



УДК 631.171.075.4

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-1

ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ В СИСТЕМІ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОПОСТАЧАННЯ

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

Шелкунов В.І.³, д.е.н., проф.,
E-mail: vi@iccu.org

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного

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

³Український національний комітет міжнародної торгової палати
(ICC UKRAINE) м. Київ, Україна

Постановка проблеми. Системи теплозабезпечення, водопостачання і водовідведення є важливою складовою і умовою функціонування населених пунктів, містечок і міст країни. Вищезначені системи є основою інфраструктури, яка безпосередньо відповідає рівню розвитку технічної й технологічної оснащеності в цій галузі. Важливою складовою для кожної системи є вода, водні ресурси. Від їх раціонального використання залежить не лише екологічна безпека, а й життя всього живого на землі, насамперед, людини.

Життєдіяльність людини безпосередньо або тісно пов'язана з функціонуванням великої кількості різноманітних підприємств різних галузей зі значним використанням водних ресурсів в процесі виробництва, насамперед:

- атомна, тепла енергетика, гідроелектростанції;
- гірничозбагачувальні комбінати, фабрики, промислові об'єднання;
- різного роду шахти, кар'єри, рудоуправління;
- електрометалургійні, металургійні заводи, фабрики, комбінати,



об'єднання;

- підприємства машинобудування, харчової та переробної промисловості.

У наведених прикладах систем водного господарства для використання зворотних вод наведені характеристики та умови утворення. На теплових електричних станціях (ТЕС) води оборотного водопостачання, як правило, поділяються на три потоки: господарсько-побутові стічні води, забруднені дощові води і виробничі стічні води. Авторами запропоновано відповідні технологічні способи, в яких перевіряється склад стічних вод і порівнюється з нормативною якістю. Використання розроблених схем кондиціонування зворотних вод та їх повторного використання для технічних потреб дозволяє оптимізувати витрати на системи водного господарства водокористувачів, забезпечити екологізацію виробництва при суттєвому зменшенні скиду зворотних вод та витрати на реагенти, електроенергію і водоспоживання [1, с. 129].

Водні об'єкти країни характеризуються постійно зростаючим техногенним навантаженням переважної більшості промислових підприємств. Постійні об'єми стічних вод, широкий спектр стійких забруднень, утворення забруднень «нового покоління», які утворюються під впливом підвищених температур. Насамперед, це стосується теплотехнічної та теплоенергетичних галузей на яких стійкі забруднення утворюються під впливом значних температурних перепадів. Тому, підпорядкування водовикористання в системах оборотного тепловодопостачання визначають важливу прикладну інженерно-технічну задачу для водного господарства промислових підприємств вищезначених галузей.

Очищення внутрішніх елементів контуру водяного охолодження від старого накипу та недопущення формування нового, безпосередньо в умовах експлуатації печі № 32, цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів» становить важливу технічну задачу, яка безпосередньо пов'язана із використанням води в системах оборотного тепловодопостачання. Постійно зростаюча вартість води, у тому числі якісної води, техногенне навантаження на водні об'єкти країни підприємств теплотехнічної і теплоенергетичної галузей потребує дослідження й впровадження в системи оборотного тепловодопостачання сучасних технологій, пов'язаних із вирішенням сучасних техніко-екологічних задач і завдань. Забезпечення екологічної безпеки і досконалості щодо використання води в теплотехніці й визначає актуальність обраного напрямку досліджень.

Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями полягає у захисті та боротьба з накипом на робочих поверхнях елементів контуру водоохолодження печі, що забезпечує екологічну



безпеку водних об'єктів, збільшення міжремонтного періоду експлуатації феросплавної печі, зменшує обсяг та вартість ремонтних робіт.

