

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОЧИЩЕННЯ ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ  
ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

*В статті розглядаються локальні системи оборотного водопостачання з точки зору раціонального використання чистої води та видалення забруднень. Проблема оптимізації полягає в узгодженні ефективності роботи всіх елементів системи як при накопиченні забруднень в оборотному циклі, так і при їх видаленні в очисних пристроях. Для забезпечення безпродувочного режиму експлуатації системи потрібно, щоб швидкість накопичення окремих компонентів забруднень в циклі була компенсована адекватною швидкістю очищення циркуляційної води. Використання циркуляційних систем водопостачання в безпродувочному режимі призводить до підвищення концентрації забруднень, баланс яких слід забезпечити спеціальними заходами та пристроями диференційованого очищення.*

*Ключові слова: циркуляційна система водопостачання, диференційована інтенсивність накопичення забруднень, видалення забруднень, циркуляційний ерліфт.*

A.B. SHANDYBA, D.M. SHPETNY  
Sumy National Agrarian University, Ukraine

**TECHNOLOGICAL FEATURES OF CONTAMINANTS TREATMENT  
FOR LOCAL CIRCULATION WATER SYSTEMS**

*This paper relates to the recycling water supply systems under consideration rational use of clean water as well as improving wastewater and sludge treatment. The optimization problem is that the recycling water supply has to be a complex system of individual tools should be an effective part of it. To except blowing the different intensity of contaminants accumulation in such systems must be compensated by means of the adequate intensity of contaminants removing. The use of recycling water supply systems under non-blowing operation results in the contaminants accumulation and exceeding concentration limits for circulation water. The balance of accumulation and contaminants removing is provided by special treatment devices.*

*Key words: recycling water supply systems, non-blowing operation, different intensity of contaminants accumulation, contaminants removing, airlift circulation.*

**Вступ.** Експлуатація систем оборотного водопостачання за мінімального продування, або в повністю замкнутому безстічному режимі пов'язана з накопиченням важковилучуваних забруднень, які призводять до порушень технологічного процесу. Для очищення води в таких системах можуть застосовуватися очисні установки різного типу та конструктивного вирішення, але продуктивність найбільш ефективних із них лімітована досить жорсткими економічними вимогами. Дійсно, такі методи глибокого очищення води, як електроліз, термознесолювання, сорбція, гіперфільтрація тощо, знаходять практичне застосування головним чином для невеликих витрат.

В сучасному виробництві застосовуються головним чином локальні одно- та двоступеневі оборотні системи в режимі з продувкою та/чи з використанням реагентів. Характерним прикладом диференційованого накопичення та вилучення забруднень є оборотна система водяного охолодження теплонавантажених поверхонь. Тут основним легковилучуваним компонентом виступає температурне забруднення, а важковилучуваним – солі твердості, накопичення яких призводить до інкрустації елементів системи. В цьому разі, якщо для охолодження води передбачена градирня, то мінералізація обмежується лише продуванням системи. Застосування інгібуючих добавок призводить до встановлення сольового балансу в системі за рахунок гідравлічного виносу в градирнях (тобто специфічної продувки, пропорційної відповідному підвищенню допустимої мінералізації циркуляційної води), але без потреби в спеціалізованих очисних знесолювальних апаратах.

**1. Огляд проблеми.** Беручи до уваги всі види традиційних схем, в багатьох випадках продування можна повністю виключити додатковим байпасним ступенем коригування солевмісту циркуляційної води на основі термореагентної обробки, іонного обміну, гіперфільтрації та інших методів глибокого очищення води [1-5]. У зв'язку з більш високою вартістю експлуатації замкнутих оборотних систем виникає проблема максимально можливого скорочення гідравлічного навантаження на апарати коригування солевмісту. В такому разі технічно виправданим рішенням може бути застосування диференційованого очищення за умови балансу надходження та вилучення кожного компонента забруднення згідно з рівнянням:

$$\sum_n Q_n E_m C_m = C_i (r + g) + M_i - G_i \quad (1)$$

де  $Q_n$  – продуктивність n-го ступеня очищення;

$E_m C_m$  – відповідно, ефективність очищення та концентрація  $i$ -го

компонента в циркуляційній воді, яка надходить на n-й ступінь системи;

$C_i$  – концентрація  $i$ -го компонента в додаваній свіжій воді;

$r, g$  – відповідно, втрати циркуляційної води на випаровування та гідравлічний винос;

$M_i$  – інтенсивність надходження  $i$ -го компонента в систему від технологічного процесу;

$G_i$  - інтенсивність витрат  $i$  - го компонента в циклі.

