

УДК 628.179:628.180.1

РОЗРАХУНОК ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ КОНДЕНСАТОРІВ ТУРБИНИ БЛОКУ ВВЕР-1000 ВІДКЛАДЕННЯМИ

С. С. Курин

студент 4 курсу, група ТЕ-41, навчально-науковий інститут водного господарства та
природооблаштування

Науковий керівник – старший викладач В. В. Куба

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті представлена проблема забруднення конденсаторів турбін (КТ) теплових та атомних електростанцій. Проаналізовано зменшення коефіцієнта теплопередачі КТ внаслідок забруднень та зв'язані з цим економічні втрати блока ВВЕР-1000. При зниженні коефіцієнта теплопередачі зростає тиск і температура пари у паровому просторі, що веде до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) блока. Показано, що товщина відкладень всього 1 мм призводить до втрат електроенергії на суму 130 млн грн. на рік, зупинка блока на позаплановий ремонт на 2.5 доби приводить до втрати 24.3 млн грн.

Ключові слова: конденсатор турбін, коефіцієнт теплопередачі, втрати електроенергії, відкладення у КТ, температура та тиск в паровому просторі КТ, ККД блока ВВЕР-1000.

В статье представлена проблема загрязнения конденсаторов турбин (КТ) тепловых и атомных электростанций. Проанализированы причины уменьшения коэффициента теплопередачи КТ вследствие загрязнения и связанные с этим экономические потери блока ВВЭР-1000. При снижении коэффициента теплопередачи возрастает давление и температура пара в паровом пространстве, что приводит к снижению коэффициента полезного действия (КПД) блока. Показано, что толщина отложений всего 1 мм приводит к потерям электроэнергии на сумму 130 млн грн. в год, остановка блока на внеплановый ремонт на 2.5 суток приводит к потере 24.3 млн грн.

Ключевые слова: конденсатор турбин, коэффициент теплопередачи, потери электроэнергии, отложения в КТ, температура и давление в паровом пространстве КТ, КПД блока ВВЭР-1000.

The article presents the problem of contamination of turbine capacitors (TC) of thermal and nuclear power plants. The reduction of the heat transfer coefficient of TC due to contamination and the associated economic losses of the VVER-1000 block have been analyzed. When the coefficient of heat transfer decreases, the pressure and temperature of steam in the steam space increases, which leads to a decrease in the efficiency of the block. It is shown that the thickness of deposits of only 1 mm leads to electricity losses amounting to 130 million UAH. per year, block for unscheduled repair for 2.5 days results in loss of 24.3 million UAH.

Keywords: turbine condenser, heat transfer coefficient, power losses, deposition in TC, temperature and pressure in TC steam space, efficiency of the block VVER-1000.

Система технічного оборотного водопостачання (СТОВ) забезпечує безперебійну роботу конденсаторів турбін (КТ), технологічних конденсаторів, конденсаторів турбоживильних насосів, систем охолодження реакторів, систем золо- та шлаковидалення і багато інших допоміжних систем станцій, що споживають технічну воду. Надійна робота

СТОВ не менш важлива, ніж паротурбінної чи котельної установок. Основними споживачами технічної води є КТ станцій, які споживають до 95% витрати води і повинні забезпечувати вакуум на виході з вихлопного патрубку турбіни.

В процесі роботи СТОВ внаслідок випаровування води в системі накопичуються солі, зокрема утворюючі відкладення на технологічних теплообмінниках (ТО) та КТ. Це призводить до багатьох негативних явищ, що знижують ефективність роботи станції. Зокрема до підвищення температури та тиску в паровому просторі КТ, звуження прохідних перерізів трубних систем, виникнення пітінгової корозії, зниження коефіцієнта теплопередачі та взаємного проникнення теплоносіїв.

Метою дослідження є аналіз впливу відкладень і забруднення поверхонь КТ на виробіток електроенергії блоком ВВЕР-1000.

Переважно відкладення на трубних системах КТ існують у вигляді шару CaCO_3 і характеризуються малою теплопровідністю. Наприклад, коефіцієнт теплопровідності міді $\lambda_{\text{м}} = 395$, матеріалу трубок КТ МНЖ-5-1, $\lambda_{\text{тп}} = 130$, котлової сталі Ст.20, $\lambda_{\text{ст}} = 54.3$ Вт/(м·К), а коефіцієнт теплопровідності відкладень CaCO_3 має величину $\lambda_{\text{н}} = 1.3 \dots 2.5$ Вт/(м·К), тобто майже у сто разів меншу ніж у трубок КТ з матеріалу МНЖ-5-1. За такої теплопровідності, навіть тонкий (0.5...1.0 мм) шар відкладень, суттєво знижує коефіцієнт теплопередачі КТ, (див. рис. 1).

Бачимо, що суцільний шар відкладень товщиною лише 0,5 мм зменшує коефіцієнт теплопередачі на 40%.

