
Науково-методичний центр ВФПО



ВИРОБНИЧО-ПРАКТИЧНЕ, НАУКОВО-ПОПУЛЯРНЕ, НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Виходить двічі на рік

Редакційна колегія:

Варченко О. М., доктор економічних наук, професор, Білоцерківський національний аграрний університет

Гетья А. А., доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри генетики, розведення та біотехнології тварин, старший науковий співробітник, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Жуковська С. А., кандидат педагогічних наук, Науково-методичний центр ВФПО

Іщенко Т. Д., кандидат педагогічних наук, професор, Науково-методичний центр ВФПО

Каленська С. М., доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ковтун О. А., кандидат економічних наук, доцент, Асоціація «Український клуб аграрного бізнесу»

Ладика В. І., доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, Сумський національний аграрний університет

Ліссітса Алекс, доктор філософії з аграрної економіки, генеральний директор Індустріальної молочної компанії, голова Ради з питань аграрної освіти при Міністерстві освіти і науки України

Стрижеус А. В., онлайн-ресурс AgroPortal.ua

Хоменко М. П., кандидат педагогічних наук, Науково-методичний центр ВФПО

Шинкарук В. Д., доктор педагогічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Над випуском працювали: Дудник Т. П., Малинка Л. В., Шишкіна К. І.,

Дудус Т. В., Чайковська А. Б., Серова І. О., Талюта Л. М., Моргун І. О.

Шишкіна К. І. – відповідальна за випуск

Видання зареєстровано в Міністерстві юстиції України. Свідоцтво КВ № 24272-14112ПР від 28.12.2019. Усі права застережено. Передруки і переклади дозволяється лише за згоди редакції. Редакція не обов'язково поділяє думку автора. Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен та іншої інформації несуть автори публікації.

Мови видання: українська, англійська, французька, німецька, польська, російська.

Адреса редакції: 03151, м. Київ, вул. Смілянська, 11.

тел./факс 242-35-68

e-mail: nmc.vfpo@ukr.net

<http://nmc-vfpo.com>

Підписано до друку 10.12.2021. Формат 70x108 1/6

Гарнітура Palatino Linotype.

Ум. друк. арк. 0,16. Наклад 300 примірників. Зам. № 305

Засновник та видавець – Державна установа «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти»

НАУКА

<i>Броварська О. С., Булигіна Т. В., Домбровський В. П. Дослідження впливу фракцій прополісу на збудники хвороб бджіл</i>	99
<i>Демчук С. Ю. Бойко О. В. М'ясному скотарству – ефективне відтворення.....</i>	103
<i>Коваленко І. М. Агротехнології як основа сталого розвитку екологічно орієнтованого сільськогосподарського виробництва.....</i>	107
<i>Кюрчев В. М., Мовчан С. І., Бережецький О. В., Андріанов О. А., Щелкунов В. І., Ваврикович В. М. Виробничі випробування приладу електронної водопідготовки «hydroflow» в системі охолодження насосних агрегатів підприємств атомної енергетики.....</i>	116
<i>Мовчан С. І., Чернишова Л. М. Екологічно безпечні інженерні рішення поводження з рідкими відходами гальванічного виробництва промислових підприємств</i>	136

ЦЕ ЦІКАВО

<i>Трачук Т. Емоції, які заважають нам жити вповні.....</i>	151
<i>Служба новин ІАС «Аграрії разом»</i>	
<i>Рослини можуть відчувати стрес від контакту з водою: зелена паніка</i>	157
<i>Панасюк В. Нахабність, щедрість, вічне навчання: що найбільше дивує іноземців в Україні.....</i>	158
<i>Цікаві факти про екологію.....</i>	160

ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДУ ЕЛЕКТРОННОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ «HydroFLOW» В СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ ПІДПРИЄМСТВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

КЮРЧЕВ В.М., член-кореспондент НААН, доктор технічних наук,
професор, ректор

МОВЧАН С.І., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
геоекології і землеустрою, голова басейнової ради річок Приазов'я
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь)

БЕРЕЖЕЦЬКИЙ О.В., кандидат технічних наук, фінансовий директор
Товариство з обмеженою відповідальністю «САВ КОМПЛЕКТ» (м. Запоріжжя)