Таким чином, наближену оцінку можливості зниження розрахункових витрат  $Q_n$  відносно кожного спеціалізованого очисного апарата можна зробити виключивши гідравлічні втрати, тобто  $(r + g) = 0$ . Враховуючи  $E_{in} = 0$ , як що  $i = n$ , отримаємо з виразу (1) наступну умову застосування двоступеневої схеми:

$$\frac{M_1 - G_1}{E_{11} C_1} > \frac{M_2 - G_2}{E_{22} C_2}, \quad (2)$$

де  $C_1, C_2$  – гранично допустимі значення концентрацій лімітуючих компонентів в циркуляційній воді, вилучуваних відповідно на I та II ступені очищення з ефективністю  $E_{11}$  та  $E_{22}$ .

**2. Мета роботи.** Запропонувати схему та конструктивні елементи локальних очисних установок оборотного водопостачання з диференційованим очищенням циркуляційної води.

**3. Принцип роботи газоочисної установки з циркуляцією поглинаючого розчину.** На рис.1 зображено газоочисну установку для реалізації запропонованої диференційованої двоступеневої схеми, яка включає скруббер 1 з подавальним 2 та відвідним 3, зрошувачем 4, каплевловлювачем 5 та шламозбірником 6. У процесі роботи частина циркуляційної води, підігріта в результаті контракту з димовими газами, подається в теплообмінник 7, де доводиться до температури кипіння, після чого її, не охолоджуючи, нейтралізують вапном та очищають від осадів. Після такої високотемпературної обробки байпасного потоку досягається стабілізація всієї циркуляційної води за рахунок більш ефективної кристалізації та видалення солей твердості з оборотного циклу.

Виробничими об'єктами застосування цієї системи можуть бути підприємства хімічної промисловості та енергетичного комплексу, в тому числі АЕС. Не слід також виключати умови реалізації більш складної триступеневої диференційованої інтенсивності надходження окремих компонентів забруднень, необхідності безстічного режиму та виключення продувань.

Таким чином, постановка питання нерівномірності накопичення та видалення забруднень різної природи в системах оборотного водопостачання дала можливість запропонувати диференційовану схему глибокого очищення циркуляційної води для безпродувочного режиму експлуатації. Показано що розділення циркуляційного контуру та глибоке очищення байпасного потоку більш доцільні при відносно незначній інтенсивності накопичення важковилучуваних компонентів забруднень.

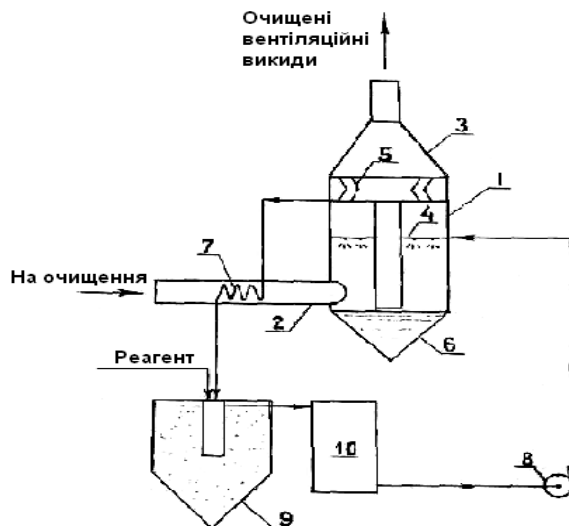


Рис.1. Принципова схема газоочисної установки з циркуляцією поглинаючого розчину

**4. Застосування ерліфтів для циркуляції поглинаючого розчину.** Ерліфти є специфічним видом насосів, у яких одночасно здійснюється циркуляція та перемішування розчинів при промиванні, пасивуванні та нанесенні функціональних покриттів на поверхню сталевих прокату або металовиробів (рис.2). Запропоновані компактні установки відрізняються простотою конструкції, надійні в експлуатації і можуть застосовуватися для забруднених розчинів з абразивними компонентами.

Одна з найбільш економічних промислових промивних установок [4] складається з ванни 1 зі збірними ринвами 2, розділена перегородкою 3 на секції, кожна з яких обладнана циркуляційним ерліфтом 4, з'єднаним з перфорованою розподільною трубою 5. При подачі стисненого повітря утворюється водоповітряна суміш, яка через отвори розподільних труб надходить у секції ванни.

