

DOI 10.32820/2079-1747-2022-30-51-60  
УДК [621.313.322:681.51]:006.85

## **ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КОНДЕНСАТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН**

© **Чеботарьов А.М., Бондаренко Ю.О.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про авторів:**

**Чеботарьов Антон Миколайович (Chebotarev Anton):** ORCID: 0000-0003-2751-5293; [chebotaryov.an@gmail.com](mailto:chebotaryov.an@gmail.com); аспірант заочного відділення, Українська інженерно-педагогічна академія, кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Бондаренко Юрій Олександрович (Bondarenko Yurii):** ORCID: 0000-0003-2751-5293; [yuri94bondarenko@gmail.com](mailto:yuri94bondarenko@gmail.com); аспірант, Українська інженерно-педагогічна академія, кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті проведено аналіз та удосконалено систему технічної діагностики елементів систем низькопотенційних комплексів (конденсатори, циркуляційні та конденсатні насоси, ежектори) теплових і атомних електростанцій. Визначені перспективи підвищення ефективності роботи систем технічної діагностики елементів низькопотенційних комплексів шляхом одночасного використання в системах технічної діагностики експертних оцінок та ефективних алгоритмів, що дозволяє врахувати всі можливі режими роботи обладнання, вирішувати завдання, які важко формалізуються або завдання, які не мають алгоритмічного рішення. Експертна оцінка проводиться за результатами моніторингу, у тих випадках, коли джерело та причини відмови не очевидні, що дозволяє ефективно використовувати досвід експлуатаційного та оперативного персоналу електростанцій. Визначено основні функції системи технічної діагностики низькопотенційних комплексів. Визначено параметри, які суттєво впливають на теплообмін в конденсаторі та в значній мірі визначають енергетичну ефективність роботи парових турбіни теплових і атомних електростанцій особливо на часткових навантаженнях енергоблоку. До таких параметрів відносяться тиск відпрацьованої в турбіні пари і температурний напір в конденсаторі при заданих значеннях витрати пари та охолоджувальної води у конденсаторі турбіни; температури охолоджуючої води на вході в конденсатор. Наведено співвідношення для визначення цих параметрів. Визначені фактори, які необхідно враховувати при розробці систем технічної діагностики. Наведено основні етапи роботи системи технічної діагностики елементів низькопотенційних комплексів, повний алгоритм операцій системи технічної діагностики та алгоритм визначення ступеня забруднення трубок конденсаторів, який є найбільш характерним в умовах експлуатації енергоблоків теплових і атомних електростанцій та суттєво впливає на процеси теплообміну та енергетичну ефективність парових турбін. Системи технічної діагностики можуть бути реалізовані або як спеціалізовані підсистеми у складі АСУ ТП енергоблоків, або як окремі автономні системи.

**Ключові слова:** діагностика, низькопотенційний комплекс, конденсатор.

**Chebotarev A., Bondarenko Yu.** “Increasing the level of information use in technical diagnostic systems of steam turbine condensers”.

The article analyzes and presents an advanced system of technical diagnostics of elements of low-potential complexes (condensers, circulation and condensate pumps, ejectors) at thermal and nuclear power plants. The paper defines certain prospects of increasing the efficiency of the functioning of systems of technical diagnostics of elements of low-potential complexes by means of

simultaneously using expert evaluation and efficient algorithm. This allows taking into account all possible states of working equipment, and solving badly formalized problems or problems which have no algorithmic solution.

Expert evaluation is carried out based on monitoring results, in cases where the source and reasons for the failure are not obvious, which allows for effective use of the experience of operational and operational staff of power plants. The main functions of the system of technical diagnostics of low-potential complexes are singled out. The parameters that significantly affect the heat exchange in the condenser and largely determine the energy efficiency of steam turbines of thermal and nuclear power plants, especially at partial loads of the power unit, are determined. Such parameters include the pressure of the steam exhausted in the turbine and the temperature pressure in the condenser at the given values of the flow rate of steam and cooling water in the turbine condense, and the temperature of the cooling water at the inlet to the condenser. The ratio for determining these parameters is given. The factors that must be taken into account when designing systems of technical diagnostics are defined. The main stages of the system of technical diagnostics of elements of low-potential complexes, the full algorithm of operations of the technical diagnostics system and the algorithm for determining the degree of pollution of condenser tubes, which is most characteristic in the operating conditions of power units of thermal and nuclear power plants and significantly affects the processes of heat exchange and energy efficiency of steam turbines, are presented. Technical diagnostics systems can be implemented either as specialized subsystems in the ACS of power units, or as separate autonomous systems.

