$$

Розв'язком поставленої задачі буде таке значення  $\vec{x}^{opt} \in \bar{X}$ , що  $b_{eq}(\vec{x}^{opt}) \leq b_{eq}(\vec{x})$  при всіх  $\vec{x} \in \bar{X}$ .

Іншими словами:

$$b_{eq}(\vec{x}^{opt}) = \min_{\vec{x} \in \bar{X}} b_{eq}(\vec{x}) \quad (3)$$

$$N_{X \min} \leq |\bar{X}| \leq N_{X \max} \quad (4)$$

де  $\vec{x}$  – вектор режимних параметрів, які впливають на  $b_{eq}$ ;  $\bar{X}$  – область існування вектору  $\vec{x}$ ;  $N_{X \min}$ ,  $N_{X \max}$  – межі існування складових вектору  $\vec{x}$ .

Для передбачуваної задачі, основними компонентами вектору  $\vec{x}$  (факторами оптимізації) пропонуються:

- 1) час роботи енергоблоку протягом року  $t_{min} \leq t_i \leq t_{max}$ .
- 2) сумарне число пусків з різних теплових станів за 1 рік  $n_{min} \leq n_j \leq n_{max}$ .
- 3) доля пусків з холодного стану від загального числа  $CS_{min} \leq CS_k \leq CS_{max}$ .
- 4) доля пусків з гарячого стану від загального числа  $HS_{min} \leq HS_l \leq HS_{max}$ .
- 5) доля пусків з нестиглого стану металу визначається за долями пусків з інших теплових станів

$$US_{k,l} = 1 - (CS_k + HS_l).$$

З огляду на вищевказане, отримано наступне рівняння для розрахунку середньорічної питомої витрати умовного палива на енергоблоці ТЕС:

$$b_{eq \ i,j,k,l} = \frac{B_1 \cdot t_i + \Delta B_{CS} \cdot n_j \cdot CS_k + \Delta B_{HS} \cdot n_j \cdot HS_l + \Delta B_{US} \cdot n_j \cdot (1 - (CS_k + HS_l))}{N \cdot (t_i - \Sigma t_{TS}) + E_{CS} \cdot n_j \cdot CS_k + E_{HS} \cdot n_j \cdot HS_l + E_{US} \cdot n_j \cdot (1 - (CS_k + HS_l))} \quad (5)$$

де  $B_1$  – абсолютна витрата умовного палива, що витрачається за 1 годину роботи енергоблоку на номінальному навантаженні;  $\Delta B_{CS}$ ,  $\Delta B_{HS}$ ,  $\Delta B_{US}$  – перевитрати умовного палива при кожному типі пуску, розраховані за рівнянням (1);  $N$  – номінальна потужність енергоблоку;  $E_{CS}$ ,  $E_{HS}$ ,  $E_{US}$  – кількість енергії, що видається в мережу протягом кожного типу пуску;  $t_i$ ,  $n_j$  – число годин роботи та кількість пусків протягом року;  $CS_k$ ,  $HS_l$  – доля пусків з CS і HS відповідно;  $\Sigma t_{TS}$  – сумарний час витрачений на всі пускові режими.

Отже, в чисельнику рівняння (5) врахована загальна витрата умовного палива протягом всіх режимів роботи енергоблоку. Ця витрата включає в себе номінальну витрату протягом часу роботи  $t_i$  і суму перевитрат палива під час кожного типу пуску. У знаменнику подана загальна кількість енергії, що була згенерована під час номінального режиму та всіх пускових режимів роботи.

Залежно від характеру роботи в енергосистемі протягом року, можна виділити дві абсолютно протилежні стратегії експлуатації енергоблоку: повністю базовий режим роботи та повністю піковий режим.

У повністю піковому режимі роботи енергоблок має мінімальне напруцювання ( $t_i \rightarrow t_{min}$ ), а кількість пусків, навпаки, максимальна ( $n_j \rightarrow n_{max}$ ). Це призводить до того, що метал турбіни, ймовірно, не встигає охолотитись до температури нижче 150 °С, що відповідає запуску з холодного стану. Таким чином, переважатимуть запуски з гарячого та неостиглого стану, а пуски з холодного будуть мінімізовані –  $CS_k \rightarrow CS_{min}$ .

У повністю базовому режимі роботи ситуація буде протилежною: напруцювання енергоблоку максимальне ( $t_i \rightarrow t_{max}$ ), а кількість пусків навпаки мінімальна ( $n_j \rightarrow n_{min}$ ). У цьому випадку переважатимуть пуски з холодного стану  $CS_k \rightarrow CS_{max}$ .

Між цими двома абсолютно протилежними стратегіями роботи енергоблоку існує безліч варіацій з різними комбінаціями змінних режимних параметрів  $t_i$ ,  $n_j$ ,  $CS_k$ ,  $HS_l$  серед яких існує оптимальний розподіл, який є раціональним.

