

УДК 621.175.3

*Третьяков О.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,  
Пономаренко Р.В., ад'юнкт, НУЦЗУ*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПИТНОЇ ВОДИ З ПОВЕРХНЕВИХ ДЖЕРЕЛ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовим Ю.О.)

Обґрунтовано ефективні шляхи оперативного управління процесом утворення осаду важкорозчинних сполук на стадії коагуляції та шляхи оперативного управління водно-хімічним режимом процесу осадкоутворення, з метою забезпечення виробництва питної води, склад якої відповідає нормативним вимогам та попередження виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру

**Ключові слова:** осад, коагуляція, водно-хімічний режим, виробництво питної води

**Постановка проблеми.** Забезпечення населення України питною водою є для багатьох регіонів країни однією з пріоритетних проблем, розв'язання якої необхідно для збереження здоров'я, поліпшення умов діяльності і підвищення рівня життя населення.

Загальнодержавна програма "Питна вода України" на 2006-2020 роки, що затверджена Законом України від 03.03.2005 р., № 2455-IV [1], спрямована на реалізацію державної політики щодо забезпечення населення якісною питною водою відповідно до Закону України "Про питну воду та питне водопостачання".

Розроблення Програми обумовлено:

– незадовільним екологічним станом поверхневих та підземних джерел питного водопостачання, вода яких використовується для виготовлення питної води (близько 80% та 20%, відповідно);

– потенційною загрозою ускладнення санітарно-епідемічної ситуації в окремих регіонах країни внаслідок низької якості питної води, що в подальшому може привести до виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру;

– необхідністю перегляду та вдосконалення нормативно-правових актів, державних санітарних норм і правил, стандартів та інших нормативних документів у сфері питної води та питного водопостачання [2] (більш жорсткі вимоги до питної води, що ви-

значені нормативними документами Європейського Союзу (Директива 90/778/ЕС);

– застосуванням технологій, що не відповідають сучасним умовам та обладнання в системах питного водопостачання та водовідведення міст та інших населених пунктів, що вимагає впровадження новітніх, більш продуктивних та економічних технологій;

– обмеженістю інвестицій та дефіцитом фінансових ресурсів, необхідних для розвитку, утримання в належному технічному стані та експлуатації систем питного водопостачання та водовідведення.

Потенційні запаси поверхневих вод України становлять близько 209,3 куб. кілометра на рік, з яких лише 25 % формуються в межах держави. В той час більшість басейнів річок можна віднести до забруднених та дуже забруднених.

Відсутність в Україні басейнового принципу управління, контролю та відповідальності за стан поверхневих джерел питного водопостачання, призводить до того, що частіше за все основні промислові об'єкти – забруднювачі, які обумовлюють якісний стан поверхневих джерел питної води, розташовані на території інших областей, а виготовлення і споживання питної води з цього джерела відбувається на території іншої. Все це відноситься і до Карачунівського водосховища. Основні річки які його формують протікають по території Кіровоградської області, виготовлення і споживання питної води відбувається в м. Кривий Ріг (Дніпропетровська область). Карачунівське водосховище створене на злитті річок Інгулець, Бічна і Боковенька, які протікають по території Кіровоградської та Дніпропетровської областей, має об'єм понад 300 млн. м<sup>3</sup>. Виготовлення питної води з цього водосховища та її споживання відбувається в м. Кривий Ріг. Виходячи з високого вмісту, у воді водосховища, солей жорсткості, сульфат іонів та загального солемісту, а також неспроможності існуючої технології підготовки питної води досягти встановлених норм за цими показниками, рішенням Держспоживстандарту України, було надано дозвіл Карачунівському водопровідному комплексу на постачання населенню водопровідної води господарсько-питного призначення з відхиленням від вимог стандарту за цими показниками. Тому вирішення питання щодо виробництва питної води якості якої відповідає діючим нормативним документам, на цьому комплексі є стратегічно важливим завданням, як для керівництва підприємства так і

---

Підвищення ефективності запобігання надзвичайних ситуацій

техногенного характеру при виробництві питної води з поверхневих джерел

для регіональних органів цивільного захисту, які призначені співвиконавцями Загальнодержавної програми «Питна вода України на 2006 – 2020 роки» [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість існуючих станцій підготовки питної води в Україні, в тому числі і Карачунівський водопровідний комплекс, працюють за спрощеною технологією обробки води поверхневого джерела: коагуляція, – відстоювання, – механічне фільтрування, – обеззараження (частіше за все хлорування).