**Keywords:** diagnostics, low-potential complex, condenser.

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

Загострення проблем у паливно-енергетичному комплексі і погіршення екологічної ситуації диктує необхідність нового підходу до рішення проблем підвищення економічності та екологічних характеристик теплових і атомних електростанцій. У зв'язку із цим, в енергетичній галузі велика увага стала приділятися низькопотенційним комплексам електростанцій як структурних одиниць енергоблоків, що безпосередньо суттєво впливають на економічність їхньої експлуатації за рахунок впливу на кінцеві параметри пари та на витрату електроенергії на власні потреби [1]. Велика частка всієї енергії (30-40%), яка виробляється котлом або реактором втрачається в конденсаторі, який підтримує необхідний рівень вакууму на виході з парової турбіни. Основним обладнанням низькопотенційного комплексу є конденсатор, циркуляційний і конденсатний насоси та ежектор.

Згідно з даними Запорізької АЕС, половина всієї недовиробки енергії приходить на погані умови теплообміну в конденсаторі та складає щорічно майже 1,5 млрд. кВт·год [2, 3]

Діагностування енергоустановок є одним із найбільш ефективних способів підвищення економічності, надійності, довговічності, екологічності та соціально-економічної ефективності теплових електростанцій в умовах їхньої тривалої експлуатації, тому своєчасне визначення характеристик конденсаторів та елементів систем низькопотенційних комплексів (НПК) з метою запобігання погіршення теплообміну в конденсаторі, являє собою важливу й актуальну науково-практичну задачу. Ця задача може бути вирішена шляхом підвищення рівня використання інформації в системах технічної діагностики елементів НПК та удосконалення алгоритмів діагностики.

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

Дотепер накопичений багатий науковий матеріал теорії керування та діагностики НПК. У цей час питаннями ефективного керування елементами НПК займається ряд

відомих наукових шкіл і колективів як на Україні, так і в зарубіжжі. Визначені резерви при керуванні елементами НПК [4, 5], розвивається теорія енергозберігаючого керування [6], проводиться модернізація сучасних систем керування [7, 8] та оптимізація параметрів і режимів робот НПК [9, 10]. Проводяться дослідження нормативного забезпечення щодо ефективності роботи НПК з метою його удосконалення [11]. Багато наукових рішень втілено в практику експлуатації електростанцій [12, 13], в тому числі з метою діагностики елементів НПК [1, 14].

Незважаючи на велику кількість наукових робіт в цьому напрямку, питання удосконалення систем діагностики елементів НПК є актуальним. Удосконалення інформаційно-вимірвальної техніки, підвищення точності визначення параметрів та погіршення стану обладнання, обумовлене фізичним та моральним зносом, висуває більш жорсткі вимоги до систем діагностики.

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

Метою досліджень є удосконалення систем діагностики системи НПК шляхом використання експертних оцінок та ефективних алгоритмів своєчасного виявлення погіршення вакууму в конденсаторі та інших ненормальних режимів роботи елементів НПК з функцією встановлення причин їх виникнення.

### **Виклад основного матеріалу**

Система технічного діагностування та управління (СТДУ) НПК електростанцій призначена для підвищення економічності, надійності, довговічності та екологічної чистоти енергоблоків.

До цього часу контроль та технічна діагностика конденсаційних установок зазвичай здійснювалися у двох формах: аналізу, що проводиться за допомогою алгоритмів та вимірвальних засобів АСУ ТП та систем автоматичного контролю, висновків та рекомендацій, отриманих на основі періодичних та регламентованих ПТЕ випробувань, здійснюваним персоналом цеху налагодження ТЕС або зовнішніх організацій. Застосування системи оперативної діагностики з урахуванням ЕОМ дозволяє як збільшити обсяг аналізованої інформації.

Підвищити періодичність контролю для оперативного відстеження та діагностування особливостей та змін станів конденсаційної установки, а також реалізувати більш високий рівень аналізу, даючи деякі прогностні оцінки та безпосередні рекомендації персоналу, що полегшують управління та підтримку економічних режимів роботи обладнання.

Застосування експертних систем для діагностики та аналізу роботи такої багатофакторної системи, якою є конденсаційна установка, дуже доцільно, так як вони призначені для вирішення задач, що важко формалізуються або завдань, що не мають алгоритмічного рішення. З'являється можливість підвищення рівня експлуатації обладнання під час використання у повсякденній практиці знань висококваліфікованих експертів, які беруть участь у виробленні вирішення завдань оперативного контролю та діагностики.

Включення в систему діагностики експертної системи дозволяє при встановленні причин порушень у роботі конденсаційної установки подолати труднощі, пов'язані з неоднозначністю поведінки обладнання, а також отримувати достовірні висновки при неповній та фрагментній інформації.

