



УДК 628.179.2.16.087

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-1

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОННОЮ ПІДГОТОВКОЮ ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОДОПОСТАЧАННЯ

Кюрчев В. М.¹, д.т.н., проф.,
Мовчан С. І.¹, к.т.н., доц.,
E-mail: msi.movchan@gmail.com,

ORCID: 0000-0003-4377-1924
ORCID: 0000-0001-8665-482X

Бережецький О. В.², к.т.н.,
E-mail: metallurgy@ukr.net

Андріанов О. А.³, к.т.н.,
E-mail: metallurgy@ukr.net

¹*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

²*Товариство з обмеженою відповідальністю «САВ КОМПЛЕКТ»
м. Запоріжжя, Україна,*

³*Запорізьке регіональне представництво Українського національного
комітету міжнародної торгової палати (ICC UKRAINE) м.
Запоріжжя, Україна*

Постановка проблеми. Експлуатація систем тепловодопостачання обумовлена складними умовами роботи всього технологічного обладнання. Наприклад, шар накипу товщиною 1 мм за термічним опором, має еквівалент орієнтовно 40 мм сталевій стінки, а плівка мікроорганізмів товщиною у 0,25 мм і може знизити теплопередачу до 25 % [1, с. 3].

Зниження передачі тепла майже на чверть (до 25 %) має негативні наслідки в роботі систем тепловодопостачання, в яких відбувається охолодження/нагрівання носіїв і використання тепла: води і мастила, що суттєвим чином впливає на стан технологічного обладнання, знижує термін експлуатації, а низька ефективність процесів водопідготовки в значній мірі впливає на техніко-економічні показники.

Аналіз останніх досліджень. Використання води і водних ресурсів в промисловому секторі країни обумовлено вирішенням двох взаємопов'язаних між собою інженерно-технічних і екологічних задач і завдань. По-перше, технічними умовами улаштування та експлуатації систем оборотного водопостачання, які є основою водогосподарського комплексу країни. По-друге, забезпеченням



екологічної безпеки водних ресурсів в системах оборотного тепловодопостачання.

Для вирішення першого завдання відомі інженерно-технічні рішення, які за своєю фізичною сутністю відповідають імпульсній високочастотній електромагнітній підготовці води, в системах оборотного тепловодопостачання.

Пристрій для обробки рідини в трубопроводі, що включає перший і другий основні елементи з магнітопровідного матеріалу, пристосованих для кріплення до трубопроводу для оточення однакових у віддалених положеннях поперек; засоби для створення радіочастотних магнітних потоків у зазначених основних елементах, для генерації відповідних електромагнітних полів у рідині, що підлягає обробці і проходить уздовж трубопроводу [5].

Спосіб інгібування корозії щонайменше в одній необхідній області витягнутої металевої конструкції, включає застосування високочастотного електромагнітного сигналу до структури таким чином, що в структурі встановлюється хвиля стоячої напруги з потенціалом гальмування корозії на необхідну область (і) структуру. Спосіб переважно застосовується до трубопроводу нафтових свердловин для інгібування корозії його зовнішньої поверхні поблизу зони видобутку нафти [6].

Апарат встановлює електроди в області електропровідної рідини, що протікає по трубі. Апарат включає в себе сердцевину з магнітопровідного матеріалу, що оточує трубу, енергетичну первинну котушку, яка створює електричне поле всередині рідини. При цьому котушка має протяжність і / або розташування по колу елемента сердечника і трубопроводу так, щоб створювати ефективне магнітне поле по всьому елементу сердечника [7].

Спосіб і пристрій для обробки рідини, такої як вода в трубопроводі, де сигнали сукцесії або радіочастоти використовуються для створення електромагнітного поля. Електромагнітне поле може використовуватися для запобігання утворення та накопичення накипу і/або для запобігання розмноження бактерій в системі, яка містить рідину. Спосіб і система також можуть бути використані для введення імпульсного радіочастотного сигналу в ряді точок в системі, яка містить рідину, або для подачі імпульсного радіочастотного сигналу в ряд незалежних систем, що містять рідину [8].

