

DOI <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-55-63>

УДК 621.22.018.8

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

© Канюк Г.І., Мезеря А.Ю., Василець Т.Ю.,  
Келеберда С.М., Пономаренко А.С., Чирочкін Д.О.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### Інформація про авторів:

**Канюк Геннадій Іванович (Kaniuk Gennadii):** ORCID: 0000-0003-1399-9039; доктор технічних наук; завідувач кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Мезеря Андрій Юрійович (Mezerya Andrey):** ORCID: 0000-0003-2946-9593; mezzer@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

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

**Келеберда Сергій Миколайович (Keleberda Sergii):** ORCID: 0009-0003-1452-3443; keleberda141@gmail.com; аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Пonomаренко Артем Сергійович (Ponomarenko Artem):** ORCID: 0009-0006-0263-2329; 123ponomarenko123@gmail.com, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Чирочкін Денис Олександрович (Chyrochkin Denis):** ORCID: 0009-0005-9029-0471; chirochkin123@gmail.com; аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Метою роботи є визначення узагальненого критерію оптимальності показників якості технологічних процесів в енергетиці для використання його в автоматизованих системах керування та підвищення рівня енергоефективності. Завдання статичної та динамічної оптимізації є складними (багатофакторними) та багатоцільовими. Їх рішення здійснюється спільно з урахуванням всього різноманіття факторів і обмежень, що впливають на досягнення оптимуму функції мети. У роботі розглянуто характерний приклад задачі оптимізації (коли функція мети максимізується), а саме завдання управління процесом горіння в топці котла за коефіцієнтом корисної дії, а коли мінімізується – за сумою теплових втрат. Показана постановка задачі динамічної оптимізації значень управляючих та вихідних впливів у функції часу, що забезпечують досягнення заданих критеріїв управління для технологічних процесів у перехідних режимах. Показано, що критерієм оптимальності може бути мінімум втрат енергії в обладнанні. Визначено основні завдання, вирішення яких дозволить підвищити показники якості роботи обладнання та обмеження, що надають суттєвий вплив на вибір методу оптимізації та формування функції мети. Як приклад складена функція енергетичних втрат у нагнітачах, що враховує параметри мережі та власні характеристики нагнітачів. Показано методику визначення функції мінімуму втрат енергії в нагнітачах та алгоритм знаходження втрат енергії за даними, отриманими шляхом апроксимації енергетичних характеристик. Критерій оптимальності як мінімум втрат енергії може бути використаний для будь-якого обладнання енергетики (котел, турбіна, парогазова установка і т.д.) і дозволить забезпечити високі показники якості роботи обладнання.

**Ключові слова:** показники якості, оптимізація, енергозбереження, техніко-економічні показники

*Kaniuk G., Mezerya A., Vasilets T., Keleberda S., Ponomarenko A., Chyrochkin D.*  
“Optimization of Quality Metrics for Technological Processes in Energy Control Objects”

The purpose of the work is to determine a generalized criterion of optimality for quality indicators of technological processes in energy production to use it in automated control systems and enhance energy efficiency. The tasks of static and dynamic optimization are complex (multifactorial) and multi-objective. Their solution is carried out taking into account the variety of factors and constraints affecting the achievement of the optimal goal function. The work considers a typical example of optimization problem (when the objective function is maximized), namely the task of controlling the combustion process in the boiler furnace based on the coefficient of performance, and when minimized – based on the sum of heat losses. The formulation of the dynamic optimization problem of control and output influences over time is demonstrated, ensuring the achievement of specified control criteria for technological processes in transient modes. It is shown that the criterion of optimality can be the minimum energy loss in equipment. The main tasks are identified, the solution of which will improve the performance of the equipment and constraints significantly influencing the choice of optimization method and formation of the goal function. As an example, a function of energy losses in feed pumps, considering network parameters and the pumps' own characteristics, is composed. The methodology for determining the minimum energy loss function in feed pumps and the algorithm for calculating energy losses based on data obtained through approximation of energy characteristics are presented. The optimality criterion as the minimum energy loss can be used for any power equipment (boiler, turbine, combined cycle plant, etc.) and ensure high performance of the equipment.