АНДРІАНОВ О.А., кандидат технічних наук, віцепрезидент

ЩЕЛКУНОВ В.І., доктор економічних наук, президент
Український національний комітет міжнародної торгової палати (ICS
UKRAINE) (м. Київ)

ВАВРИКОВИЧ В.М., інженер, генеральний директор

Товариство з обмеженою відповідальністю «Гідрофлоу Україна», (м. Київ)

За результатами промислових випробувань приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» і моніторингу теплотехнічних параметрів в системі охолодження маслованни підшипника та електродвигуна насосної станції бризкальних басейнів циркуляційної системи на об'єктах атомної енергетики отримано позитивні результати.

Основними споживачами технічної води на АЕС є конденсатори парових турбін, маслоохолоджувачі і повітроохолоджувачі турбогенераторів, підшипника насосів та інших допоміжних агрегатів, теплообмінники вентиляційних систем, теплообмінники доохолодження продувної води парогенератора тощо.

Тривалими випробуваннями і моніторингом теплотехнічних параметрів доведено:

- позитивний довгостроковий вплив застосування приладу «HydroFLOW» на стан зовнішньої поверхні сіток фільтрів за тривалої їх експлуатації;
- суттєве зменшення, під час використання приладу «HydroFLOW», біообростання, а також відкладів іржі, мулу і карбонатів на сітці фільтру насосного агрегату;
- видалення, завдяки застосуванню приладу «HydroFLOW», біологічних відкладів у контурі водоохолодження повітроохолоджувача електродвигуна.

Запропонована для проведення випробувань технологія електронної водопідготовки «HydroFLOW» базується на застосуванні певним чином піді-

браного, встановленого, контрольованого та обслугованого приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води, що неінтрузивно (ззовні, без розрізання труби) монтується на трубу безпосередньо перед входом охолоджуючої води у випробувальний об'єкт та підключається до електричної мережі змінного струму напругою 220В. Під впливом спеціального імпульсного синусоїдального затухаючого сигналу, що генерується приладом та розповсюджується за водним струмом в обидва боки (у прямо-му та зворотному напрямках) на відстань до 1000 метрів від місця монтажу, іони формуються у неадгезивні кластери, які вже не мають фізичної можливості прикріплюватися до внутрішніх поверхонь труб і обладнання та формувати шар складних комбінованих відкладень на базі карбонатів кальцію та магнію, перешкоджаючи регламентному функціонуванню обладнання. У по-дальшому, ці, штучно сформовані неадгезивні скупчення кластерів іонів кальцію та магнію, поступово виносяться, із загальним обсягом охолоджувальної води, через градирню з випадінням у осад.

Умови співпраці та проведення практичних досліджень

Ефективна співпраця між Українським національним комітетом міжнародної торгової палати (ICC UKRAINE) (м. Київ), товариством з обмеженою відповідальністю «Гідрофлоу Україна» (м. Київ), товариством з обмеженою відповідальністю «САВ КОМПЛЕКТ» (м. Запоріжжя) і Таврійським державним агротехнологічним університетом імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь Запорізької області) базується на Меморандумі про співпрацю [1].

Робочі випробування на об'єктах ВП «Запорізька АЕС» ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» (рис. 1) безпосередньо виконують відповідальні виконавці [2, 3].



Рис. 1. Фотографія робочих випробувань ВП «Запорізька АЕС» ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ»

Отримані позитивні результати підкреслюють ефективність співпраці між науковцями, інженерами-практиками різних галузей водогосподарського комплексу країни і технічними працівниками базових підприємств, які використовують воду, водні ресурси та інші рідини в технологічних процесах систем оборотного, повторного й багаторазового їх використання. За час дії Меморандуму творчим авторським колективом проведено виробничі випробування на багатьох потужних підприємствах України. Ефективність проведених випробувань підтверджена робочими звітами, актами впроваджень і рецензіями з кожного виробничого об'єкта.