Програмна оболонка експертної системи включає базу знань, що містить у формалізованому вигляді експертну інформацію про можливі порушення в роботі елементів конденсаційної установки конкретного турбоагрегату. Конкретне заповнення основи знань, тобто. формування її змісту та встановлення апріорних ймовірностей гіпотез та "ціни" свідочств проводяться методом експертних оцінок із залученням фахівців, що працюють з

тепломеханічним обладнанням ТЕС, при цьому враховується специфіка роботи обладнання на конкретній електростанції.

При переході від моніторингу наступного рівня діагностики, тобто. до експертної системи, програма звернеться до результатів, отриманих на першому рівні, проаналізує їх і запросить інформацію, що не вистачає, з бази даних або у користувача. Отримані відповіді будуть формалізовані залежно від ступеня їхньої визначеності, і отримана таким чином "ціна" кожного свідчення буде врахована при розрахунку апостеріорної ймовірності всіх гіпотез і зробить остаточний висновок про причину несправності.

Після встановлення причин наявних несправностей система діагностики може дати рекомендації персоналу щодо способів усунення діагностованих порушень та деякі прогнозні оцінки щодо, наприклад, визначення терміну чищення поверхні конденсатора, якщо причиною порушення є забруднення трубок.

Система забезпечує:

- технічну діагностику обладнання НПК з метою підвищення надійності, довговічності та екологічної чистоти енергоблоків;
- оптимізацію режимів роботи та експлуатації енергоблоків з урахуванням графіків енергетичних навантажень, справності обладнання, екологічної та метеорологічної обстановки;
- підвищення надійності роботи енергоблоків;
- збільшення міжремонтних періодів експлуатації енергетичного обладнання; – вибір оптимальних видів ремонтів, модернізації та реконструкції;
- зниження ступеня забруднення навколишнього середовища;
- скорочення витрат палива та водних ресурсів.

Система передбачає збір інформації про параметри енергоносіїв та стан обладнання з максимальним використанням штатних приладів, накопичення бази даних, обробку інформації на ЕОМ та видачу рекомендацій. Вона може працювати як автономно, так і у складі АСУТП енергоблока (у режимі підсистеми).

Реалізація СТДУ НПК можлива у межах різних моделей [15]:

- мінімальної, що забезпечує програмно-інструментальні засоби для інженерів ТЕС з оперативного контролю (моніторингу) параметрів стану елементів установки в обсязі прийнятому на електростанції, зіставлення фактичних значень параметрів з нормативними, а також побудова ретроспективи параметрів стану установки та виявлення тенденцій їх зміни, що особливо важливо при низькій надійності та точності показань вимірювальних засобів;
- максимальної, що містить не тільки підсистеми збору та обробки інформації, але й реалізує крім моніторингу завдання вищого рівня, експертні завдання з виявлення причин порушень у роботі обладнання та оптимізаційні завдання, такі як, наприклад, оптимізація роботи системи, оптимізація термінів чищення та заміни трубок поверхні теплообміну тощо;
- інженерної, що займає проміжне положення за обсягом і складністю між першими двома.

Загальноприйнятим методом контролю за роботою конденсаційної установки є регулярне порівняння фактичних експлуатаційних показників його роботи з нормативними показниками, отриманими на підставі випробувань однотипного обладнання при свідомо справному та чистому стані всіх елементів установки

Для своєчасного та якісного проведення перерахованих вище заходів здійснюється безперервний контроль параметрів.

До основних параметрів, що характеризують роботу НПК, відносяться тиск відпрацьованої в турбіні пари ( $P_K$ ) і температурний напір в конденсаторі ( $\delta T$ ) при заданих значеннях:

- витрати пари ( $D_K$ ) та охолоджувальної води ( $G_B$ ) у конденсаторі турбіни;
- температури охолоджуючої води на вході в конденсатор ( $T_{B1}$ ).

Ці параметри визначають рівень термодинамічного досконалості циклу турбоустановки, характеризуючи величину теплоперепаду залежно від кінцевого тиску. Одночасно вони дають можливість оцінки впливу НПК та енергоблоку на довкілля.

Визначення тиску відпрацьованої пари ( $P_k$ ) проводиться шляхом безперервного вимірювання штатними контрольно-вимірвальними приладами (КВП). Безперервний контроль з використанням штатних КВП ведеться за параметрами, перерахованими вище.

