



## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ДИСПЕРСІЙНИХ ЧАСТИНОК ПРИ ВОДОПІДГОТОВЦІ ВАПНУВАННЯМ ТА СТАБІЛІЗАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ ВОДИ НА АЕС

**ПАВЛО КУЗНЕЦОВ**

Головний фахівець відділу головного технолога філії «ВП «Рівненська АЕС», аспірант «Національного університету водного господарства та промисловості»

### Водопідготовка на АЕС як інструмент дослідження

На електростанціях вода широко використовується в багатьох технологічних процесах. Якість води може вплинути на роботу електростанції, тому для потреб АЕС вода повинна відповідати високим вимогам до показників якості та повинна бути очищена від домішок шляхом застосування ефективних процесів водопідготовки.

Освітлення шляхом вапнування широко застосовуються в процесах водопідготовки електростанцій завдяки ефективності у видаленні катіонів твердості ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), простоті реалізації технології та низької вартості.

Основним призначенням системи охолодження є відвід тепла для того, щоб елементи та системи атомної електростанції працювали з максимальною ефективністю. Потрапляючи в систему охолодження вода під дією багатьох факторів змінює свій фізико-хімічний склад та концентрується внаслідок випаровування, через що можуть відбуватися процеси утворення накипу з утворенням осадів карбонату чи сульфату кальцію, гідроокису магнію.

Для мінімізації накипоутворення в охолоджуючій системі застосовують стабілізаційну обробку сірчаною ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) та 1-гідроксиетиліден-1,1-дифосфоновою (ОЕДФ) кислотами. Метою досліджень було визначення процесів формування хімічного складу, зміни розмірів і структури дисперсійних частинок, що утворюються при вапнуванні та стабілізаційної обробці охолоджувальної води  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та ОЕДФ.

**Для потреб атомної електростанції вода повинна відповідати високим вимогам до показників якості та повинна бути очищена від домішок шляхом застосування ефективних процесів водопідготовки.**



### Технічні та експериментальні деталі дослідження, а також результати системи додаткової води циркуляційної системи РАЕС

Об'єктом дослідження є система додаткової води циркуляційної системи Рівненської АЕС (РАЕС). Водопідготовка охолоджувальної води циркуляційної системи Рівненської АЕС включає попередню обробку вапнуванням в освітлювачах та стабілізаційну протинакипну обробку і включає зазначені методи (рис. 1), продуктивність водопідготовки РАЕС становить до 8000 м<sup>3</sup>/год. Визначення розміру дисперсійних часток виконували HIAC/ROYCO 8000A [1], вміст у воді виконували згідно [2], хімічний склад відповідно [3], оптичні зображення отримували за допомогою мікроскопа з 20-кратним об'єктивом, проби фільтрували за допомогою фільтрів NY41 та NY20.

Вапнування призводить до зниження концентрації бікарбонатних і карбонатних іонів на 35%, подальша стабілізаційна обробка H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + ОЕДФ нейтралізує вільну лужність і зменшує вміст карбонатних іонів, а загальне зниження концентрації бікарбонатних і карбонатних іонів становить до 70%. Кальцій та сульфат-іони при вапнуванні зменшуються до 60%, а подальша стабілізаційна обробка не впливає на їх вміст (рис. 2).

Хімічний склад дисперсійних частинок у воді р. Стир визначається вмістом органічних речовин до 20% (OMLH), карбонату кальцію до 46% (IMLH+CaO) та сполук кремнію до 22% (SiO<sub>2</sub>), хімічний склад завислих речовин у воді після водопідготовки вапнуванням та стабілізаційної обробки H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+ОЕДФ визначається вмістом неорганічних втрат маси при нагріванні (IMLH) та карбонату кальцію до 96% (IMLH+CaO).