Процес коагуляції з подальшим відстоюванням та фільтрацією призначений не тільки для видалення з води колоїдних часток, що обумовлюють забарвленість та каламутність води, але і для часткового виведення з води солей жорсткості (іонів  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$ ) [3]. Але в умовах Карачунівського водопровідного комплексу при застосуванні сульфату алюмінію у якості коагулянту [4], ефективність видалення солей жорсткості на стадії коагуляції практично дорівнює нулю.

Реагентні методи пом'якшення води, частіше за все, забезпечують видалення з води іонів кальцію і магнію (загальний солевміст) в тверду фазу у вигляді важкорозчинних сполук  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Добуток розчинності карбонату кальцію характеризується досить низьким значенням  $3,8 \cdot 10^{-9}$  [5], що дозволяє досить ефективно переводити іони кальцію у тверду фазу з наступним видаленням осаду у відстійниках або на механічних фільтрах. Як показали раніше проведені дослідження, застосування карбонату натрію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) для обробки води з вмістом іонів кальцію 12 – 14 мг-екв/л. та іонів магнію – 4 – 5 мг-екв/л. дозволяє знизити загальну жорсткість до нормативного рівня  $< 7,0$  мг/л. [6].

Слід зазначити, що саме від ефективності стадії коагуляції – видалення з вихідної води колоїдних часток, що обумовлюють її кольоровість та каламутність, і суттєве виведення солей жорсткості з водної фази у тверду фазу (осад), забезпечує ефективність подальших стадій підготовки питної води, а як результат і якість питної води на виході.

Процес утворення часток твердої фази важкорозчинних сполук, як початковий в процесі осадко утворення, найбільш складний з точки зору термодинаміки процесів, що відбуваються на стадії коагуляції. Оперативне управління цим процесом, з урахуванням можливої сезонної зміни іонного складу вихідної води, є клю-

човим для умов підготовки питної води на Карачунівському водопровідному комплексі.

Для оцінки термодинамічної можливості утворення часток твердої фази (нуклеації) розроблені і знаходять практичне застосування різні критерії: карбонатна жорсткість  $\mathcal{J}_k$ , недостатня вуглекислота  $\Delta\text{CO}_2$ , рН насичення  $pH_s$  [7], індекс насичення Ланжельє  $I_s$  [8], індекс стабільності Різнара  $I_{st}$  [9], кристалізаційний напір  $\eta$  [10, 11]. Таке різноманіття критеріїв свідчить про те, що застосування їх на практиці не завжди забезпечує достовірну оцінку осадкоутворення у воді і можливість його кількісного прогнозування.

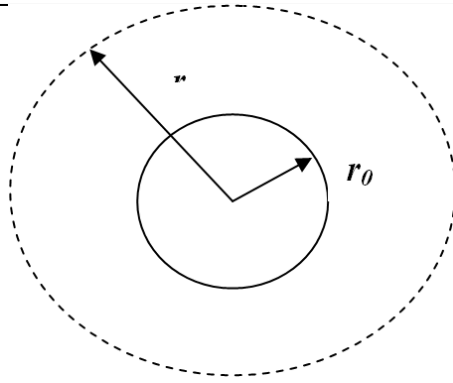
**Постановка завдання та його вирішення.** Головним завданням досліджень було вибрати можливі шляхи оперативного управління процесом утворення твердої фази важкорозчинних сполук на стадії коагуляції та шляхи оперативного управління процесом утворення осаду з метою підвищення ефективності запобігання надзвичайних ситуацій техногенного характеру при збільшенні солевмісту у воді поверхневого джерела.

Для вирішення поставленої задачі перш за все треба визначитися щодо основного показника для оцінки термодинамічної можливості утворення часток твердої фази на стадії коагуляції, з урахуванням технологічної можливості його збільшення чи зменшення для забезпечення необхідного управління цим процесом.

Розглянемо процес утворення часток твердої фази, як звичайний процес масопереносу, лімітуючою стадією якого є дифузія речовини з об'єму рідини на зародкову частку твердої фази. Якщо вважати протяжність середовища нескінченною, то можна провести теоретичний аналіз для стаціонарних умов. Нехай  $r$  є радіальна відстань від центру сферичної зародкової частки твердої фази радіусом  $r_0$  (рис. 1.), тоді мольний потік речовини, яка кристалізується, що надходить з оболонки радіусом  $r$  ( $r > r_0$ ) можна записати співвідношенням

$$j(4\pi r_0^2) = -D(4\pi r^2) \frac{dC}{dr}, \quad (1)$$

де  $j$  – мольний потік речовини на частку, яка кристалізується;  $D$  – коефіцієнт дифузії;  $C$  – концентрація речовини, що кристалізується у розчині.