Використання приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки обумовлено багатьма позитивними якостями, що створюють умови для широкого спектру їх застосування. Наприклад, прилад електромагнітної підготовки води на окремих об'єктах промислових підприємств використано в діяльності:

- ПрАТ «Полтавський ГЗК» – теплосиловий цех - котел ДКВР-20/13, шламовий цех – маслостанції – кожухотрубні теплообмінні апарати, водонагрівачі адмінбудівлі;

- ПрАТ «Запоріжабразив» – пластинчатий теплообмінник компресорного цеху;

- АТ «Запорізький завод феросплавів» – охолодження елементів плавильної печі № 32, цех № 4;

- Зестафонський завод феросплавів (м. Зестафоні, Грузія) – охолодження плавильної печі;

- ВП ЗАЕС ДП НАЕК «Енергоатом», м. Енергодар – теплообмінник дистилляту СК-1;

- ТОВ «Стратегія БМ», м. Київ – захист всіх елементів печі для виплавки титану;

- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – кожухотрубні теплообмінні апарати маслоохолодження компресорних станцій;

- БАСЕЙН ДЮСШ № 10, м. Кривий Ріг – захист від бактерій та біовідкладів;

- ТОВ «ДАНОН ДНПРО», м. Херсон – градирня;

- ПрАТ «Оболонь», м. Київ – трубчастий теплообмінник цеху купажу «Живчик» та трубопровід подачі води на компресорну установку, захист від карбонатних та біовідкладів;

- ТОВ ВП «Роганський м'ясокомбінат», м. Харків – захист лінії живлення парових котлів, від карбонатних, біовідкладів та накипу;

- ДП «Антонов», м. Київ – захист лінії охолодження компресорів високого тиску від утворення накипу;

- ХВО ДТЕК «Придніпровська ТЕС», м. Придніпровськ – захист трубопроводу ділянки ХВО від карбонатних та біологічних відкладень;

- КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО» – захист трубчатого теплообмінника (ВВП ГВП), Дарницький район м. Київ, від накипу та біологічних відкладів.

Аналіз останніх досліджень. Проблема організації роботи систем оборотного водопостачання присвячено багато наукових робіт провідних вітчизняних та закордонних вчених. Фундаментальними працями з цієї проблеми є роботи Апельцина І.Є., Кучеренко Д.І., Гладкова В.О., Назаряна М. М., Шабаліна О.Ф. та ін. Значний внесок у



розвиток технології застосування очищених вод в системах оборотного водопостачання України зробили такі вчені: Епоян С.М., Душкін С.С., Пантелят Г.С., Найманов А.Я., Терновцев В.О., Висоцкий С.П., Гвоздяк П.І., Куліков М. І. та ін. [2-4].

Проблема підготовки води в системах оборотного тепловодопостачання, внаслідок її складності становить важливу водогосподарську проблему для промислового сектору країни. Певного рівня успіхів досягнуто із використанням системи підготовки води «Гідрофлоу», яка дозволяє оптимізувати перепади енергії/палива, скоротити час виробничих простою технологічного обладнання, зменшення витрат на технічне обслуговування, попереджувати передчасне зношування обладнання. Аналіз літературних джерел свідчить що, враховуючи проблеми сьогодення у галузі систем тепловодопостачання, існує потреба удосконалення й постійного розвитку або навіть розробки нових інженерно-технічних рішень, які спрямовані на створення умов експлуатації відповідно до науково-технічного рівня з урахуванням останніх досягнень науки і техніки у цій галузі.

У пристрої для захисту та очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування передбачено використання як основного, так і допоміжного обладнання, яке має підвищити строк експлуатації обладнання за рахунок оброблення функціональних поверхонь електричним струмом. Запропоновано конструкцію механічного пристрою, яка передбачає періодичне оброблення внутрішніх металевих поверхонь круглого перетину та/або наближених до цієї форми [2].

Для оброблення внутрішніх металевих поверхонь використано також інші способи, пристрої та обладнання, які дозволяють інтенсифікувати процес оброблення функціональних поверхонь за рахунок раціональної підготовки води в системі оборотного тепловодопостачання У пристрої контролю, захисту та очищення внутрішньої поверхні теплообмінного устаткування передбачено комплексний підхід до захисту металевих поверхонь [3].

Інженерні рішення, які за фізичною сутністю відповідають застосуванню імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води потребують демонтажу, а розбирання-складання обладнання потребує повної зупинки виробництва або дублювання комплексу обладнання, які призводять до значних втрат часу та додаткових трудових витрат при проведенні планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Імпульсна високочастотна електромагнітна обробка води забезпечує підготовку і використання води в системах оборотного тепловодопостачання без порушення суцільності металевих поверхонь та не потребує зупинки виробництва.