Отримані позитивні результати підкреслюють ефективність співпраці між науковцями, інженерами-практиками різних галузей водогосподарського комплексу країни і технічними працівниками базових підприємств, які використовують воду, водні ресурси та інші рідини в технологічних процесах систем оборотного, повторного й багаторазового їх використання

Крім того, технічну новизну з окремих технологічних і технічних рішень, вузлів, окремих елементів і складаних одиниць промислових випробувань тестового приладу електронної водопідготовки підтверджено 18 патентами на корисну модель, захищеними відповідними нормативними документами у ДП «Український інститут інтелектуальної власності» (Укрпатент) [10-24] (станом на 01.07.2021), понад десятьма статтями у фахових і спеціалізованих виданнях України [28-30]. Майже 20 тезами доповідей на

конференціях різного рівня доведено переваги використання приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW», результати виробничих випробувань і надано практичні рекомендації стосовно практичної реалізації результатів.

Автори «Робочого звіту...» [2, 3] дякують колективу ВП Запорізька АЕС ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» за допомогу під час підготовки та проведення виробничих випробувань приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» в реальних умовах експлуатації атомної електростанції.

Обладнання та прилади, використані під час проведення випробувань

Під час проведення випробувань персонал ТОВ «САВ КОМПЛЕКТ» застосовував такі прилади:

- прилад високочастотної імпульсної електронної водопідготовки «HydroFLOW-test» (далі за текстом «HydroFLOW»), серійний номер 15112, на зовнішній діаметр труби 108 мм.
- цифровий ендоскоп TESLONG;
- мобільний осцилограф OMRON;

Крім того, під час проведення випробувань працівники ВРХЛ ВП ЗА-ЕС застосовували штатні методики, обладнання та інструмент, зазначені у відповідних Актах [2, 3 Додатки 6, 8], а під час контролю поточного температурного стану елементів контурів водоохолодження насосних агрегатів

персонал ЦТАВ ВП ЗАЕС застосував штатні температурні датчики та іншу апаратуру вимірювання [4, 5].

Монтаж приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» перед початком випробувань

Від магістрального трубопроводу, в кожному з насосних станцій, вода подається трубопроводом (0VG40) Ду100 через арматуру 0VG40S01-42. На цю трубу в приміщенні насосної станції між запірною арматурою та механічним фільтром було змонтовано на час випробувань прилад електронної водопідготовки «HydroFLOW» (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд (Фото) контрольних елементів в процесі монтажу і запуску приладу «HydroFLOW»

З метою візуального оцінювання стану елементів контурів водоохолодження насосних агрегатів НС19 і НС20, об 11.02 25.08.2020 зазначені насосні станції було відключено від мережі з розкриттям доступних елементів.

Розтин і візуальний огляд внутрішніх поверхонь підвідних трубок і охолоджувального змійовика маслованни опорних підшипників, а також мідних трубопроводів системи водяного охолодження електродвигунів, їх механічне очищення або промивання водою перед початком випробувань не проводили.

Під час зупинки насосних агрегатів було проведено розбирання з очищенням внутрішніх поверхонь корпусів сіткових фільтрів з заміною сіткових елементів на чисті з наявного обмінного фонду і з відбором проб відкладень і води.

Також було оглянуто фланцеві з'єднання підвідних гребінок на систему розведення трубок охолодження електродвигуна з нанесенням контрольних зарубок, відбором проб відкладень і складу води.

Відбір проб і фотографування контрольних поверхонь обох насосних агрегатів було виконано співробітниками ВРХЛ ВП ЗАЕС відповідно до стандартних методик. Матеріали аналізу відібраного матеріалу викладено в «Протоколи №38-21 / №1788 від 19.10.2020 за результатами обстеження фільтрів 19,20, фланцевих з'єднань і трубопроводів охолодження електродвигунів 0UL10D19,20 перед початком випробувань» [2, 3 (Додаток 6), 4].

За допомогою мобільного осцилографа OMRON, було проконтрольовано потужність сигналу «HYDROPATH», що генерується приладом «HydroFLOW», його частота і форма. Ці параметри, за підсумками проведеної перевірки, перебували в нормі. Індикатори роботи приладу і підтвердження генерації сигналу «HYDROPATH» червоного і зеленого кольору також були в нормі (рис. 2).

