

**ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕСТОВОГО ПРИЛАДУ
ЕЛЕКТРОННОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ «HydroFLOW» І
ДОВГОТРИВАЛОГО МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
НА ОБ'ЄКТАХ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Кюрчев Володимир Миколайович¹, *член-кореспондент НААН України*, д.т.н.,
професор, **Ректор**,

Мовчан Сергій Іванович¹, к.т.н., доцент,
завідувач кафедри геоecології та землеустрою,

Голова басейнової ради річок Приазов'я,

¹*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.*

Щелкунов Володимир Ігорович², д.е.н., професор,

²**Президент ІСС Ukraine**, член Урядового комітету КМУ,
член Світової Ради міжнародної торгової палати, м. Київ, Україна.

Ваврикович Володимир Мирославович³, інженер, **Генеральний директор**

³*Товариство з обмеженою відповідальністю «Гідрофлоу Україна», м. Київ, Україна.*

Андріанов Олександр Анатолійович⁴, к.т.н., **Керівник**

⁴*Запорізьке регіональне представництво Українського національного комітету
міжнародної торгової палати (ІСС UKRAINE) м. Запоріжжя, Україна.*

Бережецький Олександр Васильович⁵, к.т.н., **Фінансовий директор**

⁵*Товариство з обмеженою відповідальністю «САВ КОМПЛЕКТ»
м. Запоріжжя, Україна.*

Анотація. Наведено результатами підсумків виробничих випробувань
тестового приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» на системі
охолодження маслованни підшипнику та електродвигуна насосної станції № 20
бризкальних басейнів циркуляційної системи виробничого підприємства «Запорізька
АЕС» державного підприємства «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ».

Ключові слова: електрична станція, прилад електронної водопідготовки,
біологічні відкланення, продукти корозії, кальцитні відклади.

Вступ. Атомні електричні станції відрізняються великим водоспоживанням.
Так, 1 енергоблок атомно-електрична станція (АЕС) ВВЕР-1000 споживає 200 000
тон води в годину (55,5 м³/сек).

Атомні електростанції відносяться до потенційно радіаційно небезпечних
об'єктів (РАНО). Підвищення надійності роботи всіх їх систем, в тому числі і
системи водопостачання, є важливим завданням по забезпеченню екологічної
безпеки [1].

Всі системи охолодження на АЕС об'єднують в єдину і називають системою
технічного водопостачання, яка, багато в чому, визначає надійність і економічність
роботи АЕС. Капіталовкладення в її спорудження оцінюються на рівні 10% від
вартості кіловата встановленої потужності.

Основними споживачами технічної води на АЕС є конденсатори парових турбін, маслоохолоджувачі і повітроохолоджувачі турбогенераторів, підшипники насосів та інших допоміжних агрегатів, теплообмінники вентиляційних систем, теплообмінники доохолодження продувної води парогенератора та ін. [2].

Таким чином, все більш актуальним стає питання організації, при експлуатації і ремонтах атомних електростанцій, технічно, економічно та екологічно ефективних методів боротьби з формуванням карбонатних і біологічних відкладів (включаючи біоплівку і обростання молюсками) на робочих поверхнях труб і устаткування в процесі циркуляції води різного ступеня попередньої підготовки.

Обґрунтування обраного напрямку досліджень. На технологічні потреби електростанцій використовуються води природного якості, що містять в собі зважені речовини, розчинені солі і живі мікроорганізми, що забруднюють поверхні теплообміну відкладеннями, істотно знижують їх ефективність за рахунок погіршення коефіцієнту теплопередачі, зменшення прохідного перетину труб і зростання шорсткості поверхонь.

Джерелом формування відкладів в теплообмінному обладнанні АЕС є:

- Розчинені у воді солі;
- Продукти корозії металу обладнання системи;
- Зважені частинки (розміром від 10 мкм до 1,5 мм, що містяться у воді - пісок, мул і т.д.);
- Мікроорганізми, розміри яких коливаються від 1 мкм до 1 мм;
- Макроорганізми, живильним середовищем для яких є мікроорганізми і продукти їх життєдіяльності.