Окремі науковці наголошують щодо провідної ролі води і водних ресурсів для забезпечення екологічної безпеки всього навколишнього природного середовища. Безпосередньо екологічна безпека води і водних ресурсів залежить від технічної оснащеності виробництва. Рівень технічної оснащеності підприємства визначається рівнем наукових розробок, які використовуються у промисловому

водопостачанні, перспективами використання і подальшим розвитком у водоочисній технології водогосподарського спрямування.

Питаннями якості води і водних ресурсів займалися такі вчені, як Гончаренко Д. Ф., Алейников А. И., Запольський А. К., Карагяур А. С., Stefanini D., Wang S., Tiri A., Belkhiri L., Mouni L. та ін.

Внаслідок використання води і водних ресурсів в різних галузях виробничої діяльності не в повній мірі забезпечується підвищення енергоефективності водних ресурсів [9, 11]. Оцінка якості поверхневих вод для питних цілей проводиться за допомогою нечіткої системи виводу окремих компонентів, які входять до складу вод в технологічних процесах. Якість води для питного водопостачання безпосередньо пов'язана своїм складом і характеристиками з водними ресурсами, що використовуються в промисловому секторі [10].

Забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів відбувається на стадії її використання в системах оборотного, повторного і багаторазового використання в технологічних процесах переважної більшості промислових підприємств.

Методи очищення внутрішніх функціональних поверхонь трубопроводів теплообмінного обладнання й устаткування від відкладень різного походження і стану наведено на рис. 1.



Рис. 1. Основні методи очищення внутрішніх функціональних поверхонь теплообмінного устаткування

Наведено методи і характеристики очищення внутрішньої поверхні від відкладень найбільш розповсюджених трубопроводів, які використовуються в різних галузях виробничої діяльності. Використання імпульсної очистки (електрогідроімпульсна, пневмоімпульсна, вибухова та ін.) для робочих поверхонь трубопроводів обмежено на стадії, коли мова йдеться про очищення робочих поверхонь трубопроводів [2, стор. 63- 67].



Переважна більшість методів очищення внутрішніх робочих поверхонь (рис. 1) має деструктивний характер. У разі використання методів, які мають механічний вплив на поверхні, значно погіршуються внутрішні робочі металеві поверхні, скорочується термін експлуатації усього технологічного обладнання. За рахунок неефективних процесів підготовки води в системах тепловодопостачання підвищується негативний вплив на навколишнє природне середовище.

Результати використання очищення стічних вод із підвищеним вмістом Ca^{2+} і Mg^{2+} довели, що найбільш стійкі з'єднання в системах багаторазового і повторного використання стічних вод утворюються на основі відкладень солей кальцію і магнію. Характерною ознакою відкладень, що утворюються із підвищеним вмістом Ca^{2+} і Mg^{2+} , є поступове накопичення, спроможність вступати в стійкі з'єднання та стійкість до температурного перепаду в широкому значенні. Отримані результати досліджень довели, що використання багатоступеневих апаратів напірної флотації дозволяє з використанням 4-6 ступенів очищення не лише видаляти іони важких металів, а й зменшити вплив води з підвищеним вмістом солей жорсткості, яка у даному випадку становила 28-31 мг/екв. літр [3, с. 144-155].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Важливою технічною проблемою експлуатації систем оборотного тепловодопостачання є оброблення поверхонь по всьому внутрішньому об'єму технологічного обладнання. В переважній більшості випадків в роботі систем тепловодопостачання необхідно обробляти поверхні, які розташовані по всьому об'єму кожухотрубного теплообмінного апарату. Тому розроблення неінтрузивної обробки внутрішніх робочих поверхонь є важливою технічною задачею, яка вирішується в об'ємі даної роботи.

Розроблення і впровадження в системи оборотного тепловодопостачання еколого-безпечних способів підготовки і використання води визначає мету наукових досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити дві взаємопов'язані задачі:

1. Розроблення і впровадження інженерно-технічних рішень, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів і всього навколишнього природного середовища.
2. За рахунок ефективної підготовки і використання води в системах оборотного тепловодопостачання зменшити умови для накопичення на внутрішніх робочих металевих поверхнях біологічних відкладень, накипу і біобростань.

Основні матеріали дослідження. Схема застосування приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води контуру

водоохолодження рекуперативного кожухотрубного теплообмінного апарату системи тепловодоохолодження наведена на рис. 2.