Значення температурного напору ( $\delta T$ ) визначається як різниця температур пари на вході в конденсатор ( $T_{кп}$ ) та охолоджуючої води на виході з конденсатора ( $T_{2в}$ ), тобто

$$\delta T = T_{кп} - T_{2в}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Витрата пари в конденсатор може бути визначена з урахуванням витратного коефіцієнта ( $K_{п}$ ), зазначеного в нормативних характеристиках для кожного типу турбін, за формулою:

$$D_k = K_{п} \cdot P_{п}, \text{ т/год} \quad (2)$$

де  $K_{п}$  – витратний коефіцієнт (т/год)/МПа;

$P_{п}$  – тиск пари в контрольному ступені, МПа.

Крім цього, витрата пари ( $D_k$ ) може бути визначена з розрахунку теплової схеми турбоустановки. Цей метод в даний час більш кращий для турбоустановок, що тривалий час в експлуатації і зазнали значного фізичного зносу. Тим більше, що використання ЕОМ при розрахунку схеми спрощує цей метод і підвищує його точність.

Витрата охолоджувальної води  $G_v$  може бути визначена або за допомогою витратоміра, або за характеристикою циркуляційного насоса, або за витратою електроенергії та на насос насоса (при заданому тиску нагнітання  $P_{щн}$ , тиску на всмоктуванні в насос  $P_{цв}$  і ККД насоса  $\eta_{щн}$ ). Однак на практиці витрати охолоджувальної води для потужних енергоблоків частіше визначають із теплового балансу конденсатора:

$$G_v = \frac{D_k (h_k - h'_k)}{\Delta T_v \cdot C_v}, \text{ кг/год} \quad (3)$$

де  $D_k$  – витрата пари в конденсаторі, кг/год;

$h_k, h'_k$  – відповідно, ентальпії пари і конденсату, кДж/кг;

$C_v$  – теплоємність води, кДж/(кг  $^\circ\text{C}$ );

$\Delta T_v$  – нагрів води в конденсаторі,  $^\circ\text{C}$ .

Чистота поверхні трубок конденсатора визначається також аналітично з використанням значень: коефіцієнта теплопередачі пари, конденсату, температурного напору, температур і витрати охолоджувальної води або методами, пропонуваними нижче.

Найбільш простим методом визначення коефіцієнта теплопередачі  $K$  у конденсаторі є розрахунок його за формулою:

$$K = \frac{C_v \cdot G_v \cdot \ln \frac{\delta T - \Delta T_v}{\delta T}}{F_k}, \text{ Вт/}^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 \quad (4)$$

де  $F_k$  – поверхня охолодження конденсатора,  $\text{м}^2$ ;

$\delta T$  – температурний напір в конденсаторі,  $^\circ\text{C}$ .

Експертна оцінка проводиться за результатами моніторингу, у тих випадках, коли джерело та причини відмови не очевидні. У цих випадках експлуатаційний персонал або ЕОМ звертаються до банку даних щодо відмов, які введені на згадку про ЕОМ, або до експерта. Експертом має бути висококласний фахівець із числа працівників ТЕС.

До банку даних вносять енергетичні характеристики конденсаторів, насосів, ежекторів тощо. Крім цього, вносять характеристики відмов в елементах НПК (їх причини, джерела, періодичність відмов).

До висновку належить – рекомендації щодо оптимізації режиму НПК.

До завдання оптимізації НПК входить:

– вибір оптимального варіанту з можливих (за економічності, надійності та екологічності);

– приведення НПК в оптимальний стан.

При розробці СТДУ НПК враховуються такі фактори:

- вимірювання параметрів та обробка результатів здійснюється безперервно, періодично або епізодично;

- параметри визначаються шляхом прямих вимірів з використанням КВП;

- інтегральний вимір параметрів (за показаннями кількох приладів);

- аналітичний вимір параметрів, переважно видаткових;

- інтегральний вимір із використанням приладів контролю та аналітичних вимірювань. Під виміром параметрів мається на увазі визначення параметрів за допомогою КВП та обробка результатів з урахуванням похибок системи вимірювання та інших факторів.

Розробка алгоритму СТД НПК включає [1, 5, 15]:

- вибір оптимальної кількості параметрів, що характеризують роботу та стану НПК;

- накопичення бази даних щодо відмов у роботі НПК та енергоблоку;

- нагромадження бази даних за способами локалізації відмов.

Послідовність операцій, що виробляються системою, зображена на рис. 1.

Основними етапами роботи системи є [1, 5, 15]:

- контроль поточних значень параметрів ( $P_{ki}$ ,  $X_{ki}$  і т.і.);

- порівняння параметрів ( $P_{ki} = P_{k0}$ ) і видача сигналу;

- при  $P_{ki} = P_{k0}$  продовжити виконання заданого режиму експлуатації.