**Рис. 1 – Схема утворення часток твердої фази**

Проведення інтегрування в границях від  $C = 0$  при  $r = r_0$  до  $C = C_0$  при  $r = \infty$

$$\int_{r_0}^{\infty} \frac{j r_0^2}{r^2} dr = \int_0^{C_0} -D dC, \quad (2)$$

де  $C_0$  – стехіометрична концентрація речовини, що кристалізується, у розчині, дає наступний вираз для визначення мольного потоку

$$j = \frac{D}{2r_0} C_0. \quad (3)$$

Розмір рівноважного зародку твердої фази та його залежність від параметрів розчину при ізотермо - ізобаричних умовах визначається з рівняння Оствальда – Фройндліха [12, 13]

$$\left( \ln \frac{C}{C_s} \right)_{T, P^{(\beta)}} = \frac{2\sigma V^{(\alpha)}}{r_0 RT}, \quad (4)$$

де  $C_s$  – гранична концентрація розчинності речовини, яка кристалізується;  $\sigma$  - поверхневий натяг речовини, що кристалізується;  $V^{(\alpha)}$  – мольний об'єм речовини, що кристалізується у твердій фазі;  $r_0$  – розмір рівноважного зародку твердої фази;  $P^{(\beta)}$  – тиск у рідкій фазі;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – температура. Тоді

$$r_0 = \frac{2M\sigma}{\rho RT \ln(C/C_s)}, \quad (5)$$

оскільки

$$V^{(\alpha)} = \frac{M}{\rho}, \quad (6)$$

де  $M$  – молекулярна маса речовини, що кристалізується;  $\rho$  – густина маса речовини, що кристалізується.

Таким чином, мольний потік речовини, яка кристалізується на частку зародку твердої фази визначається як

$$j = \frac{D\rho RT}{4M\sigma} C_0 \ln(C/C_s) = \beta C_0 \ln(C/C_s), \quad (7)$$

$\beta$  – коефіцієнт масовіддачі.

Аналогічний вираз було отримано для опису процесу утворення накипу карбонату кальцію на тепло передаючих поверхнях обладнання [14].

Виходячи з отриманої залежності, мольний потік речовини, яка кристалізується на частку зародку твердої фази від складу розчину, основним показником, щодо управління процесом утворення осаду доцільно обрати кристалізаційний напір, оскільки саме він міститься під логарифмом. Для врахування можливості утворення карбонату кальцію на стадії коагуляції при нестехіометричному співвідношенні концентрацій іонів кальцію і карбонат іонів, доцільно визначати кристалізаційний напір за наступною формулою

$$\eta = \frac{[Ca^{2+}] f_{Ca^{2+}} [CO_3^{2-}] f_{CO_3^{2-}}}{PP_{CaCO_3}}, \quad (8)$$

де  $[Ca^{2+}]$ ,  $[CO_3^{2-}]$  – концентрації відповідних іонів;  $f_{Ca^{2+}}$ ,  $f_{CO_3^{2-}}$  – коефіцієнти активності відповідних іонів;  $PP_{CaCO_3}$  – добуток розчинності карбонату кальцію.

Проведені лабораторні дослідження впливу складу теплоносія на швидкість утворення твердої фази карбонату кальцію з водних розчинів показали, що швидкість утворення твердої фази пропорційна ступеню пересичення розчину по карбонату кальцію (рис. 2), тобто підкоряється рівнянню (7).