Пристрій для електронної обробки рідини в трубопроводі включає такі основні елементи, а саме: перший та другий з магнітопровідного матеріалу, що рівномірно монтується навколо/впоперек трубопроводу. Пристрій генерує імпульси перемінної частоти навколо трубопроводу та створює магнітне поле в рідині, яка підлягає обробці, в обидва боки від місця розташування приладу на трубопроводі [4].

Спосіб інгібування корозії щонайменше в одній необхідній області витягнутої металевої конструкції, що включає застосування високочастотного електромагнітного сигналу до структури таким чином, що в структурі встановлюється хвиля (ефект стоячої хвилі) з потенціалом гальмування корозії на необхідну область (і) розповсюдження структури. Цей спосіб переважно застосовується до трубопроводу нафтових свердловин, щоб запобігти корозії зовнішньої поверхні трубопроводу поблизу зони видобутку нафти [5].

У конструкції приладу встановлено електроди в області електропровідної рідини, яка протікає по трубі. Прилад включає: а) серцевину з магнітопровідного матеріалу, що оточує трубу, б) енергетичну первинну котушку, яка створює електричне поле всередині рідини, в) вторинний прохід, з'єднаний в області протікання рідинного середовища, і обмеження потоку рідини у вторинному проході до створення електричного опору, уздовж якого через рідину протікає електричний струм [6].

Відомий спосіб і пристрій для обробки рідини, такої як вода в трубопроводі, з метою інгібування утворення накипу, корозії, де сигнали радіочастоти використовуються для створення електромагнітного поля, що має, як правило, кругові потоки в потоку у співвісному зв'язку з трубопроводом, утворює поле, яке розповсюджується вздовж осі трубопроводу. Поле створюється сердечником, встановленим у корпусі, який охоплює трубопровід [7].

Аналіз складу забруднень мікробів системи охолоджуючої води ядерного випробувального реактора з акцентом на сульфатвідновлюючих бактеріях дозволяє обрати правильне інженерне рішення щодо підготовки води в системах енергетичних підприємств [8, 11].

Проблема біообрастання і мікробіологічної корозії в тепложидкому теплообміннику та системі охолодження води ядерного випробувального реактора відіграє важливу роль. Розроблення заходів, щодо запобігання біообрастанню є важливою прикладною задачею [9].

Зовнішній вплив на шари відкладів є ефективним, але його використання пов'язано з певними технічними труднощами. Вплив ультразвукової обробки ультразвуком та його використання з гіпохлоритом натрію як протиобрастаючого методу проти личинок та мідій *Mytilus edulis*. Зовнішній вплив на шари відкладів є ефективним,



але його використання пов'язано з певними технічними труднощами. [10].

Формування біоплівки в басейнах з відпрацьованим ядерним паливом та біоремедіація радіоактивної води становить серйозну не лише технічну, а й екологічну загрозу для водних об'єктів. Небезпека визначається умовами експлуатації інженерних споруд з ядерним паливом для енергетичної галузі [12].

Біозабруднення в системі охолоджуючої води атомної електростанції та її наслідки для безпеки навколишнього природного середовища розглядаються в контексті забезпечення енергетичної безпеки. Біологічні забруднення внаслідок значних температурних перепадів здатні не лише до стійкості, а поступовому накопиченні і створення негативного впливу на внутрішні робочі металеві поверхні обладнання [13].

Варіанти управління біообрастанням для систем охолодження, які розглядаються в загальному використанні води і водних ресурсів. Біологічна плівка, яка швидко утворюється на металевих частинах обладнання, стійка і має тенденцію для негативного впливу на гідродинамічні параметри водних потоків в середині трубопроводів систем тепловодопостачання [14].

Дезінфекція стічних вод за технологією HYDROFLOW дозволяє значно розширити коло об'єктів, які використовують водні ресурси. Магнітне оброблення води на вході до систем повторного і багаторазового використання води дозволяє суттєво продовжити строк експлуатації технологічного обладнання для енергетичних галузей [15].