**Key words:** quality indicators, optimization, energy saving, techno-economic indicators

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

Завдання оптимізації техніко-економічних показників (ТЕП) роботи енергетичних установок вирішуються залежно від режимів устаткування. Проблема енергозбереження є актуальним завданням не тільки в системі електроспоживання промислових підприємств, але і в системах власних потреб електростанцій, в яких втрачається від 4 до 8% всієї енергії, що виробляється.

Основними споживачами власних потреб теплових і атомних електростанцій є насоси і вентилятори (нагнітачі), обладнання котельень і турбінних установок. До основних нагнітальних установок відносяться основні циркуляційні насоси (АЕС), живильні насоси (ТЕС), циркуляційні насоси, димососи, дуттьові вентилятори та ін. На їхню частку припадає до 70% всієї споживаної потужності власних потреб.

У нормальному режимі на перший план висувуються завдання економіки, наприклад мінімізації енергетичних втрат, які мають властивість інтегруватися за часом і змінюватися за абсолютним значенням залежно від навантаження.

У перехідних режимах першочерговими стають завдання технології, наприклад підтримки змін технологічних параметрів в межах припустимих відхилень або якнайшвидшого досягнення фактичною потужністю енергоблоку її нового заданого значення.

До статичної оптимізації відносяться завдання визначення екстремуму функції мети залежно від значень змінних параметрів системи  $y_i$  і впливів  $u_i$ , що управляють, не є функцією часу.

Найбільш поширені завдання статичної оптимізації стосовно систем управління об'єктами ТЕС зводяться до знаходження екстремуму того чи іншого техніко-економічного показника, що використовується як критерій управління, або до пошуку оптимуму співвідношення впливають на нього параметрів системи, наприклад мінімізації питомих витрат палива енергоблокам ТЕС, чи відшукування оптимуму чисельних значень технологічних параметрів, які впливають скорочення енергетичних втрат.

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

Особливістю завдань динамічної оптимізації є дослідження динаміки об'єктів та систем управління в лінійному наближенні і, у зв'язку з цим, широке залучення математичних методів лінеаризації вихідних рівнянь та характеристик.

Зазначені особливості завдань статичної та динамічної оптимізації, що вирішуються при управлінні об'єктами ТЕС та АЕС, відносяться до найпоширеніших випадків, які детально розглянуті в роботах [1, 2, 3, 4].

Найбільш уживані в практиці автоматизованого управління енергообладнанням електростанцій методи статичної та динамічної оптимізації розглянуті в роботах [3, 59].

Методи математичного моделювання енергетичних об'єктів описані у роботах В.О. Дем-ченко [1], А.Х. Горелік [2, 5], М.О. Дуель [3], С.Ф. Артюх [6]. Оптимізації роботи електростанцій викладено в основній стратегії розвитку енергетики України [7], а також в економічній політиці енергозбереження [8, 9]. Вирішення завдання оптимального розподілу навантаження між енергоблоками наведено [10]. Розробляються прецизійні [11], енергозберігаючі [12] та багато-каналні оптимальні регулятори [13]; автоматизовані системи розрахунку та підтримки високих показників якості обладнання [14]. Удосконалюються методи і моделі оптимізації показників якості регулювання [15] та математичне моделювання енергообладнання електростанцій [1, 16, 17]. Але в існуючих роботах бракує загального критерію оптимальності роботи енергообладнання, який міг би служити узагальненим та уніфікованим критерієм якості для систем автоматизованого управління.

### **Постановка мети та завдання дослідження**

Метою роботи є визначення узагальненого критерію оптимальності показників якості технологічних процесів в енергетиці з метою використання його в автоматизованих системах керування та підвищення рівня енергоефективності.

### **Виклад основного матеріалу**

Першою особливістю завдань статичної оптимізації є нелінійний, найчастіше екстремальний характер функції мети в залежності від керуючих впливів, технологічних параметрів або навантаження.