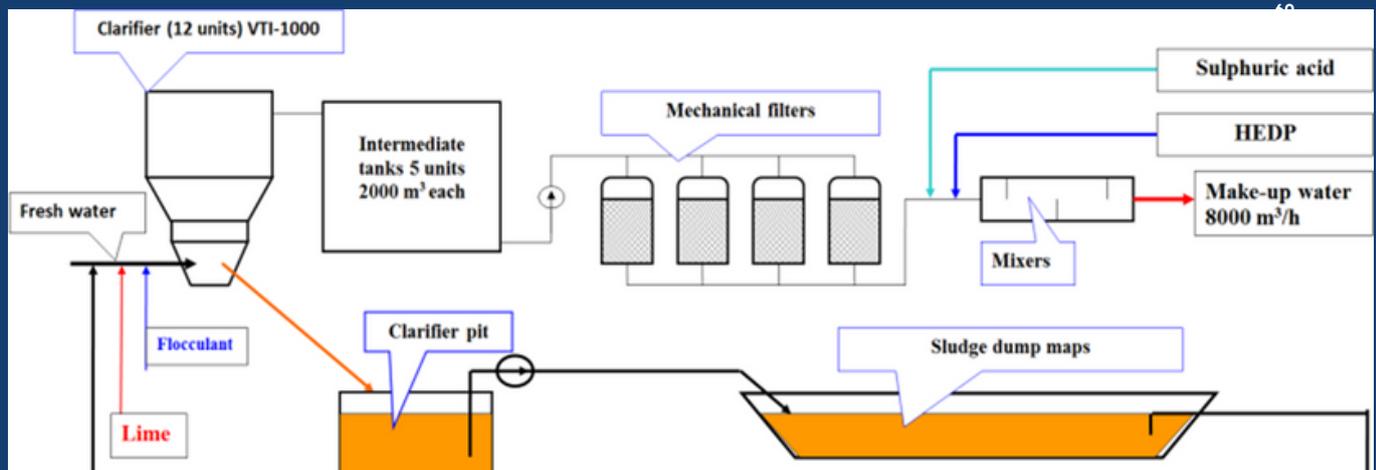


Рис. 1. Схема водопідготовки додаткової води РАЕС

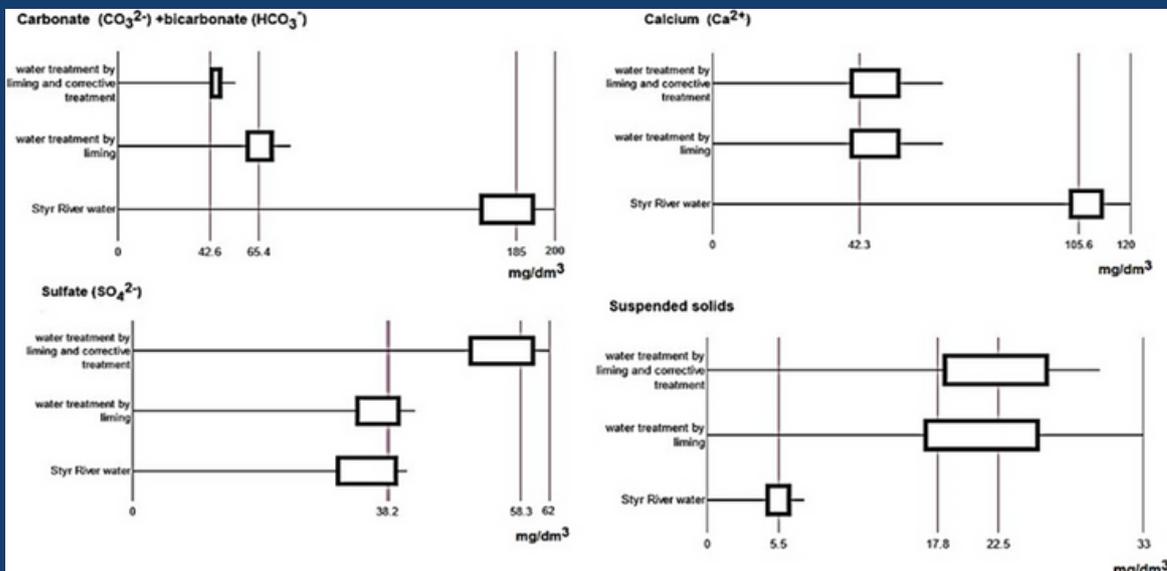
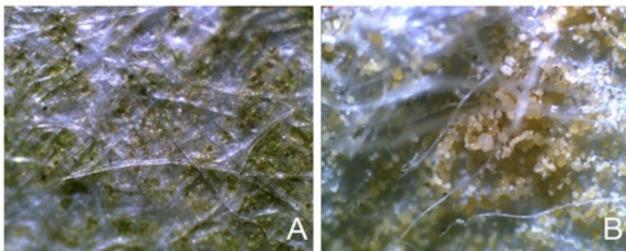