Характерною ознакою біологічних забруднень, які утворюються в системах охолодження, що використовують солону морську воду, ще більш ускладнює і скорочує термін експлуатації обладнання у цілому. Біозабруднення та управління ним в системі охолодження води з охолодженою морською водою електростанцією становить важливу задачу для енергетичної галузі [16].

Адгезійні властивості характеризують умови експлуатації технологічного обладнання в широкому температурному перепаді переважної більшості атомних станцій. Температурний режим і конденсат, який утворюється і притаманні водним розчинам, що постійно знаходяться в середині теплообмінних апаратів. Вплив застосованого потенціалу для контролю адгезії бактерій на титановому конденсаторному матеріалі атомних електростанцій розглянуто авторами [17].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Використання води в системі оборотного тепловодопостачання складається з декількох взаємопов'язаних технологічних операцій:



підготовки та використання води, періодичного контролю параметрів і режимів у роботі кожухотрубного теплообмінного апарату та ін. Тому розроблення технологічної схеми, спрямованої на забезпечення ефективності в роботі системи оборотного тепловодопостачання *визначає науко-прикладне значення проведення промислових випробувань і подальшого використання отриманих результатів.*

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» є доведення на практиці, в умовах реального виробництва, ефективності його роботи шляхом демонстрації, за погоджений період часу, суттєвого зменшення товщини шару відкладів на внутрішніх стінках досліджуваних водоохолоджуючих елементів феросплавної печі з відповідним покращанням процесу тепловідведення з цих елементів та підсумковою можливістю збільшення регламентних періодів ППР, що, у свою чергу, дозволить покращити економічні та технологічні показники ремонтів та експлуатації феросплавних печей.

Згідно із затвердженою Головою Правління АТ «Запорізький завод феросплавів» «Програмою проведення пілотних випробувань приладу електромагнітної обробки води «Hydroflow Industrial (test)» тестування відбувалося на внутрішній півфазі електроду №2 печі № 32 цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів» [18].

Основна частина. Умови експлуатації системи охолодження печі № 32 цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів». Згідно з виробничими планами та технологічними картами, обладнання працювало, більшість часу, у сталому режимі та виробляло сплав ФМн-70. Процес виробництва цього сплаву, згідно із регламентом, є найбільш жорстким з точки зору температурних (а відповідно – водоохолоджуючих) параметрів (табл. 1).

Регламентом виробничих випробувань визначено наступні умови їх проведення: температура води на вході 24-32°C та на температура води виході 40-60°C; типовий тиск 2,5-3,0 кгс/см² і витрати води на піч 400 м³ /год.

Стан водоохолоджувальних елементів печі №32 на початок випробувань.

Перед монтажем ремонтних півкілець, їх порожнина, у доступних місцях, зачищається механічним способом. Поверхні порожнин є дуже шорсткими, що сприяє підвищеному накипоутворенню та зменшенню вільного отвору для циркуляції охолоджуючої води. У підсумку спостерігається погіршення тепловідводу від навантажених елементів печі, зменшення зусиль на пружинах, що притискають щоби до електроду, внаслідок чого збільшуються витрати електроенергії, зростає вірогідність виникнення аварійних ситуацій та скорочення міжремонтного періоду, що знижує ефективність печі.

Необхідно додатково підкреслити, що прилад «Hydroflow Industrial



(test)» було змонтовано не на тільки-но виведену з ремонту піч, а після місяця її роботи в звичайному режимі. Таким чином, весь місяць на водоохолоджуючих елементах печі відбувалися інтенсивні процеси накипоутворення та зменшення розміру вільного отвору для циркуляції води [20].

Таблиця 1.

Показники якості води другого оборотного циклу умовно чистих вод

Другий оборотний цикл умовно-чистих вод		
рН	ед.рН	8,38
Прозорість	см	15
Жорсткість	ммоль/дм ³	14,93
Лужність	ммоль/дм ³	2,86
Хлориди	мг/дм ³	123,4
Кальцій	ммоль/дм ³	11,17
Магній	ммоль/дм ³	4,34
Зважені в-ва	мг/дм ³	24
Сухий залишок	мг/дм ³	1358
Окислюваність	мг/дм ³	30,37
Сульфати	мг/дм ³	560
Марганець	мг/дм ³	0,15
Залізо загальне	мг/дм ³	0,25
Кремній	мг/дм ³	11,25

Для чистоти експерименту було проведено порівняння із півкільцями печі №38, які відпрацювали без захисту 110 діб, детальний вигляд яких зафіксовано у «Звіті обстеження півкільць печі №38 цеху №4 АТ «Запорізький завод феросплавів» у період ППР», затвердженого керівництвом заводу [18].