Турбулізація розчину поблизу розподільних труб призводить до інтенсивного змиву забруднень з поверхні оброблюваного металокорда. Частина забрудненої промивної води з першої секції по ходу металокорда переливається в цехову каналізацію. Компенсація продувних витрат на першій секції промивання забезпечується за рахунок перетікання менш забрудненої води з другого ступеня через гребеневу перегородку 3, що розділяє секції. Підживлення другої секції здійснюється з душевого колектора 6.

До переваг подібної системи слід віднести низький робочий тиск повітря, що дозволяє використати замість компресорного відносно дешевого повітря відцентрових повітродувок. Результати досліджень показали також, що існуючі напівемпіричні моделі процесу потребують уточнення для коротких циркуляційних ерліфтів.

Розглянемо деякі гідравлічні особливості роботи ерліфтів у промивних установках такого типу. З досвіду експлуатації відомі специфічні гідродинамічні явища, що відбуваються з водоповітряною сумішшю при русі її усередині подаючої труби. Одним з них є те, що стиснене повітря після змішування з водою піднімається нагору швидше, ніж вода, що його захоплює, а внаслідок цього виникає так зване "проковзування" потоків. При збільшенні частки повітря у водоповітряній суміші, втрати енергії, викликані

відносним рухом води й повітря, у загальному балансі будуть превалювати над втратами тертя об стінки подаючої труби, і буде спостерігатися істотне зниження к.к.д ерліфтної установки. Слід також зазначити, що відносний рух води і повітря в піднімальній трубі буде спостерігатися незалежно від того, заповненій повітрям весь перетин труби, чи повітря піднімається окремими пухирцями.

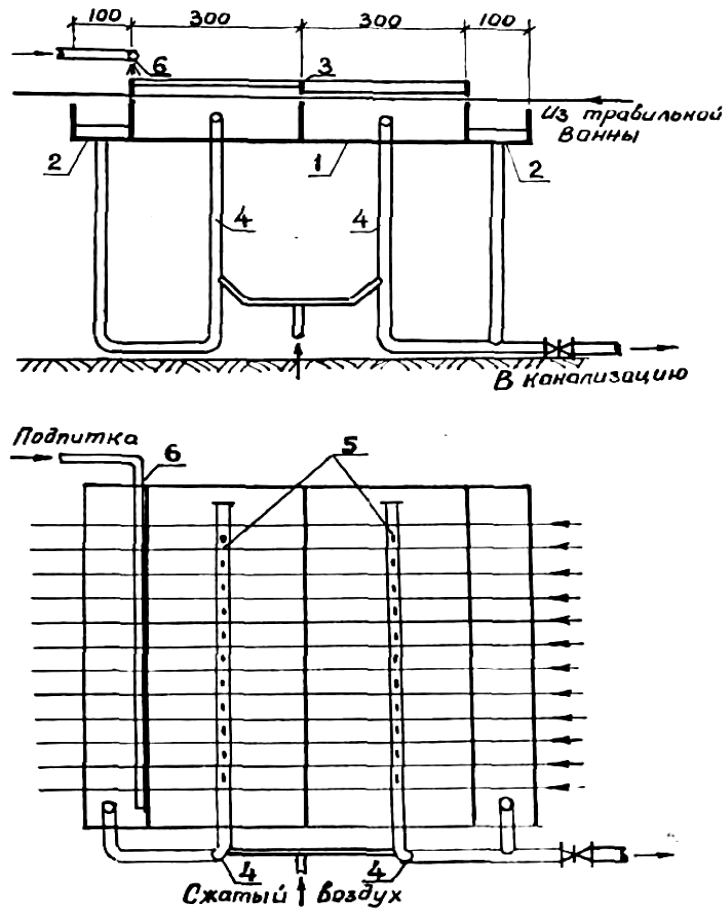


Рис. 2. Установка для обработки поверхности металлокорду

Кількісне співвідношення густини повітря та води у водоповітряній суміші, що створюється ерліфтом, можна оцінити наступним виразом

$$\rho_c = \rho \frac{q}{q + kQ}, \quad (3)$$

де  $\rho$ ,  $\rho_c$  - відповідно, щільність води та водоповітряної суміші;

$q$ ,  $Q$  - витрати води та повітря відповідно;

$k$  - гідродинамічний коефіцієнт, що характеризує відносну кількість повітря, яка створює водоповітряну суміш (к.к.д. змішування).