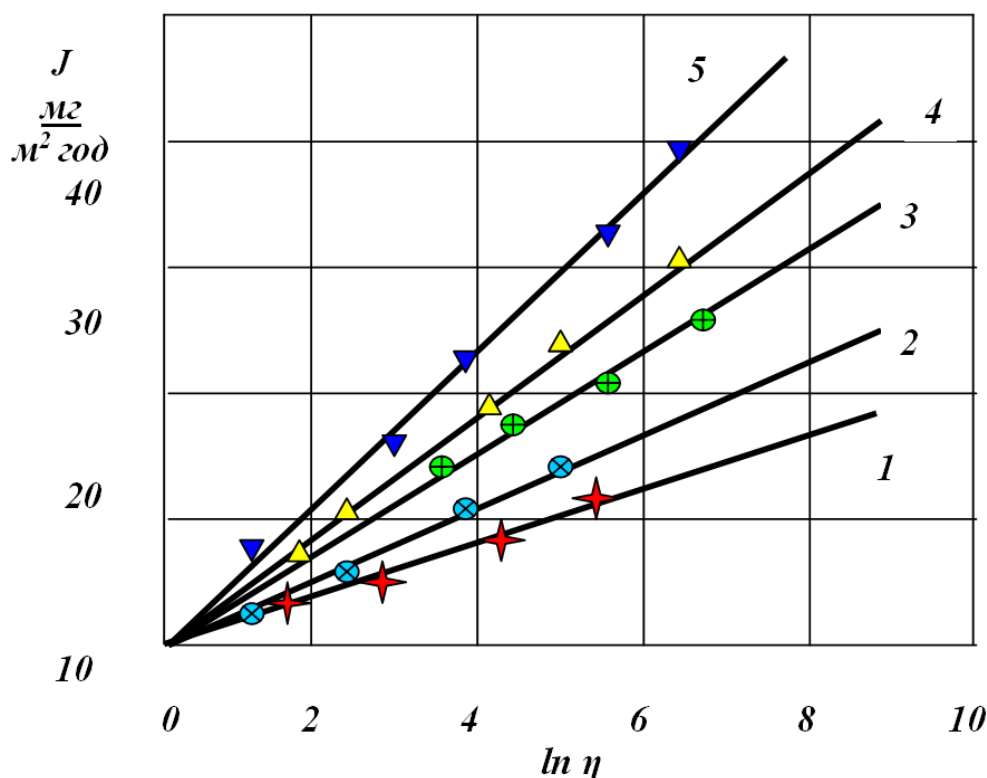


Рис. 2 – Залежність швидкості утворення твердої фази карбонату кальцію від ступеню пересичення розчину при стехіометричній концентрації карбонату кальцію у розчині, г/м<sup>3</sup>: 1 – 25, 2 – 50, 3 – 75, 4 – 100, 5 – 125

Додатковим підтвердженням вірності запропонованої моделі утворення часток твердої фази карбонату кальцію на стадії коагуляції є лінійний характер залежності  $\ln \beta = f(1/T)$ , отриманої в наслідок аналізу експериментальних результатів в діапазоні температур 293 – 598 К, що апроксимується рівнянням

$$\ln \beta = 0,8 - \frac{4224,4}{T}, \quad (9)$$

з коефіцієнтом кореляції 0,97 при середньоквадратичному відхиленні середнього 0,47.

Другою складною задачею було визначення кристалізаційного напору у вихідній воді Карачунівського водосховища, з урахуванням складного іонного складу її та визначення дози карбонату натрію, який треба додавати на стадії коагуляції для забезпечення ефективної швидкості утворення часток твердої фази карбонату кальцію.

Для визначення дійсних концентрацій іонів  $[Ca^{2+}]$ ,  $[CO_3^{2-}]$  враховувалися можливі процеси утворення іонних асоціатів, для чого була складена система рівнянь, що містила в собі:

– рівняння дисоціації

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [OH^-] \cdot f_{OH^-} = K_W \quad (10)$$

$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [OH^-] \cdot f_{OH^-} = K_1 \cdot [CaOH^+] \cdot f_{CaOH^+} \quad (11)$$

$$[CaOH^+] \cdot f_{CaOH^+} \cdot [OH^-] \cdot f_{OH^-} = K_2 \cdot [Ca(OH)_2^0] \cdot f_{Ca(OH)_2} \quad (12)$$

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-} = K_3 \cdot [CO_2^0] \cdot f_{CO_2} \quad (13)$$

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [CO_3^{2-}] \cdot f_{CO_3^{2-}} = K_4 \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-} \quad (14)$$

$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-} = K_5 \cdot [CaHCO_3^+] \cdot f_{CaHCO_3^+} \quad (15)$$

$$[CaHCO_3^+] \cdot f_{CaHCO_3^+} \cdot [HCO_3^-] \cdot f_{HCO_3^-} = K_6 \cdot [Ca(HCO_3)_2^0] \cdot f_{Ca(HCO_3)_2^0} \quad (16)$$