Рис. 2. Зміна показників якості при РАЕС

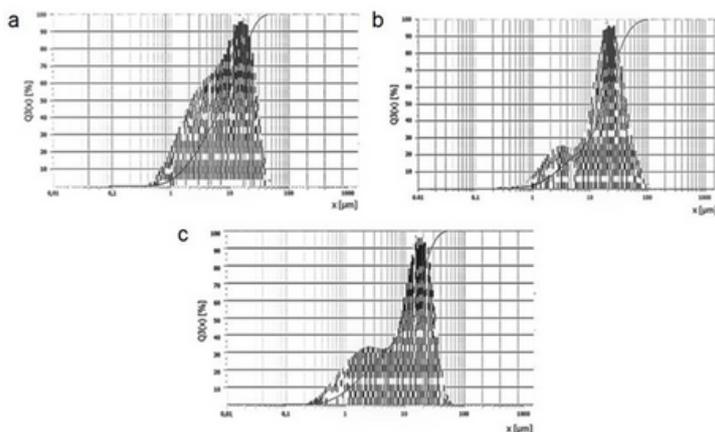
## Зміни дисперсного складу частинок під час водопідготовки

Для води р. Стир дисперсійні частинки - це частинки з розміром фракції 0.5-50 мкм, з максимальним вмістом до 78 % фракції розміром 10-20 мкм (рис. 5a). Для води, що пройшла вапнування розмір фракції складає в діапазоні 0,5-100 мкм, з максимальним вмістом до 80.5 % фракції 20-30 мкм (рис. 5b). При обробці води вапнуванням та стабілізаційною обробкою  $H_2SO_4$ +ОЕДФ- частинки з розміром фракції 0.5-80 мкм, з максимальним вмістом 75.6 % частинок розмірів 20-30 мкм (рис. 5c).



**Рис. 3. Структура дисперсійних частинок (а - р. Стир, b - при вапнуванні)**

В процесі обробки води вапнуванням спостерігається зміна та збільшення розміру частинок, враховуючи зміни їх хімічного складу (рис. 2), можна констатувати, що утворюються нові частинки, які є визначальними у формуванні загального вмісту, що супроводжується зменшенням розміру частинок дисперсної фази, загальної жорсткості та збільшенням вмісту  $SO_4^{2-}$ . В порівнянні з водою р. Стир та в технологічних водах РАЕС в процесі водопідготовки відбувається зміна якісного та кількісного складу дисперсійних частинок.

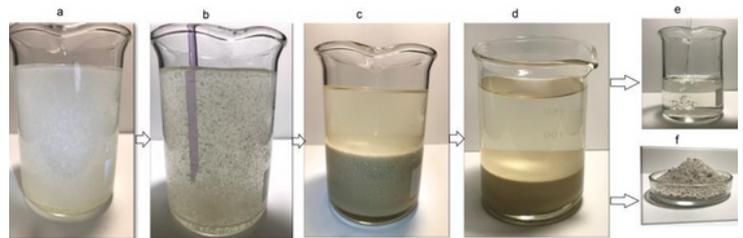


**Рис. 5. Розподіл розміру частинок (а - р. Стир, b - при вапнуванні, c - при вапнуванні та  $H_2SO_4$ +ОЕДФ)**

У воді р. Стир та в технологічних водах РАЕС в процесі водопідготовки помітна зміна їхнього якісного складу зі зміною розміру частинок (рис. 5). Мікродисперсні частинки у воді р. Стир кількісно переважають великі аморфні частинки неправильної форми (рис. 3a). Для частинок технологічних водах РАЕС в процесі водопідготовки, присутні великі частинки, близькі за формою до правильних кристалів, оточені частинками дрібної фракції (рис. 3b).

**Це спостереження може підтвердити, що кристали відіграють вирішальну роль у подальшій агрегації частинок і є коагуляційними агрегатами інших фракцій, що сприяє їх подальшій агрегації в охолоджуючій воді.**

Можна припустити, що на подальшу швидкість агломерації кристалічної фази в системах охолодження впливає швидкість руху, перемішування і температура (рис. 4).