- при  $P_{ki} = P_{k0}$  та необхідності переходу на новий режим роботи зробити вибір оптимального режиму з урахуванням зовнішніх умов  $N_{ei}$ ,  $Q_{mi}$ ,  $T_{нвi}$  і т.і.;

- при  $P_{ki} \neq P_{k0}$ :

- повторно перевірити коректність заміру параметра прямим та непрямим заміром

$P_{ki} = f(T_{ki}, T_{2vi} \dots)$ ;

- перевірити  $\frac{\Delta P_{ki}}{\Delta t} \geq 0$ .

Далі алгоритм наступний:

1. У випадку  $\frac{\Delta P_{ki}}{\Delta t} = 0$  (відмова не розвивається). Продовжити пошук джерела відмови;

2. У разі, якщо: джерело відмови не знайдено, але  $\Delta P_{ki} / \Delta t = 0$  необхідно вибрати оптимальний режим роботи НПК, енергоблоку, станції.

3. Джерело відмови не знайдено, але  $\Delta P_{ki} / \Delta t > 0$  – необхідно вимикати енергоблок.

4. При  $\Delta P_{ki} / \Delta t > 0$  – відключити енергоблок (або ввести резервний елемент НПК).

5. Після усунення, локалізації джерела відмови:

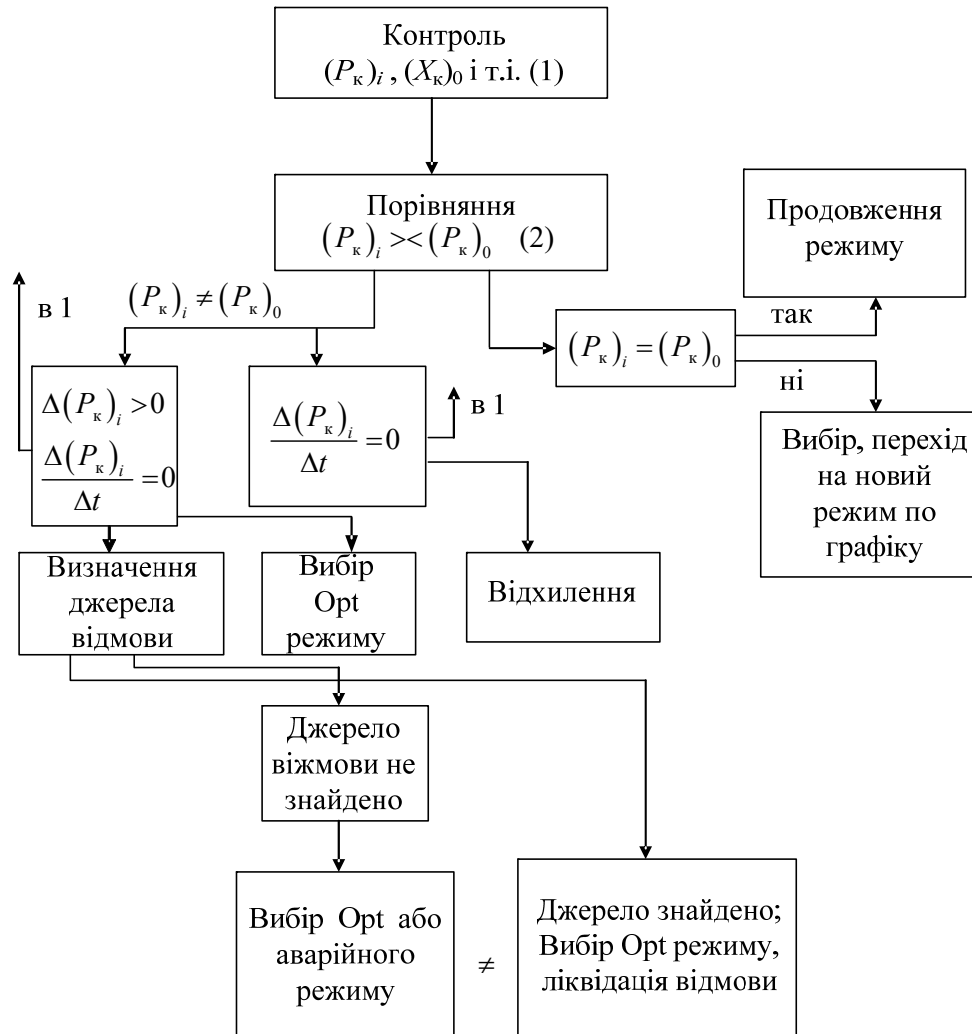
5.1. повторити пп. 1-2, 4.