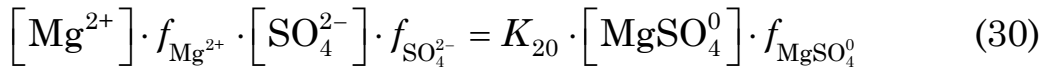
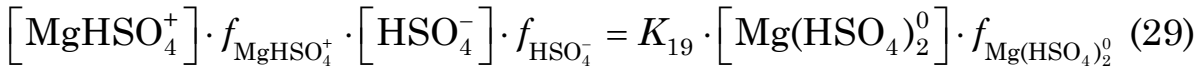
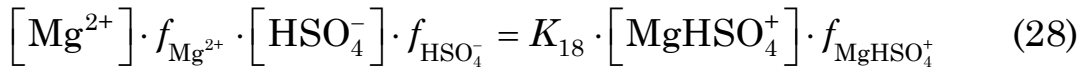
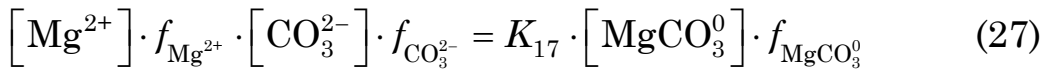
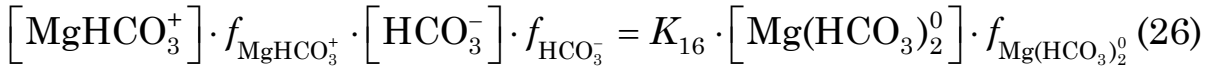
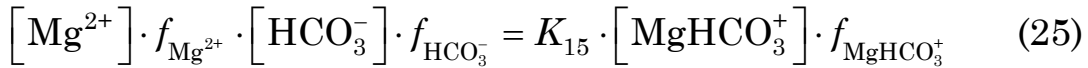
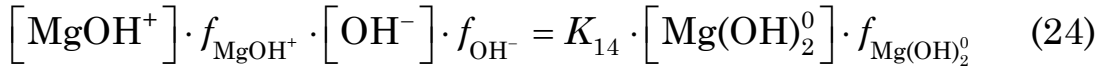
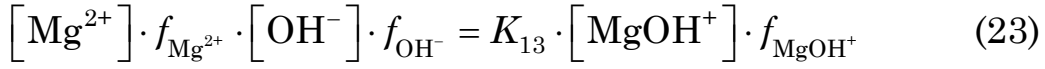
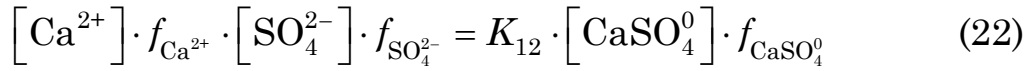
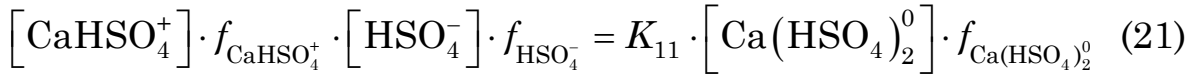
$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [CO_3^{2-}] \cdot f_{CO_3^{2-}} = K_7 \cdot [CaCO_3^0] \cdot f_{CaCO_3^0} \quad (17)$$

$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [SO_4^{2-}] \cdot f_{SO_4^{2-}} = K_8 \cdot [HSO_4^-] \cdot f_{HSO_4^-} \quad (18)$$

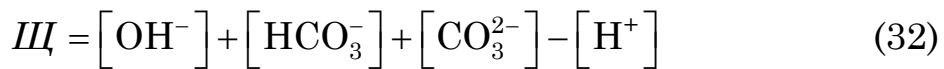
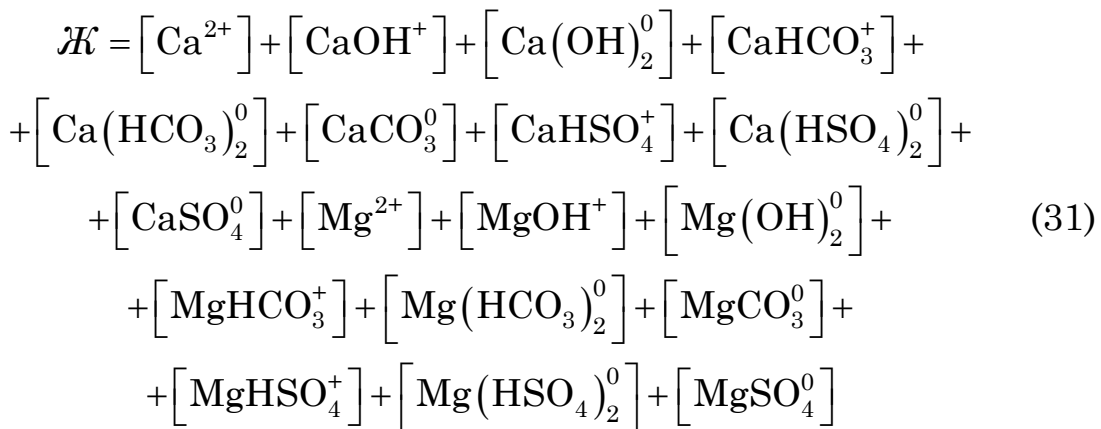
$$[H^+] \cdot f_{H^+} \cdot [HSO_4^-] \cdot f_{HSO_4^-} = K_9 \cdot [H_2SO_4^0] \cdot f_{H_2SO_4^0} \quad (19)$$