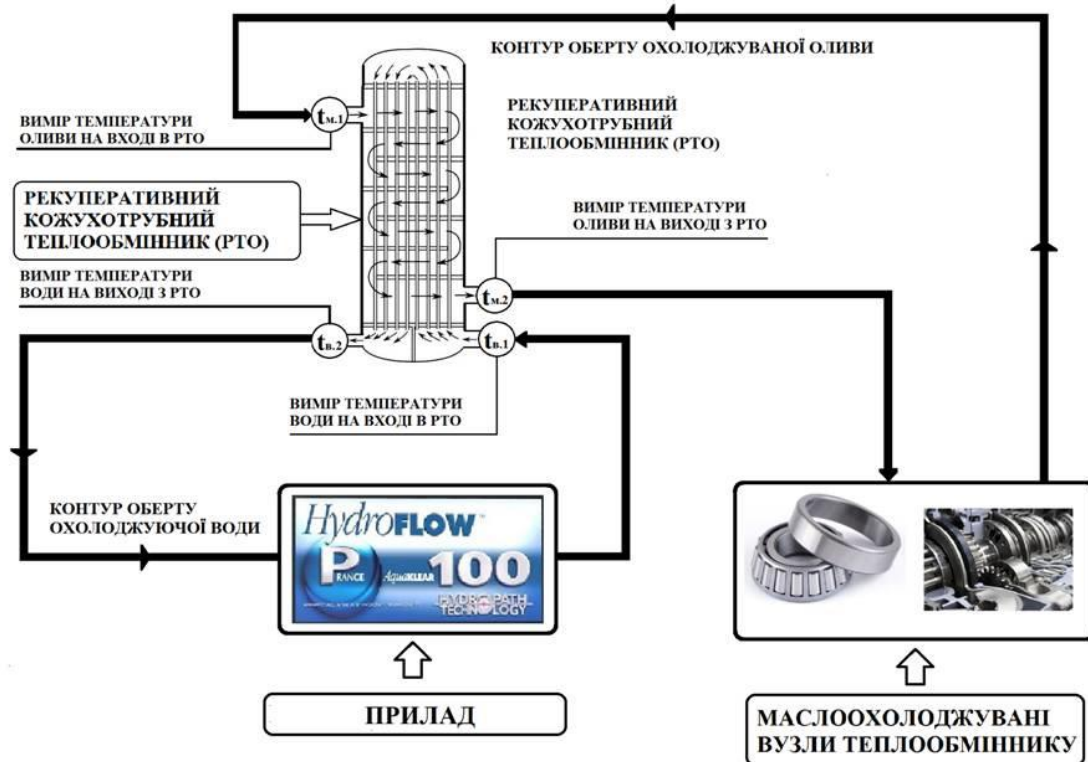


Рис. 2. Загальна схема застосування приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води по контуру водоохолодження рекуперативного кожухотрубного теплообміннику

Головною складовою запропонованої схеми є використання приладу електромагнітної обробки води. Принцип дії феритних приладів проти накипу – система водопідготовки Гідрофлу, заснована на застосуванні генератора високочастотних електромагнітних імпульсів, який працює в діапазоні від 120 до 200 кГц. Генератором формуються електромагнітні імпульси випадкової часовій послідовності. Пристроєм формуються імпульси змінної частоти, що мають форму експоненціально-загасаючої синусоїди.

Сигнал передається трубі феритовим кільцем, закріпленим поверх її стінок. Кільце виготовлено зі спеціального феросплаву. Воно з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) передає сигнал стінок труби, яка, в свою чергу, сама стає випромінювачем, тобто як би технологічним елементом, «продовженням» приладу. Тому такі протинакипні пристрої ще називають феритними.

У трубі наводиться електрорушійна сила (ЕРС) самоіндукції і виникає вторинне електричне поле. За допомогою імпульсів, які



постійно коригуються, прилад проти накипу забезпечує електромагнітний резонанс з утворенням «стоячої хвилі».

Електромагнітне поле направлене поперек осі труби (радіально) у вигляді «кілець». Крім того, імпульси поширюються і уздовж труби, рухом «кілець» в обидві сторони – по ходу і проти руху води.

В останній час на потужних підприємства м. Запоріжжя і країни проведено й проводяться промислові випробування приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки (табл. 1). Специфіка кожного підприємства визначає об'єкт досліджень, який безпосередньо пов'язаний із спрямованістю технологічних процесів на підприємствах.

