

Кочмарський В.З.

Національний університет водного господарства і природокористування

Костюк О.В.

Національний університет водного господарства і природокористування

Тимейчук О.Ю.

Національний університет водного господарства і природокористування

Куба В.В.

Національний університет водного господарства і природокористування

ДИНАМІКА ВІДКЛАДЕНЬ ТА ВПЛИВ НА ЇХ РІСТ ІМПУЛЬСНОГО РЕЖИМУ ТЕЧІЇ ОХОЛОДНОЇ ВОДИ

На підставі аналізу даних про відкладення на трубних системах (ТС) конденсаторів турбін електростанцій показано, що основним компонентом відкладень є карбонат кальцію. У відкладеннях магnezит практично відсутній тому іони Mg^{2+} в оборотній воді (ОВ) ведуть себе подібно до хлоридів, концентруючись при випарюванні. Концентрація іонів кальцію в ОВ може змінюватися внаслідок водообміну, або виділення твердого $CaCO_3$, який формує відкладення на теплообмінному обладнанні. Сформульоване рівняння динаміки для концентрації іонів Ca^{2+} вільне від обмежень щодо сталості водного об'єму оборотної системи охолодження (ОСО) та стаціонарності процесів в ОСО. Концентрація іонів Ca^{2+} виражається через динамічний параметр, що залежить від потоків підживлення та випаровування ОВ. Показано, що динамічний параметр при переході до стаціонарного режиму роботи ОСО наближається до коефіцієнта концентрування солей в ОВ.

Вводиться поняття кальцієвого індексу стабільності ОВ щодо виділення твердого $CaCO_3$. Вказується на те, що стандартні методики визначення стабільності ОВ, які ґрунтуються на загальній жорсткості, не коректні і дають завищені значення індексу стабільності.

Досліджено вплив імпульсного режиму течії ОВ на ріст відкладень, використовуючи рівняння швидкості росту відкладень у якому враховано формування відкладень за законом розпаду бікарбонатів кальцію та їх ерозії потоком ОВ. Показано, що за певних умов використання імпульсного режиму може забезпечити прийнятну швидкість росту відкладень, особливо при одночасному використанні інгібіторів та диспергантів.

Ключові слова: охолодна вода, індекс стабільності, відкладення, швидкість росту, імпульсний потік.

1. Вступ

Оборотні системи охолодження (ОСО) є одними з найефективніших елементів технології водопостачання ТЕС і АЕС (Кочмарський і Поспелов, 1986) щодо раціонального використання води і зменшення хімічного та теплового забруднень водного басейну. Переважно охолодження оборотної води (ОВ) досягається її випаровуванням. Нагадаємо, що один кілограм випареної ОВ передає доквіллю в середньому 2.5МВт теплоти. Проте випаровування призводить до концентрування солей в ОВ і виникнення пов'язаних з цим проблем при експлуатації ОСО (Кочмарський і Поспелов, 1986; Гаєвський і Кочмарський, 2018), зокрема виникають:

1) карбонатні, сульфатні та силікатні відкладення на поверхнях теплопередачі та водо-

водах внаслідок концентрування відповідних компонентів;

2) обростання елементів конструкцій грибами, мікроскопічними водоростями та дрейсною – результат підвищення температури ОВ;

3) механічні відкладення дисперсій у гідродинамічно застійних зонах.

Для охолодження найчастіше використовують поверхневі води, які є переважно кальцій-гідрокарбонатними системами, тому основними компонентами відкладень на поверхнях теплообміну є сполуки типу $CaCO_3$ див. рис. 1 (Кочмарський і Поспелов, 1986).

Відкладення внаслідок їх низької теплопровідності (1.5-3.5) Вт/(м·К) порівняно з матеріалами конструкцій ТО (53-125) Вт/(м·К) знижують

ефективність їх роботи, а виникнення пittingової корозії під ними – термін життєвого циклу обладнання.