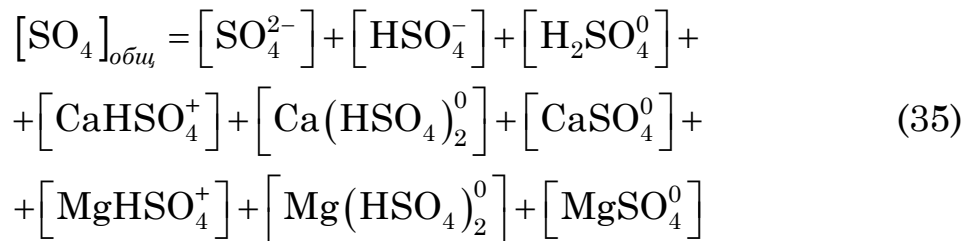
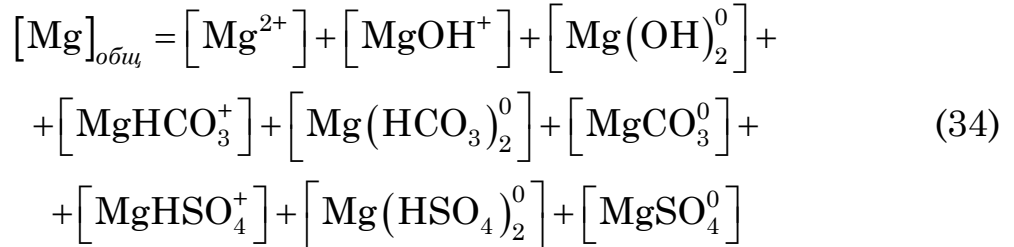
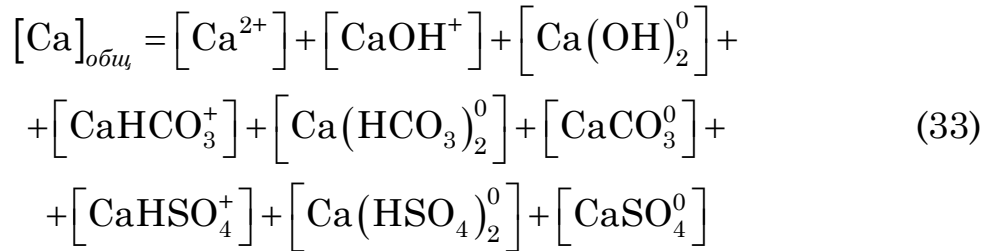
$$[Ca^{2+}] \cdot f_{Ca^{2+}} \cdot [HSO_4^-] \cdot f_{HSO_4^-} = K_{10} \cdot [CaHSO_4^+] \cdot f_{CaHSO_4^+} \quad (20)$$



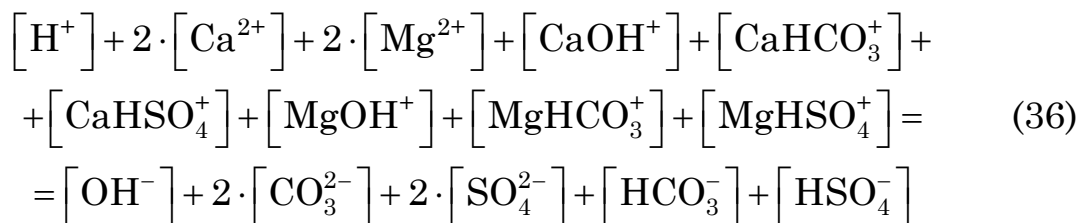


– матеріального балансу





– рівняння електронейтральності



Коефіцієнти активності іонів у розчині розраховувалися за розширеним рівнянням Дебая-Хюккеля [13] з урахуванням їх сумісного перебування у розчині [14], а для нейтральних іонних асоціатів за формулою [15]

$$\lg f_0 = -\frac{S^* \sqrt{I}}{1 + B^* r_i \sqrt{I}}, \tag{37}$$

де  $f_0$  – коефіцієнт активності іонного асоціату;  $S^*$ ,  $B^*$  – сталі, що характеризують розчинник;  $r_i$  – радіус іонного асоціату;  $I$  – іона сила розчину.