Крім означених переваг, якими характеризується кожне виробництво, необхідно відзначити наступні позитивні якості і характеристики, спрямовані на забезпечення екологічної безпеки водоймищ країни. По-перше, зменшується використання води в технологічних процесах об'єктів теплоенергетики. По-друге, суттєво скорочується кількість необроблених, або недостатньо оброблених стічних вод. І, на кінець, упорядковується введення водного господарства, в межах окремої системи оборотного водопостачання промислового підприємства.

З технічної точки зору, суттєво продовжено строк експлуатації технологічного обладнання стосовно робочих внутрішніх поверхонь трубопроводів. Збільшено строк міжремонтного технологічного обслуговування усього технологічного обладнання.

Результати впроваджені і отримані, при цьому позитивні результати наочно свідчать, що використання приладу імпульсної високочастотної обробки води можливо в екстремальних умовах енергоємних галузей країни.

У разі, коли враховувати різний склад води, що використовується в системах охолодження, то поширюються функціональні можливості приладу. Випробування, які проведено й проводяться в складних промислових умовах, дозволили виявити позитивні технології підготовки води в системах багаторазового використання енергоємних підприємств.

Використання приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки дозволяє отримати результати по окремим показникам, які визначені технічними умовами експлуатації систем тепловодопостачання. Рекомендована величина наведена для охолодних систем оборотного водопостачання і для окремих величин має наступні значення: лужність знаходиться в межах 2,2-2,5, що не перевищує загально прийнятої норми 2-4; хлориди – 120-140 мг/л (припустиме значення до 300, 350 і 500 мг/л); сульфати мають значення 210-220 мг/л (припустиме значення значно перевищує цей



показних 35-50, і, навіть, більше 500 мг/л); зважені речовини знаходяться на рівні 10-12 мг/л (припустима величини цього показника має значення 20, 30 і, навіть, 50 мг/л) [4, с. 35].

Таблиця 1 – Об'єкти і результати промислових випробувань приладу електромагнітної підготовки води на окремих об'єктах промислових підприємств

Підприємство	Об'єкт випробувань	Об'єкт досліджень	Результати
Приватне акціонерне товариство «Запорізький абразивний комбінат» м. Запоріжжя	Пластинчастий теплообмінник паросилового цеху центральної компресорної станції	Пластинчастий Теплообмінник	1. Використовуються інженерні рішення, які дозволяють вилучити з технологічних операцій хімічні реагенти. 2. Зменшено використання води, водних ресурсів і, як наслідок, затрати енергії.
Приватне акціонерне товариство «Полтавський ГЗК» м. Горішні Плавні (раніше м. Комсомольськ), Полтавської області	Паровий котел котельні теплосилового цеху	Кожухотрубний теплообмінник станції шламового господарства	1. Використовується технологія підготовки води, що обмежує використання хімічних компонентів. 2. За рахунок скорочення споживання газу в технологічних процесах парової котельної в системі оборотного водопостачання зменшуються капітальні витрати на експлуатацію системи тепловодопостачання.
Акціонерне товариство Запорізький завод феросплавів м. Запоріжжя	Внутрішня напівфаза електроду феросплавного цеху виплавки феросплавів	Напівфаза електричної печі з виплавки феросплавів	1. Суттєво зменшено споживання енергії. 2. В технології не використовується хімічні добавки в якості реагентів.



До основних переваг використання приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води необхідно віднести наступне:

1. Високу ефективність цього методу при видаленні наявних і запобіганні утворенню нових карбонатних та біологічних відкладень у контурі водоохолодження, а також закоксованих відкладень у контурі оберту оливи на виробничих об'єктах абразивної промисловості, зокрема – системі водоохолодження компресору.

2. Досягнення суттєвого покращення процесів водоохолодження та тепловідведення, зменшення теплового навантаження на обладнання, підвищення економічної ефективності ремонтів та експлуатації основного та допоміжного виробничого обладнання у металургії за рахунок зменшення трудовитрат та збільшення міжремонтних періодів.

3. Доцільність, можливість та ефективність застосування паралельної системи збору, фіксації, передачі та обробки даних, а також спеціально розробленого програмного забезпечення на базі відомих формул розрахунку середнього логарифмічного температурного напору та умовної розрахункової товщини шару накипу, що дозволяє коректно, у графічному вигляді відображати відповідні теплотехнічні процеси [12].