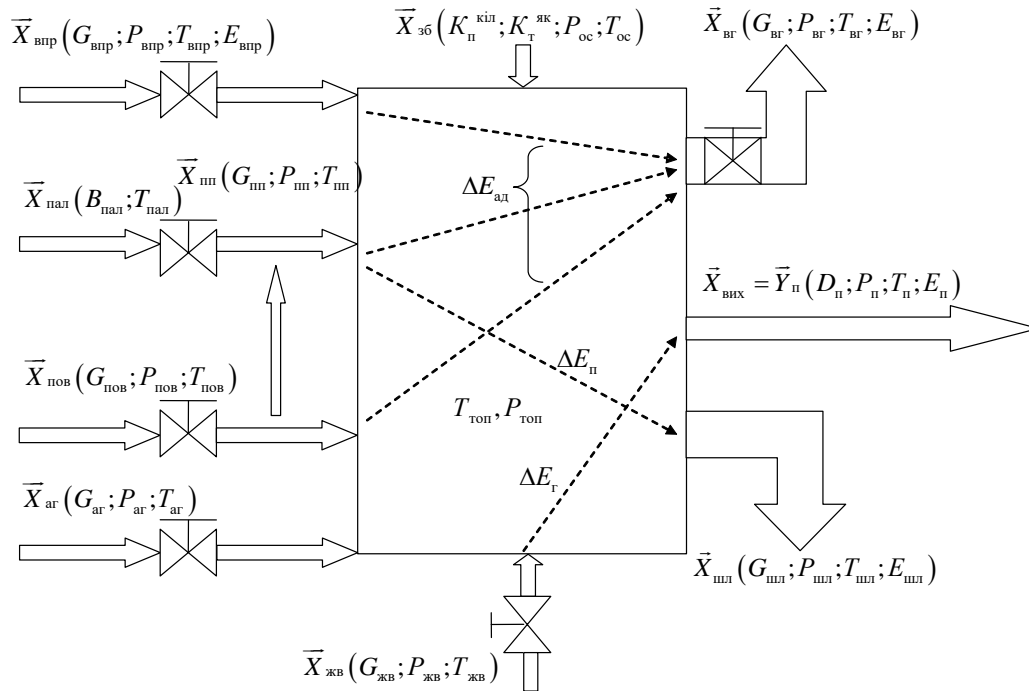
Характерним прикладом задачі оптимізації, коли функція мети  $v_i$  максимізується, служить завдання управління процесом горіння в топці котла ККД (рис.1), коли  $v_i$  мінімізується – управління тим же процесом за сумою теплових втрат.

Як видно з рис.1., в процесі керування приймає участь велика кількість параметрів, до яких належить параметри палива (пал), повітря (пов), живильної води (жв), пари (п), газів, що виходять (вг), активаторів горіння (аг), шлаку (шл), процесів в топці (топ), збурень (зб). Ці параметри характеризуються тиском ( $P$ ), витратою ( $B$ ,  $G$ ,  $D$ ), температурою ( $T$ ) та енергією ( $E$ ). Тобто має місце багатопараметрична оптимізація.

Друга особливість полягає у необхідності врахування різних обмежень, що виникають у процесі вирішення задачі. Наприклад, регулюючі впливи обмежуються за умов матеріальних чи енергетичних ресурсів місцевих систем. Відхилення вихідних координат від розрахункових значень (температури пари по тракту, перепаду тиску на останні щаблі турбін та ін.) лімітуються з міркувань термічної та механічної міцності енергетичних металів та безпеки важкого пошкодження або руйнування енергоустановки.

До динамічної оптимізації відносяться завдання визначення значень керуючих та вихідних впливів у функції часу  $\hat{u}_i(t)$  і  $\hat{y}_i(t)$ , що забезпечують досягнення заданих критеріїв управління для технологічних процесів у перехідних режимах:

$$\hat{v}_i = g[\hat{u}_i(t), \hat{y}_i(t)].$$



**Рис. 1** – Ділянки технологічного процесу котла за основними каналами впливів

Найбільш поширена задача динамічної оптимізації стосовно управління об'єктами електростанцій зводиться до досягнення бажаної форми перехідних процесів  $\hat{y}_i(t)$  при заданих граничних умовах  $y_i(0)$ ,  $y_i(T)$  і детермінованих вхідних сигналах. При обуреннях, що мають випадковий характер, мінімізуються статистичні показники якості технологічного процесу за вибраним параметром  $y_i(t)$ , наприклад, дисперсія, середньоквадратичне відхилення та ін.