Слід зауважити, що підйом промивної рідини на висоту  $h$  можливий лише при виконанні умови

$$\rho_c = \rho \frac{H}{h + H}, \quad (4)$$

де  $H$  - глибина занурення повітряного патрубку відносно рівня води в секції;

$h$  - робоча висота підйому, що дорівнює різниці рівнів води в секції та збірній ринві.

З іншого боку, витрата повітря, що надходить в ерліфт, залежить від глибини занурення повітряного патрубку  $H$  та розрахункового тиску, що створюється повітродувкою  $H_0$

$$Q = \mu S_0 \sqrt{2g(H_0 - H)}, \quad (5)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт витрати,  $S_0$  - площа перетину повітряного патрубку.

З урахуванням наведених залежностей (3-5) можна записати

$$\alpha = \frac{H}{H + h} = \frac{q}{q + A\sqrt{H_0 - H}}, \quad (6)$$

де  $\alpha = \rho_c / \rho$  - частка повітря у водоповітряній суміші (водоповітряне відношення);

$A = k\mu S_0 \sqrt{2g}$  - параметр продуктивності ерліфта.

Остаточний вираз, зручний для обробки експериментальних даних, матиме вигляд

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} q = A\sqrt{H_0 - H} \quad (7)$$

Результати промислових випробувань запропонованої конструкції [2, 3] при мінімальній кількості секцій обробки (попередня і чистова) та відносній глибині занурення повітряного патрубку в межах 0,45 - 0,90 підтвердили її адекватність для чисельного значення параметра ерліфта  $A = 0,65$ .

**Висновки.** При високотемпературній обробці байпасного потоку досягається стабілізація всієї циркуляційної води за рахунок більш ефективної кристалізації та видалення солей твердості з оборотного циклу.

Максимальна техніко-економічна ефективність інтенсифікації обробки металокорду у ваннах безперервно-травильних агрегатів за рахунок використання коротких ерліфтів досягається в комплексі водооборотної системи з локальними очисними спорудами.

Визначені гідродинамічні параметри роботи коротких ерліфтів в промивних протитечійних багатоступеневих ваннах обробки поверхні металокорду.

### Література

1. Алферова Л. А., Нечаев А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / Под общ. ред. С. Яковлева. М. : Стройиздат. 1984. 272 с.
2. Семенов В. Д., Когановский А. М., Воловиков А. Н. Эксплуатация бессточных промышленных комплексов водоснабжения. К. : Техніка. 1985. 168 с.
3. Шандыба О.Б. Рациональне використання води при багатоступеневому промиванні.- Вісник СДАУ, № 6, сер. «Механізація та автоматизація виробничих процесів»,- Суми: Козацький Вал, 2001.- С.180 - 184.
4. Shandyba A.B. Application of Lagrangian methods for optimization of interaction in aquatic systems The exploitation of natural resources and the consequences: The proceedings of GREEN 3: the 3rd International Symposium on Geotechnics Related to the European Environment held in Berlin, Germany, June 2000.
5. А.С. 1761819, СССР, МКИ С23 G3/02. Установка для жидкостной обработки поверхности проволоки.

### References

1. Alferova L. A., Nechaev A. P. Zamknutye sistemy vodnogo khozyaystva promyshlennykh predpriyatiy, kompleksov i rayonov / Pod obshch. red. S. Yakovleva. M. : Stroyizdat. 1984. 272 s.
2. Semenyuk V. D., Koganovskiy A. M., Volovikov A. N. Eksplyuatatsiya besstochnykh promyshlennykh kompleksov vodosnabzheniya. K. : Tekhnika. 1985. 168 s.
3. Shandy'ba O.B. Racional'ne vy'kory'stannya vody' pry' bagatostupenevomu promy'vanni.- Visny'k SDAU, № 6, ser. «Mexanizatsiya ta avtomaty'zatsiya vy'robny'chy'x procesiv»,- Sumy': Kozacz'ky'j Val, 2001.- S.180 -184.
4. Shandyba A.B. Application of Lagrangian methods for optimization of interaction in aquatic systems The exploitation of natural resources and the consequences: The proceedings of GREEN 3: the 3rd International Symposium on Geotechnics Related to the European Environment held in Berlin, Germany, June 2000.
5. A.S. 1761819, SSSR, MKI S23 G3/02. Ustanovka dlya zhidkostnoy obrabotki poverkhnosti provoloki.

Рецензія/Peer review : 5.2.2016 р. Надрукована/Printed : 26.3.2016 р.