Склад і структура відкладів багато в чому визначаються місцем розташування конкретного об'єкту по відношенню до точки водозабору, температурним режимом експлуатації об'єкту, швидкістю потоку, матеріалом об'єкту та іншими факторами.

Так, в місцях безпосередньої близькості до місця водозабору, відкладення складаються, в основному, зі зважених часток великих фракцій, фрагментів водоростей, підвищеної кількості різноманітних молюсків, біоплівок, продуктів корозії трубною системи і відносно невеликої кількості кальцитних відкладів.

Викладення змісту основного матеріалу.

Біологічні відкладення. Основними біоперешкодами від швидкорозмножуючихся і швидкозростаючих молюсків *Melanoides tuberculata*, *Tarebia granifera* в умовах охолоджуючих водойм електростанцій є обростання і блокування ними трубопроводів і елементів обладнання систем технічного водопостачання, вкрай негативний вплив на проектні гідродинамічні характеристики контурів водооборота, аж до аварійних зупинок устаткування (Рис. 1). Крім того, що вони розмножуються у великій кількості всередині трубопроводів і елементів устаткування, молюски *Melanoides tuberculata* і *Tarebia granifera* виробляють набагато більше органіки, ніж споживають, що веде до прискорення зростання біоплівки і всіх пов'язаних з цим негативних явищ, включаючи погіршення теплопровідності і коефіцієнт корисної дії (ККД) обладнання, а також сульфатредуючу корозію.



Рис. 1. Популяція молюсків сімейства Thiaridae на внутрішній поверхні сітки фільтру насосного агрегату ВП ЗАЕС

Розвиток макрообрастання може також супроводжуватися явищами електрохімічної корозії, що виникає внаслідок різниці потенціалів на порослих ділянках і ділянках, вільних від обростання [3].

2. *Біокорозія*. В умовах довгострокових промислових випробувань, доведено радикальне (аж до повного знищення) зменшення, під впливом високочастотного сигналу "HYDROPATH", що генерується приладами "HydroFLOW", відкладень кальцитів і біоплівки в контурах водоохолодження феросплавних печей, а також теплообмінників - як кожухотрубних, так і пластинчастих (Рис. 2, Рис. 3) [4, 5].

За підсумками досліджень, проведених раніше авторами даного Робочого звіту, опубліковано низку друкованих робіт і захищено серію патентів на корисні моделі [6, 7, 8, 9, 10, 11].