У практиці проектування автоматизованих систем управління та його експлуатації вирішується ширше коло завдань. Так, наприклад, при статичній оптимізації розроблені методи пошуку екстремуму функції щільності або оптимуму ТЕП для об'єктів і систем, що мають лінійний характер статичних залежностей  $v_i = g_i(y_i, u_i)$  [3]. Для завдань динамічної оптимізації розроблені методи їх вирішення стосовно систем управління, що мають суттєво нелінійні ланки у своєму складі [2].

Завдання статичної та динамічної оптимізації переслідують різні цілі. Вони вирішуються різними методами, але результати їх рішень тісно пов'язані. Розглянемо особливості деяких завдань, які вирішуються у процесі управління енергоблоками.

Оптимум температур пари по тракту парогенератора, що визначається в результаті вирішення задачі статичної оптимізації, однаково може бути досягнутий за допомогою поверхневого або впорскує пароохолоджувача. Однак далеко важливо, який характер мають перехідні процеси за температурою при змінах навантаження, особливо при її швидких скиданнях або начерках. Тимчасові відхилення температур не повинні виходити за межі допустимих значень. Цього можна досягти лише за допомогою малоінерційного впорску пароохолоджувача. Отже, задачу оптимізації по температурі пари по тракту парогенератора в цілому необхідно вирішувати з урахуванням динамічних характеристик пароохолоджувача та показників якості перехідного процесу.

Перехід з одного рівня навантаження енергоблоку на інший за умовами економічності його роботи, що визначається в результаті розв'язання задачі статичної оптимізації, пов'язаний з переміщеннями більшості регулюючих органів, у тому числі з палива та повітря. При цьому бажано, щоб неузгодженість між витратами палива і повітря в кожен момент часу було мінімальним. В іншому випадку виникають відчутні втрати теплоти з хімічним або

механічним недопалом палива в топці. Останнє завдання можна вирішити лише шляхом динамічної оптимізації, покращуючи якість перехідного процесу помилково регулювання, наприклад по дисперсії або мінімізуючи його інтегральні показники.

Наведені приклади показують, що завдання статичної та динамічної оптимізації є складними (багатофакторними) та багатоцільовими. Їх необхідно вирішувати спільно з урахуванням всього різноманіття факторів і обмежень, що впливають на досягнення оптимуму функції мети. Однак слід враховувати, що в даний час відсутні конструктивні математичні методи для точного вирішення такого роду завдань у повному вигляді. Поряд з цим необхідно мати на увазі, що ТЕП теплоенергетичних об'єктів, які використовуються в якості функцій мети при розв'язанні задач статичної оптимізації, обчислюються за середніми в часі технологічними параметрами. У результаті вони змінюються значно повільніше порівняно з окремими, безперервно регульованими величинами. Отже, труднощі математичного характеру, з одного боку, і специфічні особливості об'єктів енергосистем – з іншого, призводять до необхідності вирішення завдань статичної та динамічної оптимізації як автономних шляхом використання різних математичних методів.

Розглянемо з прикладу нагнітальних установок, які є основними споживачами потреб електростанцій.

Системи управління нагнітальними установками входять до складу загальних технологічних АСУ ТП електростанцій, забезпечуючи підтримку необхідних технологічних параметрів та економічність роботи нагнітачів та основного енергообладнання (котел, конденсатор і т.д.), впливаючи тим самим на економічність роботи станції в загалом. Підвищення техніко-економічної ефективності роботи нагнітачів можливе шляхом створення автоматизованої системи енергозберігаючого управління режимами його роботи [18].

Для аналізу ефективності режимів роботи нагнітача, його характеристики:

$$\begin{cases} H = H(Q, n); \\ N = N(Q, n); \\ \eta = \eta(Q, n), \end{cases} \quad (1)$$

можуть бути апроксимовані лінеаризованими функціями [19]:

$$\begin{cases} H_p = A_H Q_p + B_H n + C_H; \\ N_p = A_N Q_p + B_N n + C_N; \\ \eta_p = A_\eta Q_p + B_\eta n + C_\eta. \end{cases} \quad (2)$$

Функція енергетичних втрат (втрат потужності) при роботі нагнітача у робочій точці може бути визначена таким чином:

$$\Delta N = N_{втр} = N_{спож} - N_{кор}, \quad (3)$$

де  $N_{кор} = H_p Q_p$  – корисна потужність нагнітача..