Результати та висновки досліджень.

1. Отримані результати промислових випробувань наочно довели, що застосування приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води забезпечує ефективну підготовку води при її використанні в системі оборотного тепловодопостачання.

2. Для забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів процес застосування приладу підвищує ступень підготовки води, зменшує об'єми відкладень на внутрішніх робочих металевих поверхнях усього технологічного обладнання.

3. Проведені випробування приладу в широкому діапазоні перепаду температури для носіїв тепла обмежує умови для накопичення відкладень і утворення стійкості шарів на металевих поверхнях.

Вирішення питань підготовки та використання води в системах використання води на об'єктах атомної енергетики в повній мірі відповідає енергетичній безпеці, які було розглянуто в дослідженні та прогнозуванні ефективності роботи глибоких малопроточних стратифікованих водосховищ-охолоджувачів ТЕС та АЕС [13].

Список використаних джерел

1. Щодо виконання програми виробничих випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» на пластинчастому теплообміннику №1



(ПТОН№1) паросилового цеху №18 центральної компресорної станції ПрАТ «Запоріжбразив» : звіт №1 від 20 листопада 2019 р. / Розробник ТОВ «САВ КОМПЛЕКТ», С. В. Бережецький; виконавці О. А. Андріанов, О. В. Бережецький, С. І. Мовчан. Запоріжжя: 2019. 14 с.

2. Гончаренко Д. Ф., Алейников А. И. Особенности подготовки трубопроводов водоснабжения к ремонтно-восстановительным работам. *Науковий вісник будівництва*. 2014. Т. 76(2). С. 63-67.

3. Мовчан С. И., Дидур В. А. Усовершенствование технологии очистки сточных вод с использованием моющих растворов, приготовленных на воде с повышенным содержанием солей кальция и магния. *Науковий вісник будівництва*. 2003. Вип. 20. С. 144-155.

4. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М., Брик М. Т., Гвоздяк П. І., Князькові Т. В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник. Київ: Лібра, 2000. 552 с.

5. Stefanini D., Hydropath Holdings Limited. Fluid treatment method and apparatus. Patent U. S., no 2008/0185328, 2008.

6. Stefanini D. Inhibition of corrosion of structures. Patent U. S., no 2010/0101933, 2010.

7. Stefanini D., Hydropath Holdings Limited. Apparatus for establishing electrodes in a liquid. Patent U. S., no 2015/0191373, 2015.

8. Stefanini D. Method and apparatus for treating fluid with radio frequency signals. Patent U. S., no 5667677, 1997.

9. Wang S., Wang S. Implications of improving energy efficiency for water resources. *Energy*. 2017. Vol. 140. P. 922–928.

DOI: 10.1016 / j.energy.2017.09.014.

10. Tiri A., Belkhiri L., Mouni L. Evaluation of surface water quality for drinking purposes using fuzzy inference system. *Groundwater for Sustainable Development*. 2018. Vol. 6. P. 235–244.

DOI: 10.1016/j.gsd.2018.01.006.

11. Li Y. G., Sun M. H., Yuan G. H., Liu Y. J. Evaluation Methods of Water Environment Safety and Their Application to the Three Northeast Provinces of China. *Sustainability*. 2019. Vol.11(18). P. 5135.

DOI: 10.3390/su11185135.

12. 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*: мат. Всеукр. інтернет-конф.(30-31 січня 2020 р.). Рівне: 2020. С.100-103.

13. Карагяур А. С. Прогнозування ефективності роботи глибоких малопроточних стратифікованих водосховищ-охолоджувачів ТЕС та АЕС : дис. канд. техн. наук: 05.23.17. Харків, 2003. 137 с.



**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОННОЮ ПІДГОТОВКОЮ ВОДИ
В СИСТЕМАХ ОБОРотНОГО ТЕПЛОДОПОСТАЧАННЯ**
Кюрчев В. М., Мовчан С. І., Бережецький О. В., Андріанов О. А.

Анотація.

В промислових умовах апробовано прилад «Hydroflow Industrial (test)» на пластинчастому теплообміннику паросилового цеху центральної компресорної станції ПрАТ «Запоріжжябразив», який в широкому діапазоні температурного перепаду мастила і води довів надійність, ефективність та тривалість процесів захисту та боротьби із накипом і біообростанням на робочих поверхнях труб та обладнання.