Завершення випробувань. Прилад «Hydroflow Industrial (test)» пропрацював безпосередньо до закінчення процесу експлуатації печі №32 у зв'язку з її плановим виводом у ППР та був демонтований у 9 год. 00 хв. «11» квітня 2019р.

Перед демонтажем, за допомогою осцилографу, було здійснено контрольну фіксацію форми та потужності сигналу Hydropath на контрольному та суміжному контурах водоохолодження. На контрольному контурі сигнал Hydropath за формою та потужністю повністю співпадав із паспортним, на суміжному – сигналу практично не було. Процес демонтажу було зафіксовано представниками ТОВ «Гідрофлоу Україна» [20].

Опис стану елементів, що порівнюються. Після завершення

випробувань було проведено зовнішній огляд з фотофіксацією та порівнянням між собою аналогічних, розташованих на захищеному та незахищеному сигналом Hydropath півкільцях.

Особливу увагу було приділено ретельному аналізу стану півкільця у різних фазах їх експлуатації, підсумки якого було покладено в основу даного звіту.

Розкриття півкільця показало наступне:

1. Порівняння стану півкільця.

Для порівняння, із застосуванням фото-фіксації, було співставлено стан внутрішніх водоохолоджуючих поверхонь наступних півкільць:

А. Півкільце, що раніше експлуатувалося у феросплавній печі, порожнину якого було розкрито, очищено механічним шляхом під час ППР та підготовленого до монтажу на піч №32 на час випробувань після виходу з ремонту;

Б. Півкільце півфази печі №32, яке протягом 105 діб безпосередньо піддавалося дії сигналу Hydropath;

В. Півкільце півфази печі №32, яке протягом 105 діб опосередковано піддавалося дії сигналу Hydropath;

Г. Раніше демонтоване після експлуатації протягом 110 діб півкільце печі №38, яке не піддавалося дії приладу «Hydroflow Industrial (test)» у типовому стані.

Стан півкільця печі №38 після 110 діб експлуатації було зафіксовано раніше в «Акті обстеження півкільця печі №38, цех №4, АТ «Запорізький завод феросплавів» у період ППР», що додається [20].

Орієнтовний розмір вільного отвору для проходження води у верхній частині протоки цього півкільця складає лише 5x40 мм (площа = 200 мм²), що є явно недостатнім для водоохолодження печі.

Доцільність застосування для порівняння півкільць з печі, необробленої сигналом Hydropath, обґрунтовано у Примітці до п.4.4. Програми випробування.



а)
до випробування



б)
після випробування

Рис. 1. Стан елемента півкільця

Підсумки порівняння стану півкільця:

А. Стан півкільця, яке пройшло процес попереднього механічного очищення та підготовки і було встановлено на піч №32 перед її вводом до дослідно-випробувальної експлуатації:

Б. Півкільце печі №32, що було безпосередньо піддано дії сигналу Гідронас. Розтин півкільця, демонтованого з печі №32 після тестових випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» упродовж 105 діб з 26 грудня 2018р. по 10 квітня 2019р. (загальний міжремонтний термін експлуатації печі складає 136 діб (з 25 листопада 2018 р. по 10 квітня 2019 р.), показав наступне:

1.Верхня частина півкільця

З наведених результатів випливає, що завдяки дії приладу «Hydroflow Industrial (test)», досягнуто відсутність обростання вільного отвору протоки верхньої частини бобишки відкладами.

У порівнянні зі станом півкільця печі №38, що відпрацювало 110 діб без впливу приладу, вільний розмір отвору протоки суттєво збільшено з 5x40 мм (площа = 200 мм²) до 38x180 (площа = 7000 мм²), тобто у 35 раз [12].