Проблема відкладень не нова і способам їх протидії, особливо в теплоенергетиці, зокрема в ОСО, присвячено багато робіт, див (Шабалін 1976, Кучеренко 1980). Проте, в цих роботах розглядають стаціонарні режими роботи ОСО за умови сталості водного об'єму ОСО без аналізу причин утворення відкладень і рекомендації щодо їх усунення не завжди обґрунтовані (ДБН В.2.5-74:2013 Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування) не завжди коректні.

У даній роботі розглядається динаміка концентрації основного накипінна – іонів Ca^{2+} в ОВ без обмежень на стаціонарність режиму роботи ОСО та формулюється механізм утворення твердого $CaCO_3$. Аналізується вплив на формування відкладень імпульсного режиму течії ОВ в трубних системах технологічних ТО.

2. Вплив відкладень на теплотехнічні параметри обладнання

Відкладення мають коефіцієнт теплопровідності у десятки разів нижчий ніж конструкційні матеріали ТО (для матеріалу МНЖ 5-1 $\lambda = 135 \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а відкладень див. табл. 1, тому, навіть, його тонкий шар призводить до суттєвого зменшення ККД енергоустановок.

Звертаємо увагу на дані табл. 1, з яких випливає, що *желеподібні органічні та кремнієві відкладення* є небезпечнішими щодо втрати ККД теплообмінників ніж тверді карбонатні, оскільки їх коефіцієнти теплопровідності у 1.5 – 2.5 раз менші від карбонатних відкладень. Тому шар таких відкладень товщиною $x = (0.5-1.3)\text{мм}$ еквівалентний щодо втрат коефіцієнта теплопровідності на шарі карбонатних відкладень $(0.85 - 3.2)\text{мм}$.

Коефіцієнт теплопровідності стінки товщиною $l_{ст}$, яка покрита шаром відкладень товщиною x , дається виразом,

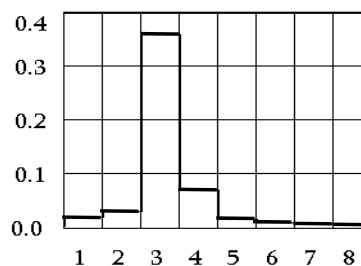


Рис. 1. Відносний склад відкладень на трубках конденсаторів за даними 22-х електростанцій (Кочмарський і Поспєлов, 1986): 1 – SiO_2 , 2 – Fe_2O_3 , 3 – $CaCO_3$, 4 – органічні сполуки, 5 – $MgCO_3$, 6 – $CaSO_4$, 7 – CaO , 8 – P_2O_5 .

$$\lambda(x) = \frac{\lambda_{ст}}{\frac{1}{1 + \frac{x}{l_{ст}}} + \frac{1}{1 + \frac{l_{ст}}{x}} \cdot \frac{\lambda_{ст}}{\lambda_{в}}} \quad (1)$$

Оскільки $\lambda_{в} \ll \lambda_{ст}$, то величина теплопровідності сандвіча «*стінка + відкладення*» помітно зменшується навіть при малій товщині відкладень. Розрахунок за (1) подано на рис. 2. Бачимо, що відкладення товщиною $x \approx 1\text{мм}$ знижують теплопровідність стінки у 10 раз. Відкладення на трубних системах котлів призводять до "перепалу" палива, а трубної системи КТ до підвищення температури у паровому просторі КТ і тиску в ньому.