З урахуванням вищевказаного, рівняння для розрахунку середньорічної питомої витрати умовного палива (5) може бути представлено у такому вигляді:

$$b_{eq\ ij} = \frac{B_1 \cdot t_i + n_i [CS_i \cdot \Delta B_{CS} + CS_i \cdot HS_j \cdot \Delta B_{HS} + CS_i \cdot (1 - HS_j) \cdot \Delta B_{US}]}{N \cdot [t_i - \Sigma t_{ij}^{TS}] + n_i [CS_i \cdot E_{CS} + CS_i \cdot HS_j \cdot E_{HS} + CS_i \cdot (1 - HS_j) \cdot E_{US}]} \quad (6)$$

$$\Sigma t_{ij}^{TS} = n_i [CS_i \cdot t_{CS} + CS_i \cdot HS_j \cdot t_{HS} + CS_i \cdot (1 - HS_j) \cdot t_{US}] \quad (7)$$

$$n_i = (n_{min} - n_{max}) \frac{t_i - t_{min}}{t_{max} - t_{min}} + n_{max} \quad (8)$$

$$CS_i = (CS_{max} - CS_{min}) \frac{t_i - t_{min}}{t_{max} - t_{min}} + CS_{min} \quad (9)$$

де  $t_{CS}$ ,  $t_{HS}$ ,  $t_{US}$  – час пуску енергоблоку з холодного, гарячого та неостиглого станів відповідно.

#### Застосування розробленої системи пошуку оптимального розподілу режимних параметрів для енергоблоку 200 МВт

На основі вищевказаного була розроблена система планування оптимальних режимів експлуатації енергоблоків ТЕС.

Для ілюстрації результатів цієї системи були проведені розрахунки для конкретного енергоблоку потужністю 200 МВт з енергетичним котлом ТП-100 та паровою турбіною К-200-130. Основні параметри режиму роботи енергоблоку були визначені з використанням карти пусків, розробленої виробником. Кількість енергії, яка генерується під час кожного пуску  $E_{CS}$ ,  $E_{HS}$ ,  $E_{US}$ , була розрахована шляхом інтегрування кривої електричної потужності турбогенератора з відповідних графіків запуску.

Результати цих розрахунків представлені на рис. 2. Межі зміни факторів були обрані наступні: кількість годин роботи енергоблоку  $t_i$  від 2000 до 6500 годин на рік; річна кількість запусків  $n_i$  від 25 до 75 разів на рік; частка пусків з холодного стану металу  $CS_i$  від 0,1 до 0,9; доля пусків з гарячого стану  $GS_j$  в межах частки всіх пусків (гарячого і неостиглого) від 0 до 1.

Ці результати дозволяють визначити оптимальні комбінації параметрів режиму роботи енергоблоку, які забезпечують мінімізацію витрат умовного палива та збільшення ефективності його роботи в контексті різних умов експлуатації.

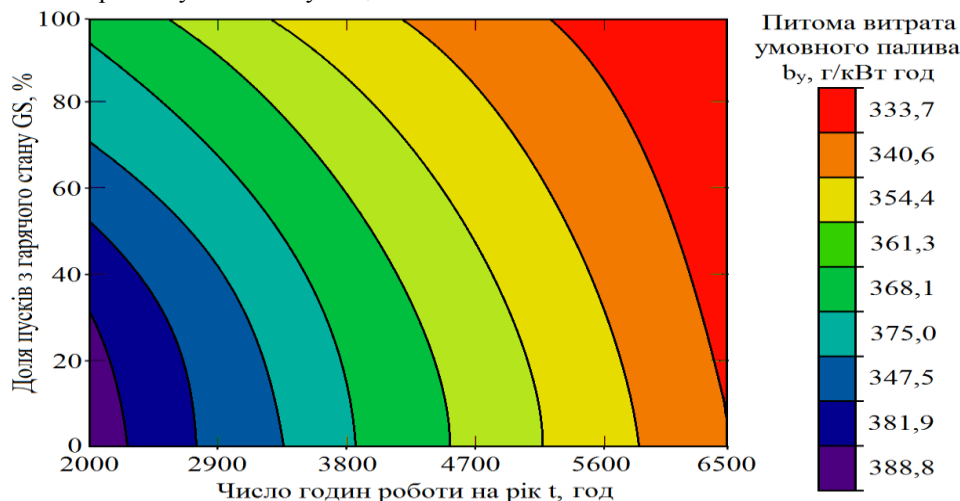


Рисунок 2 - діаграма питомої витрати умовного палива енергоблоку 200 МВт в залежності від його режимних параметрів

Аналізуючи отримані результати (рис. 2) можна відмітити, що раціональним розподілом режимних параметрів енергоблоку 200 МВт, що здатні забезпечити мінімізацію витрат умовного палива є:

- 1) число годин використання енергоблоку  $t_i = 5500-6500$  год/рік;

2) річна кількість пусків  $n_i = 25-36$  рік<sup>-1</sup>;

3) доля пусків з холодного стану металу  $CS_i = 0,72-0,9$ , з гарячого стану  $HS_j = 0,1-0,28$ , з неостиглого стану  $US_{ij} = 0-0,18$ .