З урахуванням того, що:

$$N_{кор} = \eta_p N_p, \quad N_{втр}^p = (1 - \eta_p) N_p,$$

або

$$N_{втр}^p = (1 - A_\eta Q_p - B_\eta \cdot n - C_\eta)(A_N Q_p + B_N \cdot n + C_N), \quad (4)$$

функція втрат призводить до вигляду:

$$N_{втр}^p = A_{Q_2} Q_p^2 + A_{n_2} \cdot n^2 + A_Q Q_p + A_n \cdot n + A_{Qn} Q_p \cdot n + C$$

Подача нагнітач (витрата середовища в робочій точці)  $Q_p$  є заданою величиною, що визначається технологічним режимом роботи об'єкта. Вона є функцією двох регульованих параметрів – частоти обертання робочого колеса і положення регулюючої засувки (фактично – і всієї гідравлічної характеристики мережі):

$$H_p = H_{cm} + A_c Q_p^2 + A_{p3} x_{p3} Q_p^2, \quad (5)$$

де

$$A_c = \frac{1}{2g} \sum_{i=1}^n \left[ \lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \left( \sum_{j=1}^m G_{mj} \right) \right] \frac{1}{S_i^2}; \quad A_{p3} = \frac{K_{Gx}^{p3}}{2g S_{p3o}^g};$$

$K_{Gx}^{p3}$  – коефіцієнт пропорційності лінеаризованої функції залежності коефіцієнта місцевого гідравлічного опору засувки від її положення:

$$G_{p3} = K_{Gx}^{p3} x_{p3}. \quad (6)$$

З урахуванням співвідношень (2):

$$(A_c + A_{p3} x_{p3}) Q_p^2 - A_n Q_p + [(H_{cm} - C_n) - B_n n] = 0. \quad (7)$$

З виразу (7) може бути отримана функція залежності подачі в робочій точці насоса від двох регульованих параметрів – частоти обертання робочого колеса  $n$  та положення регулюючої засувки  $x_{p3}$ :

$$Q_p = \frac{A_n + \sqrt{A_n^2 - 4(A_c + A_{p3} x_{p3}) [(H_{cm} - C_n) - B_n n]}}{2(A_c + A_{p3} x_{p3})}, \quad (8)$$

яка замикає вираз залежності втрат потужності (4) від регульованих параметрів.

Лінеаризація функції (8) дасть вираз:

$$Q_p = A_{Qp}^n n + A_{Qp}^{xp3} x_{p3} + C_{Qp}, \quad (9)$$

З урахуванням (8), функція втрат потужності (4) набуде вигляду:

$$N_{втр}^2 = A_{втр}^{n2} \cdot n^2 + A_{втр}^n \cdot n + A_{втр}^{xp32} \cdot x_{p3}^2 + A_{втр}^{xp3} \cdot x_{p3} + A_{втр}^{xp3n} \cdot x_{p3} \cdot n + A_{втр}^0, \quad (10)$$

де:

$$A_{втр}^{n2} = A_{Q2} (A_{Qp}^n)^2 + A_{n2} + A_{Qn} + A_{Qn} \cdot A_{Qp}^n; \quad A_{втр}^{xp3n} = 4A_{Q2} A_{Qp}^n A_{Qp}^{xp3} + A_{Qn} A_{Qp}^n$$

$$A_{втр}^n = 2A_{Q2} A_{Qp}^n C_{Qp} + A_{Q2} A_{Qp}^n + A_n + A_{Qn} C_{Qp}; \quad A_{втр}^{xp32} = A_{Q2} (A_{Qp}^{xp3})^2; \quad A_{втр}^{xp3} = 2A_{Q2} A_{Qp}^{xp3} C_{Qp} + A_{Q2} A_{Qp}^{xp3}.$$