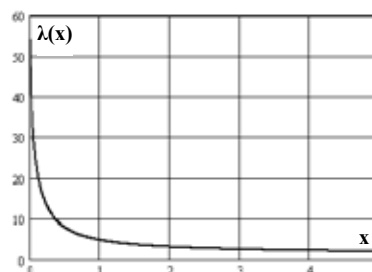


Рис. 2. Залежність теплопровідності стінки ТО зі сталі 20, $\lambda_{ст} = 54.3$, покритої відкладеннями з $\lambda_{в} = 1.7 \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, товщиною x мм

Таблиця 1

Теплофізичні властивості відкладень (Крючков і Назаренко, 2001)

Види відкладень	Теплофізичні властивості	Теплопровідн., Вт/(м·К)	Теплоємність, кДж/(кг·К)	Густина, кг/м³
Відкладення оборотної води розливних машин чавуну		1,3	0,9	1830
Відкладення в трубках конденсаторів турбін (КТ) ТЕЦ		1,9-2,5	0,88	2230
Відкладення в КТ після фосфатування		0,9	0,83	1670
Відкладення захисної карбонатної плівки		1,3-2,3	0,91	2380
Тверді карбонатні відкладення		2,4-3,5	0,99	2380
Слизисті відкладення органічної природи		0,7	3,46	1107
Желеподібні відкладення кремній-органічної природи		0,9	3,90	1236
Відкладення після гідроциклонів оборотного циклу водопостачання аглофабрики з коефіцієнтом випарювання $k=2,62$		1,4	0,88	2698

3. Динаміка іонів Ca^{2+} в ОСО

За основний малорозчинний компонент водної системи ОСО приймаємо сумарну еквівалентну, $g\text{-екв}/m^3$, концентрацію іонів Ca^{2+}

$$C = [Ca^{2+}]. \quad (2)$$

Її динаміку описуємо рівнянням, що включає зміну в часі кальцієвої жорсткості оборотної води завдяки водообміну R_{eo} та фізико-хімічних реакцій $R_{\phi x}$

$$\frac{dC(t)}{dt} = R_{eo}(t) + R_{\phi x}(t); \quad (3)$$

Зауважимо, що наше припущення про основний вклад у відкладення карбонату кальцію ґрунтується на аналізі відкладень на трубній системі КТ 22 електростанцій, див. рис. 1.

Вигляд першого доданка правої частини (3), що описує процеси водообміну при єдиному джерелі підживлення та відсутності систем водопідготовки в середині ОСО має вигляд:

$$R_{eo}(t) = \frac{1}{T_{жс}} \left[C_0 - \frac{C(t)}{\varphi(t)} \right]; \quad T_{жс} = \frac{V(t)}{Q_{жс}(t)}; \quad \varphi(t) = \frac{Q_{жс}(t)}{Q_{жс}(t) - Q_{вин}(t)}; \quad (4)$$

$$V(t) = \int_0^t \{ Q_{жс}(t_1) - [Q_{вин}(t_1) + Q_{крпн}(t_1) + Q_{нрo}(t_1)] \} dt_1. \quad (5)$$

$Q_{жс}$ – витрата води підживлення; $Q_{вин}$ – випарювання; $Q_{нрo}$ – продувки, $m^3/год$.

З (4) бачимо, що наша модель ОСО не обмежена сталістю водного об'єму, оскільки відповідно до (5) він може змінюватися в часі. Зауважимо, що динаміка іонів Ca^{2+} завдяки водообміну в ОСО визначається лише двома потоками $Q_{жс}$ та $Q_{вин}$.

Величина $R_{\phi x}(t)$ описує процес виділення осаду, наприклад, $CaCO_3$, явний вигляд якого залежить від фізико-хімічної моделі виділення твердого $CaCO_3$, яка найбільш адекватна умовам конкретної ОСО, $T_{жс}$ – час повного заміщення води в ОСО потоком підживлення.

Рівняння (4) справедливе за умови ідеального перемішування компонентів оборотної води. Член водообміну в (4) відрізняється від стандартних, тим що тут на потоки та об'єм води в оборотній системі **не накладаються жодні обмеження щодо їх поведінки у часі, а також присутності динамічного параметра φ** .

Співвідношення (4) та (5) є основою кількісного аналізу динаміки концентрації іонів кальцію в оборотній воді тобто її здатності до утворення відкладень. Справді, якщо концентрація іонів Ca^{2+} визначається лише водообміном, то відкладення $CaCO_3$ відсутні, в іншому випадку їх концентрація знижується внаслідок формування відкладень та колоїдних дисперсій.