Рис. 2. Стан елемента півкільця



Необхідно підкреслити, що такі порівняльні результати отримано при терміні успішної експлуатації підконтрольного півкільця на 24% більшому, ніж у порівняльному зразку з аналогічної печі №38, та на 13,3% більшому, ніж у регламентований період.

Показники охолодження контуру та візуальний зовнішній огляд стану порожнини півкільця дозволяють стверджувати, що експлуатацію півкільця впевнено можна було б продовжити і надалі, поза межами регламенту, якби не загальна зупинка печі №32 з інших причин.

Висновки. Наочно видно, що збільшення площі перетину вільного отвору для протоку води у 35 разів є яскравим доказом позитивного впливу застосування приладу «Hydroflow Industrial (test)» на даному водоохолоджуючому контурі.

Необхідно також врахувати, що прилад «Hydroflow Industrial (test)» було встановлено на контрольний водоохолоджуючий контур не на весь період ППР, а після 31 доби експлуатації у традиційному, тобто без захисту сигналом Hydropath, режимі.

Весь цей час (30%) у контурі відбувалися звичайні інтенсивні процеси відкладення у твердому вигляді на внутрішній поверхні протоку солей жорсткості, часток окалини, корозії металу та інших з відповідним зменшенням вільного перетину отвору та погіршенням тепловідведення з елементів печі.

Таким чином, головна мета випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» була досягнута за рахунок беззаперечного доведення ефективності його роботи, шляхом повної ліквідації шару відкладів на внутрішніх стінках досліджуваних водоохолоджувальних елементів феросплавної печі з відповідним покращанням процесу тепловідведення з цих елементів та підсумковою можливістю збільшення регламентних періодів (ППР).

Дані, наведені у звіті, переконливо доводять, що довготривалі виробничі випробування приладу електронної обробки води «Hydroflow Industrial (test)» продемонстрували наступні висновки [18]:

1. Високу ефективність цього методу при видаленні наявних та запобіганні утворення нових карбонатних відкладів на виробничих об'єктах феросплавної промисловості, зокрема, системах водоохолодження феросплавних печей.

2. Можливість досягнення суттєвого покращання 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. Встановлення приладу електронної обробки води «Hydroflow Industrial (test)», в певній мірі, впливає на уповільнення процесів



утворення накипу на суміжних контурах водоохолодження елементів печей, але не є достатнім для гарантованого збільшення періодів роботи між регламентами, які визначають планово-попереджувальні роботи (ППР) обладнання.

4. Додатковий ефект від роботи системи Гідрофлору – це захист запірної арматури та патрубків подачі води на контур печі.

Одним із головних висновків промислових випробувань необхідно визначити наступне. Внаслідок досягнення головної мети випробувань, яка полягає не лише в отриманні позитивних результатів досліджень, а й отриманні наочних результатів, дозволяє рекомендувати застосування приладів «Hydroflow» у металургії, зокрема – у феросплавній галузі

Список використаних джерел

1. Екологічні, технологічні та економічні аспекти запровадження ресурсозберігаючих технологій кондиціонування зворотних вод і осадів / О. М. Коцар та ін. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2014. Вип. 24. С. 126-134.

2. Пристрій для захисту та очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування: патент 141719 Україна: МПК⁷ B03C 1/00, B03C 1/035 (2006.01), B08B 7/02 (2006.01), F28G 7/00 / В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан, О. В. Бережецький, О. А. Андріанов. № 2019 09615; заявл. 03.09.2019, опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.

3. Пристрій очищення внутрішньої поверхні трубопроводів від відкладень: патент 141763 Україна: МПК⁷ B08B 9/02 (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.

4. Fluid treatment method and apparatus: Pat. № 20080185328 U.S.: International Classification: B01D 35/06 (20060101) / Daniel Stefanini. № 11/793,706. Filed: Dec 20, 2005. Publication Date: Aug 7, 2008.

5. Inhibition of corrosion of structures: Pat. № 20100101933 U.S.: International Classification: C23F 15/00 (20060101) / Daniel Stefanini (Nottingham). № 12/529,452. Filed: Feb 29, 2008. Publication Date: Apr 29, 2010.