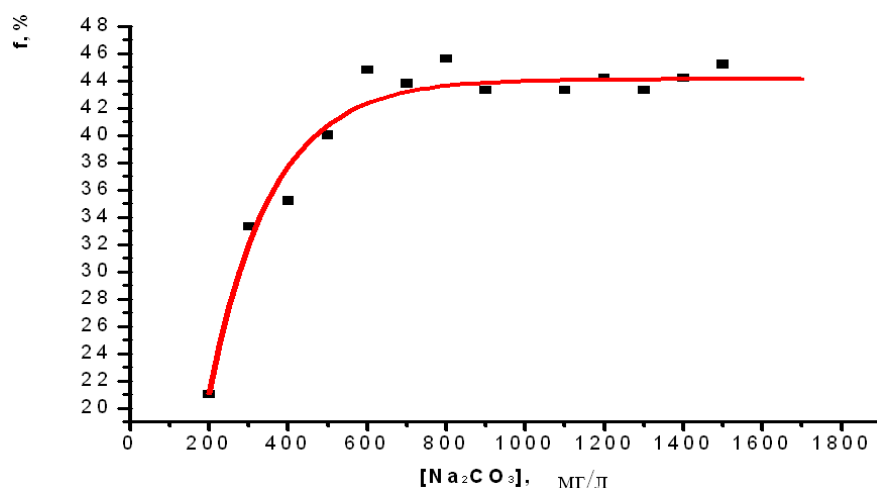
Термодинамічні константи рівноваги, які входять до рівнянь (2.3 – 2.29) для стандартних умов ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $P = 0,1013 \text{ МПа}$ ) розраховувалися за формулою [8]

$$K_i = \exp\left[-\frac{\Delta_r G_i(T)}{RT}\right]. \quad (38)$$

Зміни ізобарно-ізотермічного потенціалу  $\Delta_r G_i(T)$  для реакцій, що розглядаються, визначалися за допомогою рівняння

$$\Delta_r G_i(T) = \sum_j \nu_j \Delta_f G_j^0(T)_{\text{прод}} - \sum_i \nu_i \Delta_f G_i^0(T)_{\text{вих}}. \quad (39)$$

Розв'язання систем рівнянь (10 – 36) відбувалось методом ітерацій, для чого була розроблена програма “Kr-Karach” для персональної електронно-обчислювальної машини. Програма дозволяє визначити кристалізаційний напір у вихідній воді на основі даних її хімічного аналізу, розрахувати необхідну дозу карбонату натрію для ефективного утворення осаду карбонату кальцію на стадії коагуляції.



**Рис. 3 – Залежність ефективності виведення солей жорсткості з вихідної води Карачунівського водосховища від концентрації карбонату кальцію за дві години обробки**

Проведені експериментальні дослідження на реальній воді Карачунівського водосховища дозволили визначити, що при введенні у вихідну воду на стадії коагуляції карбонату кальцію у концентрації розрахованій кількості – 600 мг/л і більше, досягається

Третяков О.В., Пономаренко Р.В.

максимальна стабільна ефективність виведення іонів кальцію у тверду фазу на рівні 45% (рис. 3.), і загальний вміст солей жорсткості досягає нормативного рівню  $< 7,0$  мг/л.

Цей факт є підтвердженням запропонованої термодинамічної моделі, для реальних умов процесу підготовки питної води, а також дає можливість стверджувати про можливість оперативного управління процесом утворення осаду важкорозчинних сполук шляхом корегування швидкості утворення твердої фази на стадії коагуляції при введення у вихідну воду карбонату кальцію у необхідних для досягнення максимальної ефективності концентраціях.