Вирази (4) та (5) дозволяють визначити швидкість виділення твердого $CaCO_3$, чи можливість утворення твердих відкладень у динамічному режимі роботи оборотної системи.

В цьому випадку, приймаючи, що швидкість виділення твердого $CaCO_3$

$$\frac{dM_{m\epsilon}}{dt} = -R_{\phi x}, \quad (6)$$

отримуємо:

$$\frac{dM_{m\epsilon}}{dt} = \frac{1}{T_{жс}} \left[C_0(t) - \frac{C(t)}{\varphi(t)} \right] - \frac{dC(t)}{dt}. \quad (7)$$

Для динамічного режиму роботи ОСО параметр $\varphi(t)$ потрібно розраховувати за рівнянням:

$$\varphi(t) = \frac{Cr(t)}{Cr^0(t) - T_{жс}(t) \cdot \frac{d}{dt} Cr(t)}, \quad (8)$$

де $Cr_0(t)$, $Cr(t)$ – поточні концентрації розчинних компонентів, наприклад, хлоридів, у водах підживлення та оборотній.

Динамічний параметр $\varphi(t)$ для стаціонарного режиму роботи ОСО рівний коефіцієнту концентрування розчинних компонентів в оборотній воді

$$k(t) = Cr(t)/Cr_0(t), \quad (8a)$$

проте, якщо зміни режиму роботи ОСО відбуваються з періодом близьким до $T_{жс}$ та з достатньою амплітудою, то він суттєво відрізняється від $k(t)$. Загалом (7) можемо перетворити до вигляду:

$$\Delta(t)_{m\epsilon} + \Delta(t) + \Psi(t)_{st} = I, \quad (9)$$

$$\Delta(t)_{m\epsilon} = \frac{T_{жс} \cdot M'_{m\epsilon}(t)}{C_{m\epsilon}^0}; \quad \Delta(t) = \frac{T_{жс}(t) \cdot C'_{m\epsilon}}{C_0};$$

$$\Psi(t)_{cm} = \frac{C_{m\epsilon}(t)}{\varphi(t) \cdot C_{m\epsilon}^0}, \quad (10)$$

$$M'_{m\epsilon}(t) = \frac{dM_{m\epsilon}}{dt}; \quad C'_{m\epsilon}(t) = \frac{dC_{m\epsilon}}{dt};$$

$\Delta(t)$ – відносна зміна загальної концентрації іонів кальцію в оборотній воді за час $T_{жс}$ завдяки нестабільності подачі підживлення в ОСО; зауважимо, що для стаціонарного режиму роботи ОСО $\Delta(t) = 0$; $\Delta(t)_{m\epsilon}$ – відносна кількість твердого $CaCO_3$, що виділився в ОСО за час $T_{жс}$ водообміну підживленням; $\Psi_{cm}(t)$ – концентрація кальцію в оборотній воді, віднесена до концентрації, яка була б в оборотній воді за відсутності виділення твердого $CaCO_3$.

Величину $\Psi(t)_{cm}$ природно вважати характеристикою стабільності оборотної води (індексом кальцієвої стабільності). Загалом, а за умови відсутності виділення $CaCO_3$ індекс стабільності і відрізняється від одиниці лише завдяки нестаціонарності процесів в ОСО і не пов'язаний з виділенням $CaCO_3$.

$$\Psi_{cm} = 1 - \Delta(t). \quad (11a)$$

Якщо по аналогії ввести індекс стабільності за загальною жорсткістю води, то можна показати,

що ця величина переоцінюватиме стабільність води щодо виділення $CaCO_3$.