При роботі в даному діапазоні витрата умовного палива складає близько 334-340 г.у.п./кВт·год. Відмінність між максимально раціональним та нераціональним режимами складає 16,5 % (перевитрата 55 г.у.п./кВт·год).

Отримані результати, які вказують на те, що оптимальний режим експлуатації наближається до повністю базового режиму, є логічними, оскільки в повністю базовому режимі відсутні пускові перевитрати палива, що знижує загальні витрати. Але, слід зазначити що фактори, такі як умови функціонування енергосистеми і випадкові обставини, роблять неможливим експлуатацію енергоблоку виключно в повністю базовому режимі. Тому розумно брати до уваги певну міру компромісу між оптимізацією витрат палива і реалістичними умовами роботи.

Також, важливо пам'ятати, що отримані питомі витрати умовного палива є дещо ідеалізованими і базуються на принципах точного виконання пускових графіків роботи та відсутності помилок в експлуатації. В реальних умовах можуть виникати різні фактори та непередбачені обставини, що можуть вплинути на витрати палива. Тому важливо забезпечити надійний і безпечний робочий режим енергоблоку, дотримуючись всіх необхідних норм та стандартів експлуатації.

### Висновки.

Енергоблоки теплових електростанцій часто залучаються до маневрених режимів експлуатації. Така робота обладнання призводить до певної перевитрати палива при змінних режимах експлуатації. Доцільно розробити систему для планування раціональних режимів експлуатації енергоблоків ТЕС з метою скорочення витрати палива. Для цього необхідно визначити оптимальні комбінації режимних параметрів роботи енергоблоку, таких як тривалість експлуатації, сумарна кількість пусків та дольовий розподіл пусків за типами теплових станів.

Сформовано задачу оптимізації та обрано середньорічну питому витрату умовного палива як цільову функцію. Поставлена задача розглядає можливі комбінації режимних параметрів та визначає витрату умовного палива для кожного з них.

Представлену вище систему планування раціональних режимів експлуатації апробовано для енергоблоку потужністю 200 МВт. Встановлено, що раціональне число годин використання енергоблоку  $t_i = 5500-6500$  год/рік, при річній кількості пусків  $n_i = 25-36$  рік<sup>-1</sup>, при цьому доля пусків має становити: з холодного стану металу  $CS_i = 0,72-0,9$ ; з гарячого стану  $HS_j = 0,1-0,28$ ; з неостиглого стану  $US_{ij} = 0-0,18$ . При роботі в даному діапазоні витрата умовного палива складає близько 334-340 г.у.п./кВт·год. Відмінність між максимально раціональним та нераціональним режимами складає 16,5 % (перевитрата 55 г.у.п./кВт·год).

### Список використаної літератури

1. Вплив роботи енергоблоків ТЕС в маневреному режимі на надійність та аварійність енергетичного обладнання / О. Ю. Черноусенко, В. А. Пешко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 8(1180). – С. 100–106. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.14
2. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2021 році. (Затверджено постановою НКРЕКП № 394 від 20.04.2022) / Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2022. – 123 с.
3. Вплив роботи у маневрених режимах енергоблоків ТЕС на техніко-економічні характеристики / О. Ю. Черноусенко, Л.С. Бутовський, О.О. Грановська, В.А. Пешко, О.С. Мороз // Проблеми загальної енергетики. – Київ, Ін-т загальної енергетики НАНУ, 2016. – № 2 (45). – С. 21-31. – doi: 10.15407/pge2016.02.043
4. Mayanti, B., Songok, J., Helo, P. (2021). Multi-objective optimization to improve energy, economic and, environmental life cycle assessment in waste-to-energy plant. *Waste Management* 127, 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.042>
5. Ding, N., Pan, J., Liu, J., Yang, J. (2019). An optimization method for energy structures based on life cycle assessment and its application to the power grid in China. *Journal of Environmental Management* 238, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.072>
6. Chernousenko O., Rindyuk D., Peshko V., Chernov O., Goryazhenko V. (2020) Development of a System for Estimating and Forecasting the Rational Resource-Saving Operating Modes of TPP. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 3, No 8(105), pp. 14-23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.204505>
7. Дрьомін В.П., Костенко Г.П., Згуровець О.В. Аналіз витрат палива блоками ТЕС і можливостей їх економії при регулюванні електроспоживання. Проблеми загальної енергетики. 2008. Вип. 1(17). С. 73—77. URL: [http://pge.org.ua/index.php?option=com\\_docman&task=art\\_list&mid=20081&gid=17&lang=ua](http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_list&mid=20081&gid=17&lang=ua)
8. Пешко, В., Улітко, О., Ліщук, С. (2023). Оцінка перевитрати палива енергоблоком 200 МВт при пусках з різних теплових станів. *Scientific Collection «InterConf+»*, (33(155)), 296–304. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.027>