6. Apparatus for establishing electrodes in a liquid: Pat. № 20150191373 U.S.: International Classification: C02F 1/48 (20060101) / Daniel Stefanini. № 14/662,562. Filed: Mar 19, 2015. Publication Date: Jul 9, 2015.

7. Method and apparatus for treating fluid with radio frequency signals: Pat. № 5667677 U.S.: International Classification: C02F 148 / Daniel Stefanini (Nottingham NG8 1FR). № 8/619,543. Filed: May 3, 1996. Date of Patent: Sep 16, 1997.

8. Balamurugan P., Hiren Joshi M., Rao T. S. Microbial fouling



community analysis of the cooling water system of a nuclear test reactor with emphasis on sulphate reducing bacteria. *Biofouling*. 2011. Vol. 27, № 9. P. 967-978. DOI: 10.1080/08927014.2011.618636.

9. Biofouling and microbial corrosion problem in the thermo-fluid heat exchanger and cooling water system of a nuclear test reactor / T. S. Rao et al. *Biofouling*. 2009. Vol. 25, № 7. P. 581-591. DOI: 10.1080/08927010903016543.

10. Haque M. N., Kwon S. Effect of ultra-sonication and its use with sodium hypochlorite as antifouling method against *Mytilus edulis* larvae and mussel. *Environ Geochem Health*. 2018. Vol. 40, № 1. P. 209-215. DOI: 10.1007/s10653-016-9894-1.

11. Karley D., Shukla S. K., Rao T. S. Microbiota of spent nuclear fuel pool water with emphasis on their biofilm forming ability on stainless steel (SS-304L). *Journal of Biosciences*. 2019. Vol. 44, № 5. P. 108-117. DOI: 10.1007/s12038-019-9937-8.

12. Sarró M. I., García A. M, Moreno D. A Biofilm formation in spent nuclear fuel pools and bioremediation of radioactive water. *Int Microbiol*. 2005. Vol. 8, № 3. P. 223-230. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16200501/> (дата звернення: 10.10.2020).

13. Satpathy K. K., Jebakumar K. E., Bhaskar S., Kannan S. E. Biofouling in cooling water system of nuclear power plant and its safety consequences: a perspective. India: Bhabha Atomic Research Centre. 2002. 421 p. URL: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:34011487 (дата звернення: 10.10.2020).

14. Biofouling control options for cooling systems. URL: <https://www.powermag.com/biofouling-control-options-for-cooling-systems/> (дата звернення: 10.10.2020).

15. Blazo C. Wastewater Disinfection with HYDROFLOW Technology. University of New Orleans Theses and Dissertations. 2013. URL: <https://scholarworks.uno.edu/td/1611> (дата звернення: 10.10.2020).

16. Biofouling and its Control in Seawater Cooled Power Plant Cooling Water System - A Review / K. K. Satpathy et al. *Nuclear Power*. 2010. P. 191-242. DOI: 10.5772/9912.

17. Effect of Applied Potential to Control Bacterial Adhesion on Titanium a Condenser Material of Nuclear Power Plants / S. D. Ruth Nithila et al. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2012. Vol. 65. P. 251–258. DOI: 10.1007/s12666-012-0126-9.

18. 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. / розробники: О. А. Андріанов, О. В. Бережецький, О. С. Толстов. Запоріжжя, 2019. 19 с.



19. Промислові випробування приладу електромагнітної обробки води в системі оборотного тепловодопостачання / В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан, О. А. Андріанов, О. В. Бережецький. *Меліорація та водовикористання. Технології та еколого-економічні рішення в сучасних умовах господарювання: матеріали XI наук.-практ. конф.* (м. Дніпрорудне, 2 липня 2020 р.). Дніпрорудне, 2020. С. 7-17.

20. Відгук щодо ефективності застосування приладу електромагнітної обробки води «HydroflowIndustrial (test)» під час проведення пілотних випробувань в АТ «Запорізький завод феросплавів». Запоріжжя, 2019. 2 с.

**ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДУ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ
В СИСТЕМІ ОБОРотНОГО ТЕПЛОВОДОПОСТАЧАННЯ
Кюрчев В. М., Мовчан С. І., Бережецький О. В., Андріанов О. А.,
Шелкунов В. І.**

Анотація.