$$\Psi_{ст.жео} = \Psi_{ст} \cdot \frac{1 + \varphi \cdot \frac{C_{Mg}^o}{C_{Ca}^o}}{1 + \frac{C_{Mg}^o}{C_{Ca}^o}}, \quad \Psi_{ст.жео} > \Psi_{ст}, \quad (2)$$

Для перетворення рівняння (7), яке описує динаміку іонів Ca^{2+} в оборотній воді у повноцінну розрахункову процедуру, необхідно доозначити член $R_{фх}(t)$, використовуючи дані про механізм виділення твердого $CaCO_3$. В роботі (Гаєвський і Кочмарський, 2018) показано, що швидкість кристалізації $CaCO_3$ з гідрокарбонатних розчинів описується виразом

$$\frac{d[CaCO_3]}{dt} = b_{18} \cdot C_{HCO_3^-} \cdot C_{Ca}, \quad (13)$$

де b_{18} – кінетичний коефіцієнт; – поточні концентрації гідрокарбонатних та кальцієвих іонів в ОВ.

Кінетика (13) відповідає утворенню твердого $CaCO_3$ за реакцією яка найбільш ймовірна для діапазону $6,5 < pH < 8,5$, де концентрація гідрокарбонатів максимальна.



Для оцінки динаміки іонів кальцію в ОСО приймемо $\varphi(t) \approx k(t)$, що відповідає стаціонарному режиму та використаємо дані спостереження на Рівненській АЕС.

У цьому випадку середнє значення кінетичного коефіцієнта $b_{18}(t)$ в період спостережень знаходилось у межах

$$2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{екв} \cdot \text{год}) < b_{18} < 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{екв} \cdot \text{год})$$

Маючи експериментальні та розрахункові дані концентрації кальцію, можемо визначити кількість твердого осаду, що виділяється в ОСО за будь-який період часу t . Загальна розрахункова маса твердого карбонату, що виділився за рік в ОСО РАЕС, становила 1200 т. Проте, це не означає, що весь карбонат кальцію залишився в ОСО у вигляді твердого осаду. Деяка його частина є завислим колоїдом, що виноситься з ОСО водою продувки. Тому при розрахунку маси осаду слід враховувати не лише вимоги щодо іонної рівноваги малорозчинних солей ОСО, але й винос з ОСО карбонатного колоїду. При цьому важливими є заходи щодо попередження коагуляції таких колоїдів, наприклад, дозуванням в оборотну воду диспергантів. Враховуючи винос колоїдів за межі ОСО, масу твердого осаду оцінюємо в межах 60-70 % від скристалізованого кальцію, тобто 720...840т що становить $\approx 10\%$ від маси всього кальцію, що пройшов через ОСО РАЕС за рік.

Як вже згадувалося, швидкість росту відкладень залежить не лише від хімічного складу та перенасичення розчину, але й від стану поверхонь

теплообміну і швидкості потоку в трубних системах ТО (Кучеренко,1980; Саган,1985). Тому проаналізуємо вплив гідродинамічного режиму ОВ на швидкість росту відкладень.

4. Ріст відкладень при змінному гідродинамічному режимі ОВ

На підставі аналізу дослідних даних (Сагань, 1985; Гаєвський і Кочмарський, 2018) встановлено напівемпіричне рівняння для швидкості росту поверхневих низькотемпературних карбонатних відкладень, що враховує вплив швидкості теплоносія,

$$\frac{dM}{dt} = k_{me} \cdot [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-] + \sum_i R_i - a_1 \cdot \frac{\tau_{mp}(\omega)}{\tau_{кр}} \cdot \frac{1}{1 + e^{-a_2 t}} - a_2 \cdot \omega, \quad \text{г-моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (15)$$