**Висновок.** Побудована модель процесу утворення твердої фази на стадії коагуляції при виробництві питної води з поверхневого джерела водопостачання. Обґрунтована можливість оперативного управління процесом утворення осаду важкорозчинних сполук шляхом корегування швидкості утворення твердої фази на стадії коагуляції, з метою забезпечення подальшої ефективності стадій підготовки питної води та підвищення ефективності запобігання надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних зі збільшенням вмісту домішок у воді поверхневого джерела.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Загальнодержавна програма «Питна вода України на 2006-2020 роки» / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2005 с. 243-255. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Державні санітарні правила і норми “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання”. – Офіц. вид. – К.: М-во охорони здоров'я України, 1996. - постанова № 383 (Нормативний документ).
3. Белан Ф.И. Водоподготовка / Федор Иванович Белан. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
4. Технологічний регламент Карачунівського водопровідного комплексу. - Кривий Ріг: ДПП «Кривбасводопостачання» 2007, 100 с.
5. Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей / Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. - М.: Энергоиздат, 1982. – 200 с.
6. О. В. Третьяков. Розробка технології виробництва питної води високої якості для Карачунівського водопровідного комплексу.

- / О. В. Третьяков. – Харків: УЦЗУ, 2009. – 80 с. (звіт з НДР, Держ. реєстр. 0109U003067).
7. Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций / Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. - М.: Высшая школа, 1987. – 319 с.
  8. Langelier W.F. The analytical control of anti-corrosion water treatment / Langelier W.F. - JAWWA, 1936, v. 28, N 10, p. 548 – 572.
  9. Ryznar J.W. A new index for determining of amount of calcium carbonate scale formed by a water / Ryznar J.W. - JAWWA, 1944, v. 34, p. 276 – 281.
  10. Боднарь Ю.Ф. Выбор критерия для оценки накипеобразующих свойств охлаждающей воды / Юрий Федорович Боднарь. - М: Теплоэнергетика №7, 1979, с. 65 – 68.
  11. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления / Анатолий Иванович Русанов.- Л.: Химия, 1967. – 388 с.
  12. Третьяков О.В. Підвищення безпеки експлуатації теплообмінного обладнання енергетичних установок / Олег Вальтерович Третьяков. – Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 133-141 (зб. наук пр. Проблеми надзвичайних ситуацій).
  13. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Основы теоретической электрохимии / Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. - М.: Химия, 1984. – 239 с.
  14. Шепотько А.О. Вычисление коэффициентов активности в мультисистемах / Шепотько А.О. - Новосибирск: Наука, 1984. - С. 71 – 74 (сб.: Математические вопросы химической термодинамики).
  15. Marshall W.L., Slusher R., Jones E.U. Aqueous system at high temperature / Marshall W.L., Slusher R., Jones E.U. - J. Chem. Data., 1964, v. 19, N 2, p. 187 – 191.

Третьяков О.В., Пономаренко Р.В.

**Повышение эффективности предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного характера при производстве питьевой воды с поверхностных источников**

Обоснованы эффективные пути оперативного управления процессом образования осадка труднорастворимых соединений на стадии коагуляции и пути оперативного управления водно-химическим режимом процесса осадкообразования, с целью обеспечения производства питьевой воды, состав которой отвечает нормативным требованиям и предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера

**Ключевые слова:** осадок, коагуляция, водно-химический режим, производство питьевой воды

Tretiakov O.V., Ponomarenko R.V.

**Improving the efficiency of prevention nature of emergencies in the manufacture of drinking water from surface spring**

Substantiate the effective ways of operating the process of sediment compounds at the stage of coagulation and ways of operating water chemistry process of draft movements, to ensure the production of drinking water, composition of which complies with regulatory requirements and prevent emergency man-made disasters.

**Key words:** compounds, coagulation, water chemistry process, production of drinking water

**УДК 699.85**

*Халыпа В.М., канд. тех. наук, доц., НУГЗУ,  
Фесенко Г.В., канд. тех. наук, доц., НУГЗУ,  
Метелев В.А., студент, НТУ «ХПИ»*

**РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК ОТДЕЛЬНО  
РАСПОЛОЖЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Предложена расчётная модель исследования малых деформаций подпорной стенки защитного сооружения гражданской обороны в виде стержня с круговой осью в плоскости кривизны от действия гидростатического давления

**Ключевые слова:** гидростатическое давление, радиальные перемещения, изгибающий момент, малые деформации, уравнение Буссинэ, защитные сооружения, чрезвычайные ситуации

**Постановка проблемы.** При строительстве отдельно расположенных защитных сооружений гражданской обороны [1,2] в местах наиболее вероятного возникновения чрезвычайных ситуаций классов 11100 (гидродинамические аварии) и 20400 (гидрологические пресноводные чрезвычайные ситуации) [3] особое внимание уделяется конструкциям подпорных стенок и гидравлических затворов – устройств, препятствующих проникновению воды, из одного пространства в другое. В связи с этим расчёт их напря-