Для математичного забезпечення системи можна використовувати математичні моделі елементів НПК [15]:

- останнього ступеня турбіни;

- конденсатора турбіни;

- системи водопостачання



**Рис. 1** – Алгоритм операцій системи технічної діагностики НПК

Визначення ступеня забруднення трубок конденсаторів є найбільш характерним в умовах експлуатації енергоблоків ТЕС і АЕС. Алгоритм вирішення цього завдання включає наступні операції [1, 5, 15]:

1. Визначення масових витрат:

– пари  $D_2$ ; – води  $G_{цв}$ ; – конденсату  $G_K$ ;

2. Визначення масових витрат пари і води, в залежності від режиму роботи енергоблоків:

– води  $G_{цв} = f(D_2)$ ; – пари  $D_2 = f(G_{цв})$ ; – пари  $D_2 = f(G_K)$ ;

3. Визначення термодинамічних параметрів пари, води, конденсату  $P_K, T_K, h_K, X_K; T_{в1}, T_{в2}, h'_{в1}, h'_{в2}, P_1^B, P_2^B, T_{кн}, h'_{кн}$ ;

4. Визначення коефіцієнта теплопередачі (з рівняння теплопередачі)

$$Q_K = K \cdot F_K \cdot \Delta T = D_K \cdot q_K = G_{цв} \cdot (h'_{в2} - h'_{в1}). \quad (5)$$

4.1. Визначення температурного напору:

$$\Delta T = T_{кн} - T_2^B; \quad (6)$$

4.2. Визначення:  $q_K = h_K - h'_{кн}$ ;

4.3. Визначення:  $\Delta h'_в = h'_{в2} - h'_{в1}$ ;

4.4. Визначення поверхні охолодження конденсатора:

$$F_k = \pi \cdot d_2 \cdot l \cdot Z, \quad (7)$$

де:  $Z$  – кількість діючих трубок в конденсаторі, (виключаються заглушені);  $l$  – довжина трубки (в одному ході), (м);  $d_2$  – зовнішній діаметр трубки, (м).

4.5. Визначення теплового навантаження конденсатора:

$$Q = D_2 \cdot q_k = G_{цв} \cdot \Delta h'_в; \quad (8)$$

4.6. Визначення коефіцієнта теплопередачі:

$$K = \frac{Q_k}{\Delta T \cdot F_k}; \quad (9)$$

5. Визначення питомого парового навантаження конденсатора:

$$d_k = D_2 / F_k, \text{ (кг/с)/м}^2; \quad (10)$$

6. Визначення швидкості води в трубках конденсатора:  $w = \frac{Q_{цв} \cdot 10^6}{f \cdot 3600}$ ,

де:  $f = \pi \cdot d_1^2 Z_1 / 4$  – площа прохідного перетину трубок в одному ході, м<sup>2</sup>;

$Z_1$  – число діючих трубок в одному ході, шт;

$d_1$  – внутрішній діаметр трубки конденсатора, м;

7. Визначення зміни опору конденсатора:

$$\Delta P = \Delta P_i - \Delta P_0; \quad (11)$$

8. З формули для визначення гідравлічного опору

$$\Delta P = 9,81 \cdot Z_1 \left( \frac{C \cdot l}{\alpha_c} Q_{цв}^{1,75} + 0,135 Q_{цв}^{1,75} \right) \quad (12)$$

визначаємо коефіцієнт стану трубок:

$$\alpha_c = \frac{9,81 \cdot Z_1 \cdot C \cdot l \cdot Q_{цв}^{1,75}}{\Delta P - 9,81 \cdot 0,135 Q_{цв}^{1,5} \cdot Z_1}$$

Тут:  $C = f(d_1, T_в)$  – множник;  $l$  – довжина трубки (в ході);

$\Delta P = P_1^в - P_2^в$  – гідравлічний опір (хода) конденсатора, кПа;

9. Визначається коефіцієнт чистоти трубок конденсатора:

$$\alpha = \alpha_c \cdot \alpha_n,$$

де  $\alpha_n$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу і товщини стінок трубки;

10. Визначається відносний приріст коефіцієнта:

$$\bar{\alpha}_i = \alpha_0 \cdot \left( \frac{\alpha_{ci} \cdot \alpha_{ni}}{\alpha_{c0} \cdot \alpha_{n0}} \right),$$

де: індекс "i" – дослідний режим; індекс "0" – базовий режим;



11. Визначається коефіцієнт теплопередачі:

$$K_i = 4070 \cdot \alpha_i \left( \frac{1,1 \cdot G_i}{d_2^{0,25}} \right) \cdot \left[ 1 - \frac{\epsilon(\alpha_i)}{10^3} (35 - T_1^B)^2 \right] \times \left[ 1 - \frac{Z-2}{15} \left( 1 - \frac{T_1^B}{45} \right) \right] \Phi_\delta \quad (13)$$

Системи технічної діагностики, як підтверджують приклади вітчизняних та зарубіжних подібних систем, можуть бути реалізовані або як спеціалізовані підсистеми у складі АСУ ТП енергоблоків, або як окремі автономні системи. При цьому вони можуть забезпечувати всю технологічну схему електростанції або окремі, найбільш відповідальні елементи.