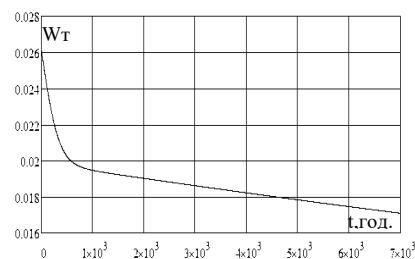
де k_{me} – кінетична константа виділення твердого $CaCO_3$, $\text{м}^4/(\text{г} \cdot \text{іон} \cdot \text{год})$; R_i – швидкість росту відкладень завдяки іншим факторам; a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти; $\tau_{mp}(\omega)$ – дотичні сили гідродинамічного тертя, які залежать від усередненої швидкості потоку ω ; $\tau_{кр}$ – критична міцність відкладень. Якщо інші фактори відсутні, то позначивши

$$a(\omega) = a_1 \cdot \frac{\tau_{mp}(\omega)}{\tau_{кр}} \quad \text{г-моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (16)$$

та врахувавши, що $\tau_{mp}(\omega) \sim \omega^2$ приходимо до виразу,

$$\frac{dM}{dt} = k_{cr} \cdot [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-] - a_1 \cdot \omega \cdot \left(1 + \frac{a_2 \cdot \omega}{1 + e^{-a_2 t}}\right), \quad \text{г-моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (15а)$$

Залежність приросту відкладень від середньої швидкості охолодної води (ОВ) в ТС технологічних ТО для значень параметрів:



$$k_{cr} = 3,2 \cdot 10^{-3}; \quad [Ca^{2+}] = 2,7 \text{ з-іон}/\text{м}^3;$$

$$[HCO_3^-] = 4,0 \text{ з-іон}/\text{м}^3;$$

$$a_1 = 1,4 \cdot 10^{-3}; \quad a_2 = 4,0;$$

$$a_3 = 6 \cdot 10^{-3}; \quad \omega_0 = 1,5 \text{ м/с.}$$

при сталій швидкості ω_0 у трубних системах показана на рис. 3.

Бачимо, що впродовж перших п'ятсот годин роботи ТО швидкість утворення відкладень зменшується на 25%, а в наступні 6000 год. зменшується лише на 10%. Така залежність приросту відкладень відображає специфіку їх утворення.

Нами змодельовано три режими потоку. Для першого швидкість стала, для другого періодично зростає у 1.5 раз порівняно з початковою ω_0 , а для третього у 2 рази. Тривалість імпульсів в обох випадках – 500 год. Цю величину вибрано виходячи з динаміки утворення відкладень, див. рис. 3.

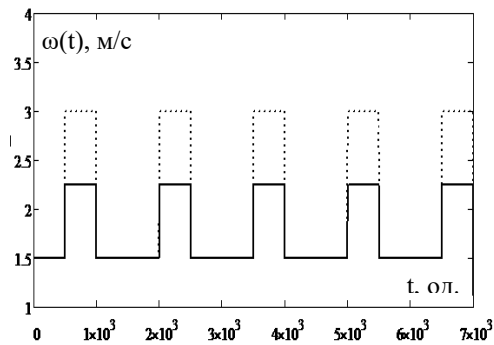


Рис. 4. Імпульсний режим течії *ОВ* у *ТС* *ТО*. Крива 1 відповідає величині імпульсу $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$, а крива 2- $\max \omega = 3.0 \text{ м/с}$.

Залежність швидкості імпульсного режиму потоку від часу показана на рис. 4. Для цих режимів розрахунок швидкості утворення твердого CaCO_3 при умові незмінності інших параметрів потоку представлено на рис. 5, а розрахункова залежність маси відкладень від часу роботи *ТО*, що виділяється на одному м^2 його поверхні – на рис. 6.

Бачимо, що використання імпульсного режиму течії *ОВ* у *ТС* значно знижує масу(товщину) відкладень на стінках *ТС*.

Застосування інгібіторів відкладень стабілізує *ОВ* (зменшує константу $k_{кр}$), а також, диспер-

гує колоїдну речовину зародків твердого, зменшує $\tau_{кр}$ та гальмує подальші відкладення CaCO_3 . Як впливає з попереднього, у *ТО* з високою швидкістю чи з пульсуючим потоком, особливо у випадку застосування диспергантів та абразивних присадок, відкладення руйнуються і їх швидкість росту може знижуватись до прийнятної величини.