Розглянуто питання дослідно-промислових випробувань приладу імпульсної високочастотної підготовки та використання технічної води контуру водяного охолодження акціонерного товариства «Запорізький завод феросплавів». Прилад використовувався з метою очищення внутрішніх елементів контуру водяного охолодження від старого накипу та недопущення формування нового, безпосередньо в умовах експлуатації печі.

Отримані результати випробувань приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води в робочому режимі, які проводилися у жорстких умовах працюючої металургійної печі під час реального виробничого процесу, наочно довели надійність та ефективність процесу захисту та боротьби з накипом на робочих поверхнях елементів контуру водоохолодження печі, забезпечуючи екологічну безпеку водних об'єктів, збільшення міжремонтного періоду експлуатації феросплавної печі, зменшення обсягів та вартості ремонтних робіт.

Ключові слова: контур водоохолодження, металургійна піч, імпульсна високочастотна електромагнітна обробка води, накип, біовідкладення, планово-попереджувальні роботи, система оборотного водопостачання.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ
ПРИБОРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ
В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОСНАБЖЕНИЯ
Кюрчев В. Н., Мовчан С. И., Бережецкий О. В., Андрианов О. А.,
Шелкунов В. И.**

Аннотация.

Рассмотрены вопросы исследовательско-промышленных испытаний прибора импульсной высокочастотной подготовки и использования технической воды акционерного общества «Запорожский завод ферросплавов». Прибор использовался с целью очистки внутренних элементов контура водного охлаждения от старой накипи и предотвращения формирования новых отложений, непосредственно в условиях эксплуатации печи.



Полученные результаты испытаний прибора импульсной высокочастотной электромагнитной обработки воды в рабочем режиме, которые проводились в жестких условиях работающей металлургической печи во время реального производственного процесса, наглядно доказали надежность и эффективность процесса защиты и борьбы с накипью на рабочих поверхностях элементов контура водоохлаждения печи, обеспечивающие экологическую безопасность водных объектов, увеличение межремонтного периода эксплуатации ферросплавной печи, уменьшение объемов и стоимости ремонтных работ.

Ключевые слова: контур водоохлаждения, металлургическая печь, импульсная высокочастотная электромагнитная обработка воды, накипь, биотложения, планово-предупредительные работы, система оборотного водоснабжения

INDUSTRIAL TESTS OF ELECTROMAGNETIC WATER TREATMENT DEVICE IN RETURN HEAT SUPPLY SYSTEM

Kiurchev V., Movchan S., Berezhetsky O., Andrianov O., Shelkunov V.

Summary.

The issue of experimental and industrial tests of the device of pulse high-frequency preparation and use of technical water of the circuit of water cooling of the inner half-phase of the electrode №2 of the furnace №32 of the shop №4 of the joint-stock company "Zaporizhzhya Ferroalloy Plant" is considered. The device was used to clean the internal elements in the water cooling circuit from the old scale and prevent the formation of new, directly in the operation of the furnace. The test results proved the reliability, efficiency and duration of the processes of protection and control of scale and biofouling on the working surfaces of the circuit elements without the use of mechanical cleaning and the use of chemical reagents.

The technology of chemical-free water treatment in the water cooling circuit of metallurgical furnaces is based on the use of selected, installed and controlled device of pulsed high-frequency electromagnetic water treatment, which is non-intrusively (externally, and is connected to the 220V AC mains.

The technology of chemical-free water treatment in the water cooling circuit of metallurgical furnaces is based on the use of selected, installed and controlled pulsed high-frequency electromagnetic water treatment device, which is non-intrusively (from the outside, without violating the continuity of the pipe or product) mounted on the pipe just before the cooling water enters the test facility and connecting to the AC mains voltage of 220V.

The obtained results of tests of the device of pulsed high-frequency electromagnetic water treatment in working mode, which were carried out in harsh conditions of the working metallurgical furnace during the actual production process, clearly proved the reliability and efficiency of the process of protection facilities, increasing the service life of the ferroalloy furnace, reducing the volume and cost of repair work.

Key words: water cooling circuit, metallurgical furnace, pulsed high-frequency electromagnetic water treatment, scale, biodeposition, planned and preventive works, circulating water supply system.