Точка (точки) екстремуму  $M_i(n_i, x_{p3i})$  визначаються за умови:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\Delta N)}{\partial n} = 0 \\ \frac{\partial(\Delta N)}{\partial x} = 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Точка екстремуму функції:

$$M \left( -\frac{B_1}{2A_1}; -\frac{B_2}{2A_2} \right). \quad (12)$$

Втрати енергії в точці  $M$  (мінімум функції втрат), матимуть таке значення:

$$\Delta N_M = A_1 \frac{B_1^2}{4A_1^2} - \frac{B_1^2}{2A_1} + A_2 \frac{B_2^2}{4A_2^2} - \frac{B_2^2}{2A_2} + A_0 = -\frac{B_1^2}{2A_1} - \frac{B_2^2}{2A_2} + A_0 \quad (13)$$

Рівняння (13) відображає реальний рівень втрат енергії в нагнітачі та визначає техніко-економічні показники його роботи

### **Висновки**

1. Розглянуто питання статичної та динамічної оптимізації технологічних процесів на електростанціях з метою визначення уніфікованого критерію оптимальності техніко-економічних показників, що є основними показниками якості виробництва. Визначено основні завдання, вирішення яких дозволить підвищити показники якості роботи обладнання та обмеження, що надають істотний вплив на вибір методу оптимізації та формування функції мети.

2. Показано, що критерієм оптимальності може бути мінімум втрат енергії в устаткуванні. Як приклад складено функцію енергетичних втрат у нагнітачах, яка враховує параметри мережі та власні характеристики нагнітача.

3. Показано методику визначення функції мінімуму втрат енергії в нагнітачах та алгоритм знаходження втрат енергії за даними, отриманими шляхом апроксимації енергетичних характеристик.

4. Критерій оптимальності як мінімум втрат енергії може бути використаний для будь-якого обладнання енергетики (котел, турбіна, парогазова установка і т.д.) і дозволить забезпечити високі показники якості роботи обладнання.

### **Список використаних джерел:**

1. Демченко В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В. А. Демченко. – Одесса : Астропринт, 2001. – 308 с.
2. Александров Е. В. Дисплейное управление в АСУ ТП атомных электростанций / Е. В. Александров, А. Х. Горелик, И. Д. Розенбаум // *Энергетика и электрофикация*. – 2010, – № 12. – С. 30-35.
3. Дуэль М. А. Автоматизированные системы управления энергоблоками тепловых и атомных электростанций / М. А. Дуэль. – Харьков : ЧП "КиК", 2006. – 420 с.
4. Плетнев Г. П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций / Г. П. Плетнев. – М. : Изд-во МЭИ, 1995. – 352 с.
5. Горелик А. Х. Автоматизовані системи управління технологічними процесами ТЕС та АЕС / А. Х. Горелик. – Харків : НТУ "ХПІ", 2004. – 236 с.
6. Артюх С. Ф. Автоматизовані системи керування технологічними процесами в енергетиці / С. Ф. Артюх, М. А. Дуэль, І. Г. Шелепов. – Харків : Знання, 2001. – 416 с.
7. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332> (дата звернення 15.12.2023)
8. Оцінка енергетичної політики України в порівнянні з кращими європейськими практиками реалізації політики у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики [Електронний ресурс] / Д. Вайс, В. Каленборн, Г. Брандл та ін. ; за ред. Д. Вайса. – Київ, 2014. – Режим доступу : [http://journal.esco.co.ua/esco/2015\\_3\\_4/log/art45.pdf](http://journal.esco.co.ua/esco/2015_3_4/log/art45.pdf). (дата звернення 15.12.2023)
9. Халатов А. А. Энергетика Украины: сучасний стан та найближчі перспективи / А. А. Халатов // *Вісник НАН України*. – 2016. – № 6. – С. 53-61.
10. Анализ методов и моделей оптимального распределения нагрузок между энергогенерирующими объектами / А. В. Ефимов, Т. В. Потанина, Д. И. Кухтин, В. Л. Каверцев, Т. А. Гаркуша // *Вестник НТУ «ХПИ»: Серия «Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование»*. – 2015. – № 16. – С. 117-123.
11. Unified basic software and hardware complex for precision energy-saving system of automatic regulation and control / G. Kanjuk, A. Mezerya, V. Kniazieva, D. Khoroshun, T. Fursova // *Radio Electronics Computer Science Control*. – 2019. – № 2. – С. 202-209.
12. Підвищення точності виміру та контролю параметрів систем паливоподачі парових котлів електростанцій // Г. І. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. В. Хоменко, Т. Ю. Василець, Т. М. Фурсова // *Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад.* – Харків, 2022. – Вип. 29. – С. 80-88.
13. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності обладнання котельних установок теплоелектростанцій шляхом підвищення якості вимірювань їх технологічних параметрів / Г. І. Канюк, Т. М.