Отже, як впливає з аналізу (7), чистоту трубок *ТО*, наприклад, конденсаторів турбін в *ОСО* можна підтримувати завдяки:

- стабілізації *ОВ* інгібіторами відкладень;
- застосуванню диспергантів;
- заміною карбонатної жорсткості на постійну, тобто добавкою в *ОВ* сильних кислот, наприклад, соляної чи сірчаної;
- збільшенню швидкості потоку води у трубках *КТ*, її турбулізації, або створюючи пульсуючу течію.

Загалом вважається, що прийнятною є швидкість росту відкладень, яка менша 0.5 мм/рік , що відповідає імпульсному режиму з $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$.

При вищих швидкостях росту відкладень коефіцієнти теплопередачі *ТО* обладнання помітно зменшуються, що, як бачили раніше, на електростанціях призводить до зниження виробітку електроенергії тобто до значних економічних втрат.

Зауважимо, що використання імпульсного режиму завжди пов'язане з додатковими затратами енергії на подачу води. Тому економічний ефект від використання таких режимів завжди менший від вигоди, що виникає при збільшенні чистоти *ТС*.

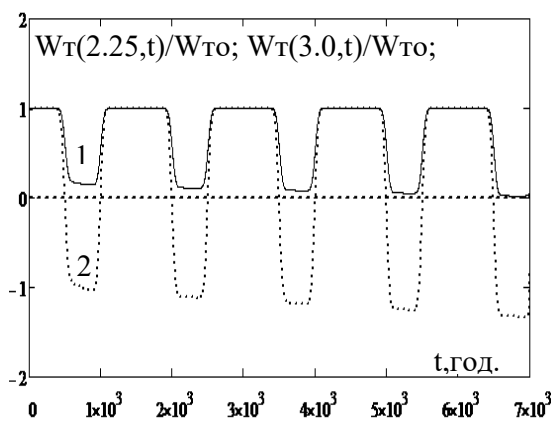


Рис. 5. Залежність відносного приросту твердого CaCO_3 , $Wm(t)/Wm_0$ від часу роботи *ТО*. Крива 1 відповідає $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$, а крива 2- $\max \omega = 3.0 \text{ м/с}$. Від'ємні величини – режим ерозії відкладень.

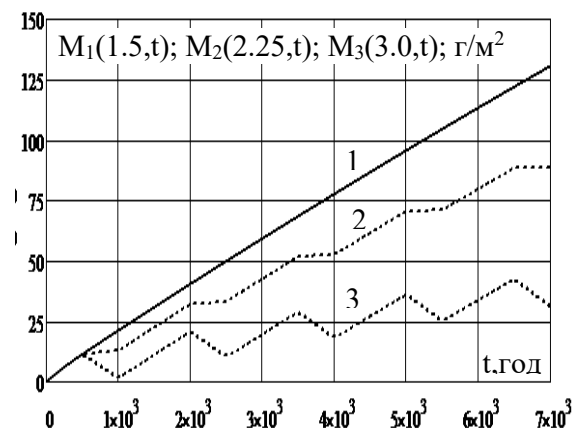


Рис. 6. Залежність маси відкладень CaCO_3 на 1 м^2 поверхні *ТС* від часу її експлуатації в стаціонарному режимі швидкості, крива 1, імпульсному з $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$, крива 2 та з $\max \omega = 3.0 \text{ м/с}$, крива 3

Висновки

1. Сформульовано рівняння динаміки для іонів Ca^{2+} в ОВ вільне від будь-яких обмежень щодо залежності від часу потоків ОСО та величини водного об'єму.