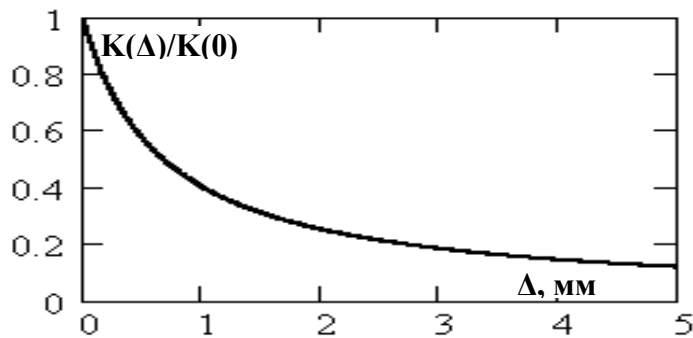


Рис. 1. Залежність відносної величини коефіцієнта теплопередачі $K(\Delta)/K(0)$ від товщини відкладень Δ , мм (прийнято $\lambda_{\text{в}} = 1,5$ Вт/м·К)

Забруднення трубної системи КТ відкладеннями призводить до підвищення температури в паровому просторі КТ і, відповідно, тиску в ньому. Відомо, що збільшення тиску в КТ супроводжується зменшенням ККД блока. Щоб визначити залежність зменшення ККД блока від товщини відкладень на трубках КТ, розрахуємо температуру в паровому просторі КТ залежно від товщини шару відкладень:

$$\delta t_{\text{п}} = K_0 \frac{\Delta_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}}} (\delta t_{\text{тф}} + \delta t_{\text{пт}} + \delta t_{\text{в}}) \quad (1)$$

де $\delta t_{\text{тф}}$, $\delta t_{\text{пт}}$, $\delta t_{\text{в}}$ – відповідно, перепади температури на трубках КТ, між паровим простором КТ і трубками та між трубками і водою охолодження.

Оцінки для КТ дають [3]:

$$\delta t_{\text{тф}} \approx 1^\circ\text{C}, \delta t_{\text{пт}} \approx 4^\circ\text{C}, \delta t_{\text{в}} \approx 3^\circ\text{C}.$$

Результат розрахунку $\delta t_{\text{п}}$ в паровому просторі КТ блока ВВЕР-1000 залежно від товщини відкладень при умові, що коефіцієнт теплопередачі трубної системи КТ $K_0 = 2680$ Вт/(м²·К), $\lambda_{\text{н}} = 1,43$ Вт/(м·К), показано на рис. 2. Бачимо, що шар відкладень товщиною 1,6 мм призводить до зростання температури в паровому просторі КТ на 24°С.

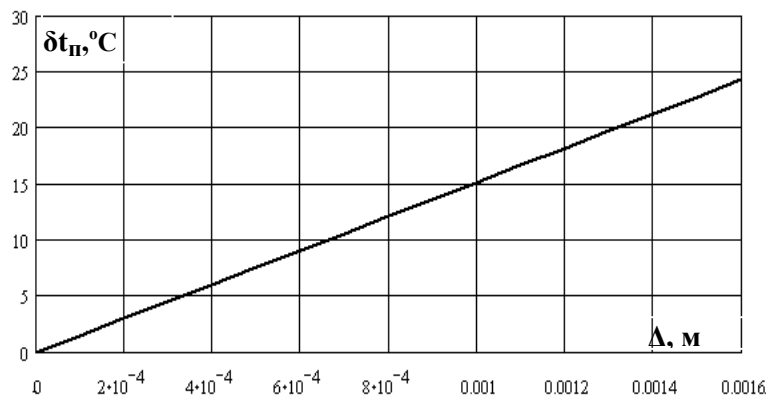


Рис. 2. Залежність приросту температури у паровому просторі КТ від товщини Δ відкладень на трубній системі

За формулою (1) та таблицями стану насиченої пари розрахуємо залежність тиску в КТ від товщини відкладень. Вона представлена інтерполяційною формулою, МПа:

$$p_2(\delta) = 10^{-3} \cdot [13.04 - 0.68 \cdot t(\delta) + 0.0133 \cdot t(\delta)^2], \quad t(\delta) = 30 + \delta t, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Враховуючи формулу (2), розраховано втрату електричного ККД блока ВВЕР-1000 залежно від товщини відкладень при заданій теплопровідності відкладень $\lambda_n = 1,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

З рис. 3 видно, що карбонатні відкладення товщиною в 1 мм зменшують ККД блока на 1,5%.