Впровадженню систем діагностування енергоустановок на ТЕС мають передувати підготовленість обладнання та, що особливо важливо, професійна підготовка персоналу електростанції.

### **Висновки**

Незважаючи на велику кількість наукових робіт в напрямку підвищення надійності та енергоефективності роботи систем низькопотенційних комплексів електростанцій, питання діагностики елементів НПК залишається актуальним та своєчасним. Перспективним напрямом в цьому є одночасне використання в системах технічної діагностики експертних оцінок та ефективних алгоритмів, що дозволяє врахувати всі можливі режими роботи НПК.

Визначено основні функції системи технічної діагностики НПК та параметри елементів НПК, які суттєво впливають на теплообмін в конденсаторі та визначають ефективність роботи парової турбіни. Наведені основні співвідношення для визначення цих параметрів.

Наведено основні етапи роботи системи технічної діагностики НПК, повний алгоритм операцій системи технічної діагностики та алгоритм визначення ступеня забруднення трубок конденсаторів, який є найбільш характерним в умовах експлуатації енергоблоків ТЕС і АЕС.

### **Список використаних джерел:**

1. Разработка и анализ технических решений по рационализации конденсационных систем низькопотенциального комплекса ТЭС и АЭС : монографія / В. И. Муравьев [и др.]. – Харьков : ХУВС, 2010. – 122 с.
2. Канюк Г. И. Методы и модели энергосберегающего управления энергетическими установками электростанций / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, И. В. Сук. – Харьков : Точка, 2016. – 332 с.
3. Определение оптимального расхода циркуляционной воды в конденсаторах тепловых и атомных электростанций / Г. И. Канюк [и др.] // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2015. – № 6 (137). – С. 12–19.
4. Анализ резервов энергосбережения и возможностей повышения технико-экономической эффективности насосных установок низькопотенциального комплекса (НПК) тепловых и атомных электростанций / С. Ф. Артюх [и др.] // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2005. – Вып. 57. – С. 32–42.
5. Резервы энергосберегающего управления технологическими процессами на действующих ТЭС и АЭС: монографія / Г. И. Канюк [и др.]. – Харьков : Точка, 2012. – 184 с.
6. Дуель М. А. Развитие систем энергосберегающего автоматизированного управления энергопроизводством ТЭС и АЭС Украины / М. А. Дуель, Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря. – Харків : Точка, 2013. – 388 с.
7. Горелик Т. Г. Современные автоматизированные системы управления энергообъектами / Т. Г. Горелик, А. А. Касаточкин, И. Е. Кумец // Электрические станции. – 2003. – № 7. – С. 32–37.
8. Горелик А. Х. Развитие и модернизация АСУ энергоблоками ТЭС и АЭС / А. Х. Горелик, М. А. Дуэль, В. А. Орловский // Новини енергетики. – 2000. – № 11. – С. 30–36.
9. Канюк Г. И. Оптимизация режимов работы низькопотенциальных комплексов ТЭС по критерию минимума энергетических потерь / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, Т. Н. Фурсова // East European Scientific Journal. – 2016. – № 6, czesc 2. – Р. 108–111.
10. Підвищення ефективності роботи систем низькопотенційного комплексу електростанцій шляхом оптимального керування витратою циркуляційної води / Г. І. Канюк [та ін.] // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2020. – Вип. 4 (52). – С. 34–39.
11. Князева В. Н. Анализ нормативных документов Украины по обеспечению эффективной эксплуатации элементов систем низькопотенциальных комплексов электростанций / В. Н. Князева, А. Ю. Мезеря, А.

Н. Чеботарев // *Topical issues of the development of modern science : the 6th International scientific and practical conference, February 12-14, 2020.* – Sofia : ACCENT, 2020. – P. 553–557.

12. Экспериментальные исследования эффективности автоматизированного энергосберегающего управления циркуляционными насосами электростанций / Г. И. Канюк [и др.] // *Энергосбережение, энергетика, энергоаудит.* – 2015. – № 9 (140). – С. 36–42.

13. Аракелян Э. К. Методика выбора оптимальных параметров и режимов работы оборудования энергоблоков на частичных нагрузках / Э. К. Аракелян // *Теплоэнергетика.* – 2002. – № 4. – С. 57–60.

14. Дуэль М. А. Диагностирование состояния и условий эксплуатации энергооборудования ТЭС и АЭС / М. А. Дуэль, А. Л. Дуэль, В. А. Кострыкин. – Харьков : КиК, 2006. – 284с.