V. Peshko<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-0610-1403

S.Lishchuk<sup>1</sup>, Ph. D. student, ORCID 0000-0001-7874-5019

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## MANAGEMENT OF FUEL CONSUMPTION OF 200 MW POWER UNIT WHEN OPERATING IN FREQUENT START-UP MODE

In the context of insufficient maneuvering capacities in the United Energy System of Ukraine, 200 MW power units are used to cover peak loads in variable operating modes. At the same time, there is a deterioration in the economic performance of power equipment. The efficiency of power generation directly depends on the operating modes of the power unit. Therefore, the task was set to develop a system to rationalize operating modes in order to increase efficiency. The average annual specific fuel consumption was chosen as the objective function. To calculate the specific consumption during the year, the method of bringing all losses during start-up and stationary operation to similar consumption of conventional fuel was used. The following factors were selected as optimization factors: the power unit operation time during the year, the total number of starts from different thermal states for 1 year, and the proportion of starts from different thermal states. The limits of change in the factors were chosen as follows: the number of hours of power unit operation  $t_i$  from 2000 to 6500 hours per year; annual number of starts  $n_i$  from 25 to 75 times per year; the share of starts from the cold state of metal  $CS_i$  from 0.1 to 0.9; the share of starts from the hot state  $GS_j$  within the share of all starts (hot and un-cooled) from 0 to 1. The developed mathematical model allows to estimate fuel consumption for all possible combinations of operational factors. To demonstrate the operation of this system, calculations were performed for a specific 200 MW power unit with a TP-100 power boiler and a K-200-130 steam turbine. The main parameters of the power unit operation mode were determined using the start-up map and the operating instructions developed by the manufacturer. The calculations established a rational distribution of operating parameters, at which the consumption of conditional fuel is 334-340 g.c.f./kWh. It has been established that the rational number of hours of power unit operation is  $t_i = 5500-6500$  h/year, with the annual number of starts  $n_i = 25-36$  year<sup>-1</sup>, while the share of starts should be: from the cold state of the metal  $CS_i = 0.72-0.9$ ; from the hot state  $HS_j = 0.1-0.28$ ; from the un-cooled state  $US_{i,j} = 0-0.18$ , and then the difference between the most rational and irrational operating modes is 16.5 % (fuel consumption of 55 g.c.f./kWh).

**Keywords:** thermal power plant, power unit, efficiency, consumption, fuel, start-up, thermal states, efficiency.

### References

1. Chernousenko O., Peshko V. (2016). Influence of the operation of the power units of thermal power plants in the maneuvering mode on the aging rate of power equipment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, vol. 8(1180), pp. 100-106, 2016. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.14
2. Report with estimates of the reliability (sufficiency) of generating capacities to increase the projected demand for electric energy and ensure the raw reserve in 2021/ National Power Company Ukrenergo. – Kyiv.-p.123
3. O. Chernousenko, L. Butovskiy, O. Granovska, V. Peshko, O. Moroz (2016) The influence of operation in maneuverable modes of TPP power units on technical and economic characteristics. *Problems of general energy*, vol. 2(45), pp. 21-31, 2016.- doi: 10.15407/pge2016.02.043
4. Mayanti, B., Songok, J., Helo, P. (2021). Multi-objective optimization to improve energy, economic and, environmental life cycle assessment in waste-to-energy plant. *Waste Management* 127, 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.042>
5. Ding, N., Pan, J., Liu, J., Yang, J. (2019). An optimization method for energy structures based on life cycle assessment and its application to the power grid in China. *Journal of Environmental Management* 238, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.072>
6. Chernousenko O., Rindyuk D., Peshko V., Chernov O., Goryazhenko V. (2020) Development of a System for Estimating and Forecasting the Rational Resource-Saving Operating Modes of TPP. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. Vol 3, No 8(105), pp. 14-23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.204505>
7. Dromin V., Kostenko G., Zgurovets.(2008) Analysis of fuel consumption by TPP units and the possibilities of their savings when regulating electricity consumption. *Problems of general energy*. Problems of general energy, vol. 1(17), pp. 73-77, 2008.
8. Peshko V., Ulitko O., Lishchuk S. (2023) Estimation of fuel overconsumption by a 200 MW power unit when starting from different thermal conditions. *Scientific Collection «InterConf+»*, (33(155), 296–304. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.027>

Надійшла: 23.10.2023

Received: 23.10.2023