Принцип дії приладу оброблення води в теплообмінних апаратах базується на застосуванні підібраного, встановленого, контрольованого та обслуговуваного приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води, що неінтрузивно (ззовні, без порушення суцільності труби або виробу) монтується на трубу безпосередньо перед входом охолоджуючої води у випробувальний об'єкт та підключається до електричної мережі змінного струму напругою 220В.

Отримані результати випробувань приладу імпульсного високочастотної електромагнітної обробки води, які проведено в широкому діапазоні температурного перепаду мастила і води, наочно довели надійність, ефективність процесів захисту та боротьби із накипом та біообростанням на робочих поверхнях труб та обладнанні і забезпечують екологічну безпеку водних об'єктів.

Ключові слова: пластинчастий теплообмінний апарат, прилад імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води, теплоелектростанції, атомні станції, системи оборотного водопостачання.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДГОТОВКОЙ ВОДЫ
В СИСТЕМАХ ОБОРотНОГО ТЕПЛОДОСНАБЖЕНИЯ**
Кюрчев В. М., Мовчан С. И., Бережецкий А. В., Андрианов А. А.

Аннотация.

В промышленных условиях апробирован прибор «Hydroflow Industrial (test)» на пластинчатом теплообменнике паросилового цеха центральной компрессорной станции АО «Запорожжябразив», который в широком диапазоне температурного перепада масла и воды доказал надежность, эффективность и продолжительность процессов защиты и борьбы с накипью и биообрастанием на рабочих поверхностях труб и оборудования.

Принцип действия прибора обработки воды в теплообменных аппаратах базируется на применении подобранного, установленного, контролируемого и обслуживаемого прибора импульсной высокочастотной электромагнитной обработки воды, неинтрузивно (извне, без нарушения сплошности трубы или изделия) монтируется на трубу непосредственно перед входом охлаждающей воды в испытательный объект и подключается к электрической сети переменного тока напряжением 220В.

Полученные результаты испытаний прибора импульсного высокочастотной электромагнитной обработки воды, проведенные в широком диапазоне



температурного перепада масла и воды, наглядно доказали надежность, эффективность процессов защиты и борьбы с накипью и биообрастанием на рабочих поверхностях труб и оборудования, обеспечивающих экологическую безопасность водных объектов.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменный аппарат, прибор импульсной высокочастотной электромагнитной обработка воды, теплоэлектростанций, атомные станции, системы оборотного водоснабжения.

ENVIRONMENTAL SECURITY WATER OBJECTS ELECTRONIC WATER PREPARATION IN REVERSE HEAT SUPPLY SYSTEMS

Kyurchev V. M., Movchan S. I., Berezheczkyi O. V., Andrianov O. A.

Summary

Thermal and energy supply systems that use water and other heat carriers play an important role in the country's water management system, especially in district heating systems. The rational use of water and water resources in energy supply systems is an important component not only from the technical side but also from the ecological and economic one. At the same time, reducing the use of water helps to increase the life of technological equipment, reduce the use of water and reduce the costs associated with the operation of circulating water systems.

The most comprehensive and interrelated solution of the problems identified in the system of circulating water supply to the enterprises of the heat engineering and heat power industries determines the relevance of the chosen direction of research conducted in the industrial conditions of PJSC "Zaporizhzhia Abrasive Plant" (Zaporizhzhia). Hydroflow Industrial (test) impulse high-frequency electromagnetic water treatment device, which has high reliability, efficiency and long duration in the process of protection and control of scale and biofouling on working metal surfaces of pipelines and equipment of enterprises of the enterprises of the enterprises, has been tested on the operating technological equipment.

The results obtained as a result of industrial testing of the pulse high-frequency electromagnetic water treatment device clearly demonstrate the significant advantages of using this method of preparation of water in the district heating systems using the device. Further development in the development of technology for the preparation and use of water in the thermal engineering and thermal power industries is the simplicity, reliability and efficiency of water preparation in the systems of circulating heat supply.

Key words: plate parts, heat treatment apparatus, impulse of high-frequency high-frequency electromagnet water treatment, heat and power plants, atomic stations, systems of reverse water treatment, carbonate and biological processes, biological systems.