15. Научные принципы энергосбережения в тепловой и атомной энергетике / Г. И. Канюк [и др.]. – Харьков : Точка, 2013. – 140 с.

#### References

1. Muravev, VI et al. 2010, *Razrabotka i analiz tekhnicheskikh reshenij po racionalizacii kondensacionnyh sistem nizkopotencialnogo kompleksa TES i AES*, Harkovskiy universitet Vozdushnyih Sil, Harkov.

2. Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Suk, IV 2016, *Metody i modeli energosberegayushchego upravleniya energeticheskimi ustanovkami elektrostancij*, Tochka, Harkov.

3. Kanyuk, GI, Mezerya, AY, Fokina, AR & Babenko, IA 2015, ‘Opreделение optimal'nogo raskhoda cirkulyacionnoj vody v kondensatorah teplovyh i atomnyh elektrostancij’, *Energoberezhenie, energetika, energoaudit*, no. 6 (137), pp. 12-19.

4. Artyuh, SF et al. 2005, ‘Analiz rezervov energosberezheniya i vozmozhnostej povysheniya tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti nasosnyh ustanovok nizkopotencialnogo kompleksa (NPK) teplovyh i atomnyh elektrostancij’, *Vestnik Nacionalnogo tekhnicheskogo universiteta Harkovskiy politekhnicheskij institut*, no. 57, pp. 32-42.

5. Kanyuk, GI, Mezerya, AY, Mihajskij, DV, Laptinov, IP & Fokina, AR 2012, *Rezervy energosberegayushchego upravleniya tekhnologicheskimi processami na dejstvuyushchih TES i AES*, Tochka, Harkov.

6. Duel, MA, Kanyuk, GI & Mezerya, AY 2013, *Razvitie sistem energosberegayushchego avtomatizovannogo upravleniya energoproizvodstvom TES i AES Ukrainy*, Tochka, Harkov.

7. Gorelik, TG, Kasatochkin, AA & Kumec, IE 2003, ‘Sovremennye avtomatizirovannye sistemy upravleniya energoobektami’, *Elektricheskie stancii*, no. 7, pp. 32-37.

8. Gorelik, AH, Duel, MA & Orlovskij, VA 2000, ‘Razvitie i modernizaciya ASU energoblokami TES i AES’, *Novini energetiki*, no. 11, pp. 30-36.

9. Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Fursova, TN 2016, ‘Optimizaciya rezhimov raboty nizkopotencialnyh kompleksov TES po kriteriyu minimuma energeticheskikh poter’, *East European Scientific Journal*, no. 6, szesc 2, pp. 108-111.

10. Kanyuk, GI, Mezerya, AY, CHEbotarov, AM & Bliznichenko, GS 2020, ‘Pidvishchennya efektyvnosti roboti sistem nizkopotencijnogo kompleksu elektrostancij shlyahom optimalnogo keruvannya vitratoyu cirkulyacijnoi vodi’, *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi*, iss. 4 (52), pp. 34-39.

11. Knyazeva, VN, Mezerya, AY, CHEbotarov, AN 2020, ‘Analiz normativnyh dokumentov Ukrainy po obespecheniyu effektivnoj ekspluatatsii elementov sistem nizkopotencial'nyh kompleksov elektrostancij’, *Topical issues of the development of modern science, The 6th International scientific and practical conference*, Publishing House “ACCENT”, Bulgaria, Sofia, pp. 553-557.

12. Kanyuk, GI, Mezerya, AY, Laptinov, IP, Babenko, IA & Knyazeva, VN 2015, ‘Eksperimentalnye issledovaniya effektivnosti avtomatizirovannogo energosberegayushchego upravleniya cirkulyacionnymi nasosami elektrostancij’, *Energoberezhenie, energetika, energoaudit*, no. 9 (140), pp. 36-42.

13. Arakelyan, EK 2002, ‘Metodika vybora optimal'nyh parametrov i rezhimov raboty oborudovaniya energoblokov na chastichnyh nagruzkah’, *Teploenergetika*, no. 4, pp. 57-60.

14. Duel, MA, Duel, AL & Kostyrykin, VA 2006, *Diagnostirovanie sostoyaniya i uslovij ekspluatatsii energooborudovaniya TES i AES*, KiK, Harkov.

15. Kanyuk, GI, Artyuh, SF, Mezerya, AY, Laptinova, EV & Melnikov, VE 2013, *Nauchnye principy energosberezheniya v teplovoj i atomnoj energetike*, Tochka, Harkov.

Стаття надійшла до редакції 27 жовтня 2022 року