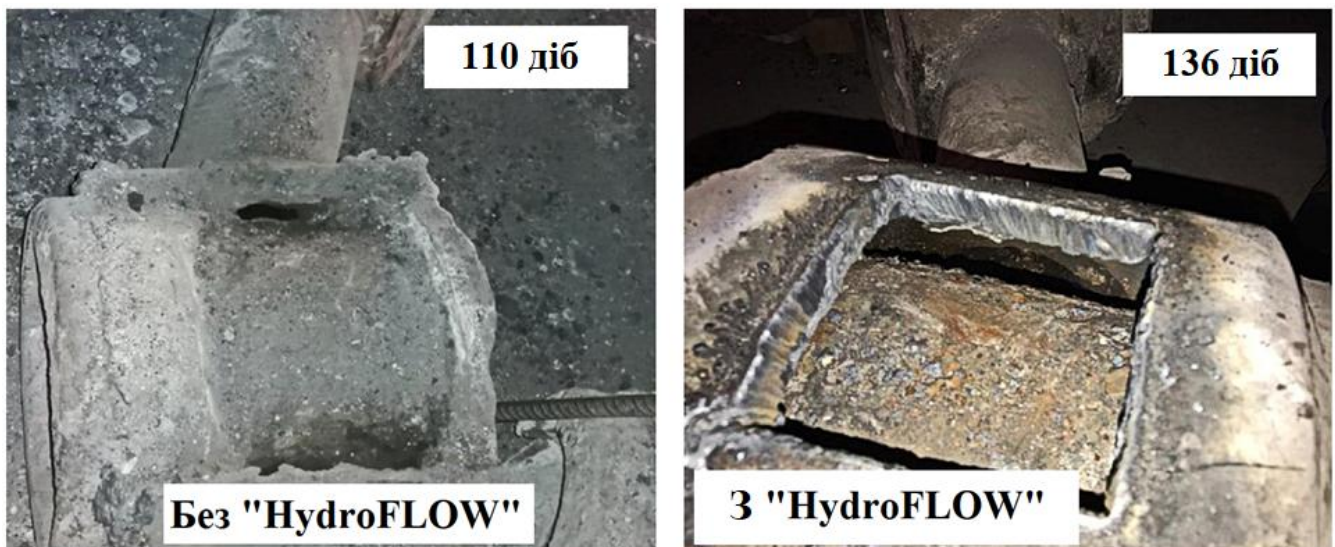


Рис 2. Порівняння стану внутрішніх поверхонь проточних частин півкілець утримувачів феросплавної печі до та після випробування приладу "HydroFLOW" [4].

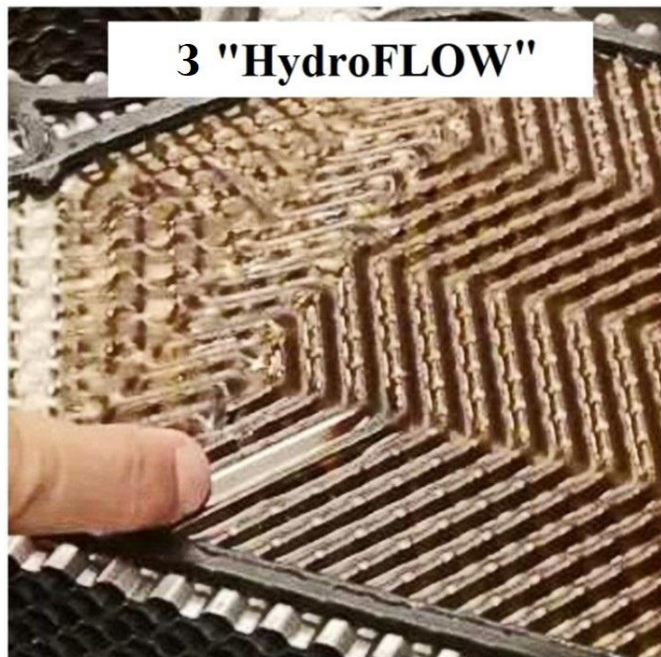


Рис. 3. Порівняння стану пластин теплообмінного апарату до та після випробування приладу "HydroFLOW" [5].

У 2019-2020 рр., в умовах реального виробничого процесу великого гірничо-збагачувального комбінату, колективом ТОВ "САВ КОМПЛЕКТ" було проведено комплексні дослідження і здійснено промислову експлуатацію цілої лінійки приладів "HydroFLOW" [12, 13].

Переваги використання приладу підготовки води. На підставі наведених доведених даних про позитивний вплив приладу "HydroFLOW" на захист елементів контуру технічного водопостачання випробуваного насосного агрегату НС20, з урахуванням наведених зауважень, **визнати підсумки проведених випробувань позитивними, а роботу приладу "HydroFLOW" з видалення біологічних відкладів і накипу - ефективною** (рис. 4).

Додаткова практична пропозиція за підсумками випробувань: Визнати за доцільне продовження довгострокових (до 1 року) промислових випробувань приладів електронної водопідготовки «HydroFLOW» великого діаметру на основному виробничому обладнанні ВП ЗАЕС ДП НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» (та інших), з урахуванням зроблених зауважень і забезпечивши моніторинг зміни параметрів роботи даного обладнання в процесі випробувань, зняття і аналіз геометричних, механічних і хімічних властивостей шарів відкладів на початок і кінець випробувань (при необхідності - проміжні аналізи).

P.S. У січні 2021 р технологія і устаткування електронної водопідготовки води HydroFLOW® були відзначені престижним знаком міжнародної екологічної організації Solar Impulse Foundation (Швейцарія, Лозанна) "Solar Impulse Efficient Solution" Label [14].