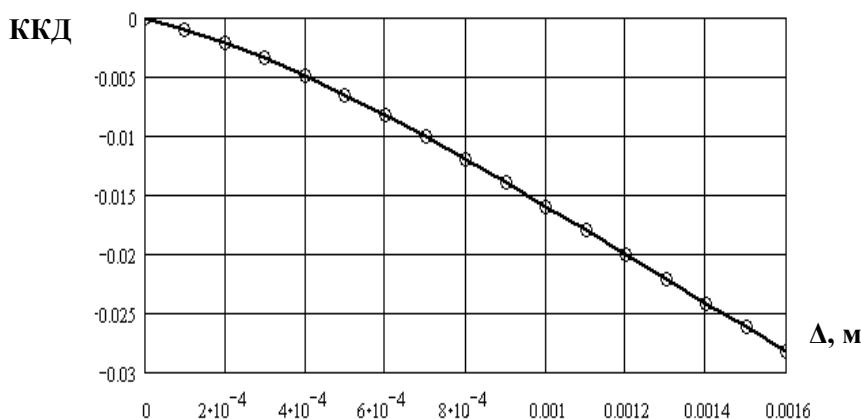


Рис. 3. Залежність зміни електричного ККД блока ВВЕР-1000 від товщини шару відкладень на трубній системі КТ

Оскільки електрична брутто-потужність блоку виражається через ККД брутто енергоблоку η_e ,

$$N_e = \eta_e \cdot N_r, \quad (3)$$

де N_r – теплова потужність реактора, МВт, яка не залежить від присутності відкладень, то зміна електричної потужності, визначається зміною ККД і становить,

$$\Delta N_e = \Delta \eta_e \cdot N_r. \quad (4)$$

Оскільки $N_r = N_{e0} / \eta_0$, η_0 – ККД енергоблоку при чистому КТ, отримуємо вираз для розрахунку ΔN_e ,

$$\Delta N_e = |\Delta \eta_e| \cdot N_{e0} / \eta_0, \text{ МВт}. \quad (5)$$

Приймаючи $\eta_0 = 0,32$, $N_{e0} = 900$ МВт, період роботи блока 10 місяців, вартість електроенергії $C_e = 450$ грн/МВт·год та використовуючи дані рис. 3, отримуємо залежність економічних втрат від недовиробітку електроенергії внаслідок утворення відкладень на ТС конденсатора турбіни.

Оцінка втрат не включає додаткові втрати через зниження надійності роботи КТ, що відображається у зупинках блоків на позапланові ремонти КТ і відповідні економічні втрати. При позаплановій зупинці блока на 2,5 доби втрати становлять

$$\Delta K_{\Sigma} = 10^{-6} \cdot N_e \cdot T_{\Sigma} \cdot C_e = 10^{-6} \cdot 900 \cdot 60 \cdot 450 = 24,3 \text{ млн. грн.}$$

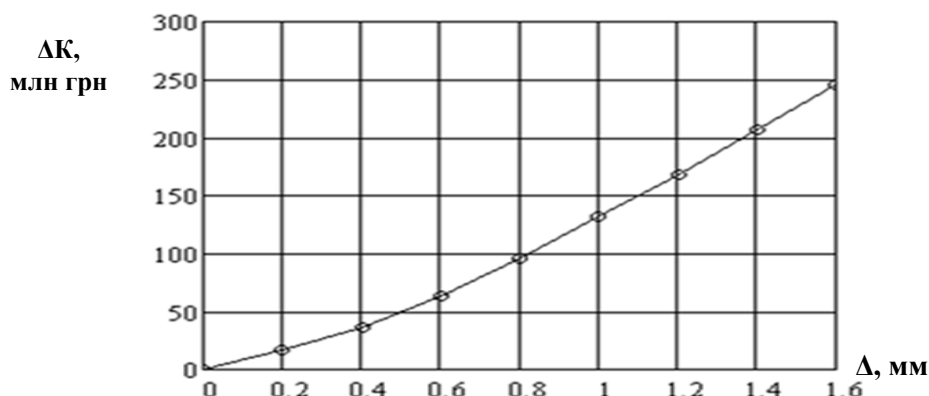


Рис. 4. Залежність економічних втрат за 10 місяців експлуатації блока ВВЕР-1000 від товщини шару відкладень

Оскільки коефіцієнт теплопровідності відкладень у десятки разів менший від матеріалу трубної системи КТ, навіть відкладення малої товщини, 1-2 мм, різко знижують коефіцієнт теплопередачі КТ.

Зниження коефіцієнта теплопередачі тягне за собою підвищення тиску в паровому просторі КТ і, відповідно, температури конденсації пари, що веде до зниження ККД блока. Зниження ККД блока призводить до недовиробітку електроенергії. Наприклад, при товщині відкладень 1 мм та їх теплопровідності 1,5 Вт/м·К економічні втрати від недовиробітку для блока ВВЕР-1000, див. рис. 4, становлять 130 млн грн на рік, а зупинка блока на позаплановий ремонт на 2,5 доби приводить до втрати 24,3 млн грн.

Список використаних джерел:

1. Кочмарский В. З. Состояние проблемы противонакипной обработки воды в СССР / Кочмарский В. З., Поспелов В. А. – Київ : Знання. – 1986. – 20 с.
2. Кочмарский В. З. Оперативный контроль эффективности стабилизационной обработки воды СТВ и методика определения ее стабильности / Кочмарский В. З., Кочмарский О. В. // Энергетика і електрифікація. – 2016. – № 1. – С. 27–37.
3. Очков В. Ф. Расчет и визуальное отображение водно-химического режима систем оборотного охлаждения на ТЭС / Очков В. Ф., Орлов В. А., Иванов Е. Н. // Теплоэнергетика. – 2013. – № 7. – С. 1–7.