2. В рівняння для концентрації кальцієвих іонів входить динамічний параметр φ , який визначає динаміку зміни концентрації Ca^{2+} і для стаціонарного режиму рівний ступеню концентрування іонів в ОВ.

3. Рівняння динаміки для іонів Ca^{2+} доповнене законом виділення твердого $CaCO_3$, дозволяє отримати замкнену процедуру для розрахунку концентрації Ca^{2+} у ОВ, залежної від часу.

4. Введене поняття кальцієвого індексу стабільності ОВ щодо виділення $CaCO_3$. Використання індексу стабільності за жорсткістю ОВ призводить до переоцінки стабільності ОВ та помилок у проведенні заходів зі стабілізації ОВ.

5. Розраховано масу твердого $CaCO_3$, що виділився в ОСО за рік для Рівненської АЕС. Розрахункова величина близькою до реальної.

6. Запропоноване рівняння для швидкості росту відкладень, що враховує гідродинамічний режим потоку в ТС теплообмінників.

7. Показано, що використання імпульсного режиму потоку може знизити швидкість росту відкладень до прийнятної величини.

Список літератури:

1. Кочмарський В.З., Поспелов Д.Н. Состояние проблемы антинакипной обработки воды в СССР. – Київ: Знання. 1986. – 20 с.
2. Гаєвський В.Р., Кочмарський В.З. Підвищення ефективності оборотних систем охолодження мінімізацією кальцій-карбонатних відкладень. Рівне: НУВГП, 2018. 154 с. ISBN 978-966-327-383-9.
3. Кучеренко Д.И. Оборотные системы охлаждения.(Системы водяного охлаждения) Москва: Стройиздат, 1980. – 169 с.
4. Шабалин А.Ф. Оборотные системы водоснабжения предприятий. Москва: Стройиздат. 1972. – 296 с.
5. ДБН В.2.5-74:2013. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування
6. Крючков С.Н., Назаренко А.Н. Коэффициенты теплопроводности отложений на поверхности труб металлургических агрегатов. // Труды Запорожской государственной инженерной академии металлургии. 2001. В. 4. С. 140–142.
7. Сагань И.И., Ю.С. Разладин. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках. Київ. Техніка. 1985.– 134 с.

Kochmarskii V.Z., Kostyuk O.P., Tymchuk O.Y., Kuba V.V. DYNAMICS OF SEDIMENTS AND INFLUENCE ON THEIR GROWTH OF THE PULSE MODE OF COLD WATER FLOW

Based on the analysis of data on deposits on pipe systems (PS) of turbine capacitors of power plants, it is shown that the main component of deposits is calcium carbonate. In the sediments, magnesite is practically absent, so Mg^{2+} ions in circulating water (CW) behave similarly to chlorides, concentrating during evaporation. The concentration of calcium ions in CW can change due to water exchange, or the release of solid $CaCO_3$, which forms deposits on heat exchange equipment.

The formulated dynamics equation for the concentration of Ca^{2+} ions is free from restrictions regarding the constancy of the water volume of the recirculating cooling system (RCS) and the stationarity of processes in the RCS. The concentration of Ca^{2+} ions is expressed through a dynamic parameter that depends on the feeding and evaporation flows of CW. It is shown that the dynamic parameter during the transition to the stationary operating mode of the RCS approaches the concentration coefficient of salts in the CW.

The concept of the calcium index of stability of CW in relation to the deposits of solid $CaCO_3$ is introduced. It is pointed out that the standard methods of determining the stability of CW, which are based on the general hardness, are incorrect and give inflated values of the stability index.

The influence of the pulse mode of CW flow on the growth of sediments was studied, using the sediment growth rate equation, which takes into account the formation of sediments according to the law of decay of calcium bicarbonates and their erosion by the CW flow. It is shown that, under certain conditions, the use of pulse mode can ensure an acceptable rate of sediment growth, especially when inhibitors and dispersants are used simultaneously.

Key words: cool water, stability index, sedimentation, growth rate, impulse flow.