Переваги приладу "HydroFLOW"



Рис. 4 Позитивні фактори впливу приладів "HydroFLOW" на виробничо-технологічні цикли підприємств промисловості, енергетики та житлово-комунальної сфери

Ця нагорода присуджується сучасним технологіям за екологічно чисті і комерційно прибуткові рішення після оцінки, проведеної зовнішніми незалежними експертами на підставі перевірених стандартів. Таким чином, технологія HydroFLOW® приєдналася до ТОП-1000 рішень, що відповідають високим стандартам прибутковості і стійкості, для презентації їх особам, які приймають рішення, для прискорення їх впровадження.

Solar Impulse Foundation також вважає, що кондиціонери для води HydroFLOW® сприяють досягненню Рамкової програми сталого розвитку ООН [15]:

- ♦ Мета 6 в області стійкого розвитку - **"Чиста вода і санітарія"** № SDG6.
- ♦ Мета 9 в області стійкого розвитку - **"Промисловість, інновації та інфраструктура"** № SDG9.

Висновки та пропозиції.

▪ **Основним фактором**, на який потрібно спрямувати зусилля в боротьбі з відкладеннями в системах технічного водопостачання теплових і атомних електростанцій, є розвиток біоплівки, яка є основною причиною погіршення процесів теплопередачі, харчової базою для розвитку макрообростань, включаючи обростання молюсками і джерелом розвитку різних видів корозії конструкційних матеріалів.

- Висока резистентність мікроорганізмів і бактерій, сконцентрованих всередині

біоплівки, неможливість, при сучасному рівні технічних знань, традиційних підходах, застосування відомих біоцидів, антибіотиків та інших реагентів, ефективних спроб руйнування біоплівки по її поверхні, актуалізує необхідність пошуку і відпрацювання на практиці сучасних альтернативних технологій боротьби з відкладеннями в системах технічного водопостачання електростанцій.

- Позитивний довгостроковий вплив застосування приладу «HydroFLOW» на стан зовнішньої поверхні сіток фільтрів при тривалій їх експлуатації.

- Значне зменшення кількості біологічних відкладів на внутрішній поверхні сітки фільтра при використанні приладу «HydroFLOW».

- Суттєве зменшення, при використанні приладу «HydroFLOW», біообростання, а також відкладів іржі, мулу і карбонатів на сітці фільтра насосного агрегату.

- Повне знищення, при використанні приладу «HydroFLOW», відкладів на шарових елементах запірної арматури перед сітковими фільтрами HC20.

Література

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях. Москва: ФАИР-ПРЕСС, 2000. 336 с.

2. Атомные электрические станции и их оборудование - системы технического водоснабжения. URL: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/atomnye-elektricheskie-stancii-i-ih-obogudovanie-15.html>. (дата звернення: 15.10.2020).

3. Раилкин А.И. Процессы колонизации и защита от биообрастания. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского Университета, 1998. 272 с.

4. Звіт щодо виконання Програми дослідно-промислових випробувань електромагнітної обробки води приладом "Hydroflow Industrial (test)" внутрішній полуфазі електроду № 2 печі № 32 цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів» від грудня 2018 р. / розробн. О.А. Андріанов, О.В. Бережецький, В.М. Кюрчев, С.І.Мовчан, О.С. Толстов. Запоріжжя, 2019. 17 с. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12144> (дата звертання: 25.10.2020).

5. Звіт щодо виконання Програми виробничих випробувань приладу "Hydroflow Industrial (test)" на пластинчастому теплообміннику № 1 (ПТО №1) (паросилового) цеху № 18 центральної компресорної станції ПрАТ «Запоріжжягаз» від 26 листопада 2019 р. / розробн. О.А. Андріанов, О.В.Бережецький, В.М. Кюрчев, С.І.Мовчан. Запоріжжя, 2019. 21 с. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12141> (дата звертання: 25.10.2020).