Фурсова, А. Ю. Мезеря, О. А. Долматов, С. О. Заїка, П. Р. Галинський // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2023. – Вип. 31. – С. 42-49.

14. Любчик Л. М. Коррекция автоматизированного расчета технико-экономических показателей энергоблока / Л. М. Любчик, Г. Л. Гринберг // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Тематичний вип.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – Вип. 19.

15. A data-driven methodology to support pump performance analysis and energy efficiency optimization in Waste Water Treatment Plants / Dario Torregrossa, Joachim Hansen, France scHernández-Sancho, Alex Cornelissen, George sSchutz, Ulrich Leopold // *Applied Energy*. – 2017. – Vol. 208. – P. 1430–1440.

16. Северин В. П. Математическое моделирование парогенератора атомного энергоблока / В. П. Северин, Е. Н. Никулина // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – 2006. – № 19. – С. 145-150.

17. Olszewski P. Genetic optimization and experimental verification of complex parallel pumping station with centrifugal pumps / Pawel Olszewski // *Applied Energy*. – 2016. – Vol. 17. – P. 527–539.

18. Резервы энергосберегающего управления технологическими процессами на действующих ТЭС и АЭС / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, Д. В. Михайский, И. П. Лаптинов, А. Р. Фокина. – Харьков : Точка, 2012. – 184 с.

19. Энергосберегающее управление и повышение технико-экономической эффективности насосных установок тепловых и атомных электростанций / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, А. Р. Фокина, Е. В. Лаптинова, И. П. Лаптинов // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2012. – № 3/8 (57). – С. 58-62.

#### Reference:

1. Demchenko, VA 2001, *Avtomatizatsiya i modelirovanie tehnologicheskikh protsessov AES i TES [Automation and modeling of technological processes of nuclear and thermal power plants]*, Astroprint, Odessa.

2. Aleksandrov, EV, Gorelik, AH & Rozenbaum, ID 2010, 'Displeynoe upravlenie v ASU TP atomnykh elektrostantsiy' [*Display control in the ACS TP of nuclear power plants*], *Energetika i elektrofikatsiya*, no 12, Pp. 30-35

3. Duel, MA 2006, *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya energoblokami teplovykh i atomnykh elektrostantsiy [Automated control systems for the power units of thermal and nuclear power plants]*, ChP "KiK", Harkiv.

4. Pletnev, GP 1995, *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya ob'ektami teplovykh elektrostantsiy [Automated control systems for the facilities of thermal power plants]*, Izd-vo MEI, Moskva.

5. Gorellk, AH 2004, *Avtomatizovani sistemi upravlnnny tehnologichnimi protsesami TES ta AES [Automated control systems for the technological processes of thermal power plants and nuclear power plants]*, NTU "HPI", Harkiv.

6. Artyuh, SF, Duel, SF & Shelepov, IG 2001, *Avtomatizovani sistemi keruvannya tehnologichnimi protsesami v energetitsi [Automated control systems for technological processes in the energy sector]*, Znannya, Harkiv.

7. Kabinet Ministriv Ukrayini n. d., *Nova energetichna strategiya Ukrayini do 2035 roku: «Bezpeka, energoefektivnist, kon-kurentospromozhnist» [New Energy Strategy of Ukraine until 2035: 'Security, Energy Efficiency, Competitiveness']*, viewed 15 December 2023 <<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>>

8. Vays, D, Kalenborn, V, Brandl, G & Vaysa, D (ed) 2014, *Otsinka energetichnoyi politiki Ukrayini v porivnyanni z kraschimi Evropeyskimi praktikami realizatsiyi politiki u sferi energoefektivnosti ta vidnovlyuvanoyi energetiki [Assessment of Ukraine's energy policy compared to the best European practices in implementing policies in the field of energy efficiency and renewable energy]*, Kyiv.