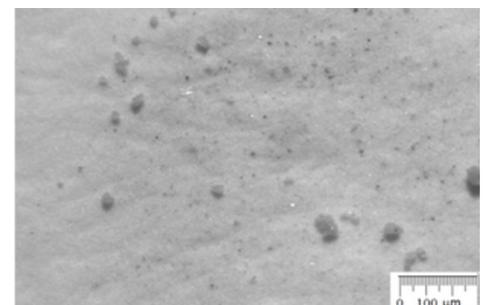


**Рис.4. Формування осаду при вапнуванні залежно від часу контакту ( а -3 хв, b - 15 хв, c- 30 хв, d - 40 хв, e - 80 хв для води, та f - для осаду)**

## Видалення дисперсійних частинок після водопідготовки шляхом фільтрування

Згідно з вимогами до якості води [4], вапнування забезпечує очищення води від іонів кальцію, бікарбонатних та карбонатних іонів, а вимоги щодо дотримання нормованого значення завислих речовин не більше  $10 \text{ мг/дм}^3$  в очищеній воді не додержується, що потребує додаткових методів очищення.

**Рис. 6. Дисперсійні частинки після фільтрування на NY20 (розмір пор 20 мкм)**



При застосуванні фільтрації на фільтрах з розміром пор 40 мкм та 20 мкм досягається ефективність видалення дисперсійних частинок 20 % та 70 % відповідно. При застосуванні фільтрації на фільтрах з розміром комірки 20 мкм досягається прийнятна ефективність (рис. 6).



Рис. 7. Споруди очищення додаткової води РАЕС



Рис. 8. Оборотна система охолодження РАЕС

Отже, вапнування забезпечує очищення води за основними компонентами, що утворюють накип: зниження концентрації бікарбонатних та карбонатних іонів до 70 %, іонів кальцію до 60 %. Зміни хімічного та гранулометричного складу дисперсійних частинок свідчать про утворення нових частинок, які є визначальними у формуванні загального вмісту завислих речовин в очищеній воді при вапнуванні. Враховуючи результати визначення концентрації завислих речовин та їх гранулометричний склад, для очищення слід використовувати фільтри з порами 20 мкм, що дозволяє відокремити завислі частинки від очищеної води.

### Режим антинакипної корекційної обробки охолоджуючої води оборотної системи РАЕС оксиетилідендифосфопоною кислотою

Режим антинакипної корекційної обробки охолоджуючої води оборотної системи РАЕС оксиетилідендифосфопоною кислотою (ОЕДФ) дозволяє ефективно зменшити процеси накопування в оборотній системі охолодження (ОСО). Оптимізація використання реагентів для антинакипної корекційної обробки дозволяє мінімізувати кількість реагенту, що використовується для обробки. Основа моделі варіабельного дозування полягає в контролі показників якості води та регулювання дозування реагентів в залежності від зміни цих параметрів, що дозволяє забезпечити оптимальне використання реагентів та знизити їх витрати. Запроваджена модель варіабельного дозування реагенту ОЕДФ для обробки охолоджуючої води РАЕС та визначається фактичним значеннями карбонатної жорсткості охолоджуючої води та коефіцієнтом випаровування ф. Варіативність дозування ОЕДФ може мати періодичне як збільшення, так і зменшення величин дози, у порівнянні зі дозуванням у сталій концентрації.

Для ОСО РАЕС за період варіабельного дозування спостерігається зниження витрат ОЕДФ, в середньому в 3,7 рази (на 10 т.) та зниження концентрації в додатковій охолоджуючій воді (в середньому на 36 %), що відповідно знижує витрати на обробку на 500 тис. грн. Застосування варіабельне дозування ОЕДФ не вплинуло на інтенсифікацію процесів утворення накипу в ОСО, отже використання варіабельного дозування ОЕДФ для антинакипної корекційної обробки охолоджуючої води є доцільним з технологічної, економічної та екологічної точок зору.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 21501-2, -3, -4 Determination of particle size distribution – Single particle light interaction methods
2. KND 211.1.4.039-95 Methodology for gravimetric determination of suspended (suspended) substances in natural and wastewater, Ministry of the Environment, Kyiv.
3. GKD 34.37.304-2003 "Control of the state of the main equipment of power plants. Determination of the chemical composition of sediments. Methodical guidelines" Ministry of Energy of Ukraine, Kyiv.
4. DSTU ISO 5667-6:2009 Water quality. Sampling of samples. Part 6: Guidelines for sampling from rivers and streams (ISO 5667-6:2005, IDT).