6. Андрианов А.А., Бережецкий А.В., Ваврикович В.М., Мовчан С.И. Рабочий отчет по итогам производственных испытаний тестовых приборов электронной водоподготовки «Hydroflow Industrial (test)» на теплообменниках охлаждения дистиллята 0TR50W02 (ОБЪЕКТ “0”) и 0TR70W02 (ОБЪЕКТ “+”) СК-1 ХЦ ОП «Запорожская АЭС» ГП «НАЭК «ЕНЕРГОАТОМ». Энергодар-Запорожье, 2020. 49 с.

7. Електронна водопідготовка в системі оборотного тепловодопостачання гірничо-збагачувального комбінату / В.М. Кюрчев, С.І. Мовчан, О.В.Бережецький, О.А. Андріанов, В.І. Щелкунов. *Меліорація та водовикористання. Функціонування техніко-технологічних систем*: матеріали XII-ої наук.-практ. конф. Мелітополь, 2020. С. 4-12.

8. Кюрчев В.М., Мовчан С.І., Бережецький О.В. Імпульсна високочастотна електромагнітна підготовка води в системі оборотного тепловодопостачання компресорної станції. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 1: Технічні науки. С. 3-14.

9. Кюрчев В.М., Мовчан С.І., Андріанов О. А., Бережецький О. В. Імпульсна високочастотна електромагнітна обробка води в системах оборотного водопостачання. *Стратегія сталого розвитку України: сьогодні та перспективи*: матеріали Всеукр. інтернет-конф., (м. Рівне, 30-31 січня 2020 р.) Рівне, 2020. С. 100-103.

10. Пристрій для захисту та очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування: пат. 141719 Україна: МПК В03 С1/00, В03 С1/035 (2006.01), В08 В7/02 (2006.01), F28 G7/00 / В.М. Кюрчев, С.І. Мовчан, О.В. Бережецький, О.А. Андріанов. № 2019 09615; заявл. 03.09.2019, опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.

11. Пристрій очищення внутрішньої поверхні трубопроводів від відкладень: пат. 141763 Україна: МПК В08 В9/02 (2006.01) / В.М. Кюрчев, О.В.Бережецький, О.А. Андріанов, С.І. Мовчан. № 2019 10357; заявл. 15.09.2019, опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.

12. Звіт щодо підсумків виконання технічного аудиту обладнання, розташованого в ЦВО, ДЗФ, ЦШГ, ЛМЦ, та ТСЦ ПрАТ «Полтавський ГЗК» згідно договору № 596 про виконання технічного аудиту від 10 березня 2020 року / розробн. О.А. Андріанов, О.В. Бережецький, В.М. Ваврикович, С.І.Мовчан. Запоріжжя, 2020. 16 с. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12016> (дата звертання: 25.10.2020).

13. Електронна водопідготовка в системі оборотного тепловодопостачання гірничо-збагачувального комбінату / В.М. Кюрчев, С.І. Мовчан, О.В. Бережецький, О.А. Андріанов, В.І. Щелкунов. *Меліорація та водовикористання. Функціонування техніко-технологічних систем*: матеріали XII-ої наук.-практ. конференції. Мелітополь, 2020. С. 4-12.

14. [HYDROPATH provides cutting edge water care technology for global businesses, industry and consumers]. – URL : <https://hydropath.com/hydroflow-water-conditioners-have-been-awarded-the-solar-impulse-efficient-solution-label/> (дата звертання 19.01.2021)/

15. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года : Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года. – URL : https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&referer=http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/en/&Lang=R (дата звертання 19.01.2021).

16. Робочий звіт щодо підсумків виробничих випробувань тестового приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» на системі охолодження маслованни підшипнику та електродвигуна насосної станції №20 бризкальних басейнів циркуляційної системи ВП «Запорізька АЕС» ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» / О.А. Андріанов, О.В. Бережецький, В. М. Ваврикович, С.І. Мовчан, В.І.Щелкунов. ТОВ «САВ Комплект», Енергодар-Запоріжжя, 2021. - 103 с.