9. Halatov, AA 2016, 'Energetika Ukrayini: suchasniy stan ta nayblizhchi perspektivi' [*Energy Sector in Ukraine: Current State and Near-Term Perspectives*], *Visnik NAN Ukrayini*, no 6, Pp. 53-61.

10. Efimov, AV, Potanina, TV, Kuhtin, DI, Kavertsev, VL & Garkusha, TA 2015, 'Analiz metodov i modeley optimalnogo raspredeleniya nagruzok mezhdru energogeneriruyuschimi ob'ektami' [*Analysis of methods and models for optimal load distribution among power generation facilities*], *Vestnik NTU «HPI»: Seriya «Energeticheskie i teplotekhnicheskie protsessy i oborudovanie»*, no 16, Pp. 117-123.

11. Kanyuk, GI, Mezerya, A, Kniazieva, V, Khoroshun, D & Fursova, T 2019, 'Unified basic software and hardware complex for precision energy-saving system of automatic regulation and control' [*Unified basic software and hardware complex for precision energy-saving system of automatic regulation and control*], *Radio Electronics Computer Science Control*, no 2, Pp. 202-209.

12. Kaniuk, GI, Mezeria, A, Khomenko, V, Vasylets, T & Fursova, T 2022, 'Pidvyshchennia tochnosti vymiru ta kontroliu parametriv system palyvopodachi parovykh kotliv elektrostantsii' [*Improving the accuracy of measurement and control of parameters in the fuel supply systems of steam boilers at power plants*], *Mashynobuduvannia*, iss 29, Pp. 80-88.

13. Kaniuk, GI, Fursova, TM, Mezeria, AY, Dolmatov, OA, Zaika, SO & Halynskiy, PR 2023, 'Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti ta efektyvnosti obladnannya kotelnykh ustanovok teploelektrostantsii shliakhom pidvyshchennia yakosti vymiriuvan yikh tekhnolohichnykh parametriv' [*Improving the operational reliability and efficiency of boiler equipment at thermal power plants by enhancing the quality of measurement of their technological parameters*], *Mashynobuduvannia*, iss 31, Pp. 42-49.

14. Lyubchik, LM & Grinberg, GI 2006, 'Korrektsiya avtomatizirovannogo rascheta tehniko-ekonomicheskikh po-kazateley energobloka' [*Correction of automated calculation of technical and economic indicators of power units*],



*Visnik Natsionalnogo tehnicnogo unive-rsitetu «Harkivskiy politehnicniy Institut». Tematicniy vipusk: Sistemniy analiz, upravlinnya ta Informatsiyni tehnologiyi*, iss 19.

15. Torregrossa, D, Hansen, J, scHernández-Sancho, F, Cornelissen, A, sSchutz, G & Leopold, U 2017, 'A data-driven methodology to support pump performance analysis and energy efficiency optimization in Waste Water Treatment Plants', Vol. 208, Pp. 1430–1440.

16. Severin, VP & Nikulina, EN 2006, 'Matematicheskoe modelirovanie parogeneratora atomnogo energobloka' [*Mathematical modeling of a steam generator of a nuclear power unit*], *Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Harkivskiy politehnicniy Institut»*, no 19, Pp. 145-150.

17. Olszewski, P 2016, 'Genetic optimization and experimental verification of complex parallel pumping station with centrifugal pumps', *Applied Energy*, Vol. 17, Pp. 527–539.

18. Kanyuk, GI, Mezerya, AY, Mihayskiy, DV, Laptinov, IP & Fokina, AR 2012, *Rezervyi energosberegayuschego upravleniya tehnologicheskimi protsessami na deystvuyuschih TES i AES* [*Reserves of energy-saving control of technological processes at operating TPPs and NPPs*], Tochka, Harkov.

19. Kanyuk, GI, Mezerya, AY, Fokina, AR, Laptinova, EV & Laptinov, IP 2012, 'Energosberegayushee upravlenie i povyishenie tehniko-ekonomicheskoy effektivnosti nasosnyih ustanovok teplovyih i atomnyih elektrostantsiy' [*Energy-saving control and improvement of the technical and economic efficiency of pumping units at thermal and nuclear power plants*], *Shidno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy*, no 3/8 (57), Pp. 58-62.

Стаття надійшла до редакції 17 грудня 2023 року.