Після установки прилад «HydroFLOW» було увімкнено у розетку однофазної електричної мережі змінного струму 220В, опломбовано пломбою №L90279828 CONTROL (рис. 2) і зачинено в металевий захисний антивандальний кожух на ключ. Повторний пуск (старт випробувань) НС19 і НС20, після монтажу фільтра і елементів електродвигуна було здійснено о 16.54 25.08.2020.

Застосування математично-статистичного оцінювання впливу дії приладу «HydroFLOW» на теплотехнічний стан елементів насосних агрегатів

З відкритих джерел відомо, що різні методики математично-статистичного оцінювання впливу приладів «HydroFLOW» на теплотехнічні параметри різних елементів і вузлів теплообмінного і іншого устаткування добре зарекомендували себе на практиці в промисловості та енергетиці.

Зокрема, гідродинамічне та теплове оцінювання застосування приладів «HydroFLOW» для боротьби з обростаннями в теплообмінниках гідрогенератора ГЕС з використанням дистанційних методів аналітики та контролю детально, на підставі наукових досліджень і практичних випробувань, наведено в роботі [6, 7].

За останні роки, великий комплекс робіт щодо практичного впровадження математичних інструментів для визначення ефективності впливу приладу «HydroFLOW» на гідродинамічні і термічні параметри виконали автори цього Звіту на теплообмінному обладнанні великих промислових підприємств, зокрема, на центральній компресорній станції ПрАТ «Запорізький абразивний комбінат» і в СК № 1 ХЦ ВП ЗАЕС [8, 9].

Методика і результати зазначених робіт були раніше захищені авторами цього «Звіту» відповідними нормативними документами щодо захисту авторських прав на розроблені нові та удосконалення існуючих інженерних рішень удосконалення роботи систем оборотного тепловодопостачання [10-23].

У розроблених способах вирішено конкретні інженерні рішення, спрямовані на удосконалення технічного оснащення і підвищення рівня інтенсифікації в роботі систем оборотного тепловодопостачання.

Спосіб обробки води з визначенням температурного режиму теплоносіїв теплообмінного апарата дозволяє визначати і контролювати рівень температур води і мастила на вході/виході з технологічного обладнання [10, 15-23].

Спосіб контролю й очищення води в теплообмінних апаратах дозволяє забезпечити рівень автоматизації виробничих процесів в теплообмінних апаратах, а також створює умови отримання інформації про рівень температурного перепаду в межах системи оборотного тепловодопостачання [16].

Переважна більшість розроблених інженерних рішень спрямована на удосконалення окремих елементів і складаних одиниць в роботі приладу електронної водопідготовки, його розташування та запобігання або уникнення корозійних відкладів на внутрішніх робочих, функціональних поверхнях, які мають металеве покриття та/або частково чи цілком металеві [11, 18, 19, 22].

Використовується пристрій комплексного оцінювання і система контролю внутрішніх функціональних поверхонь в межах системи оборотного тепловодопостачання, а також на вході/виході обладнання, яке використовує воду, масла з підвищеним температурним режимом [17, 21].

Математично-статистичне оцінювання ефективності застосування приладу «HydroFLOW» в ході випробувань, виконано з метою отримання додаткового об'єктивного підтвердження впливу приладу і візуалізації його впливу на поліпшення теплотехнічних властивостей елементів випробуваного насосного агрегату НС 20 (насосної станції) ГЦ (гідроцеху) ВП ЗАЕС (гідроцех відокремленого підприємства Запорізька атомна енергетична станція).

З метою контролю за ефективністю роботи приладу «HydroFLOW» із застосуванням штатної вимірювальної техніки ВП ЗАЕС було організовано моніторинг теплових параметрів маслованн опорних підшипників обох насосів, а також повітроохолоджувачів і статорів електродвигунів.

Зазначені дані в онлайн-режимі з інтервалом в 1 сек. передавали з встановлених на обладнанні датчиків в РПВП (розподільчий пристрій власних потреб) і в ЦТАВ (цех теплової автоматики та вимірювань) ЗАЕС. Пакети отриманих даних з інтервалом тричі на тиждень передавалися для обробки і аналізу в офіс ТОВ (товариство з обмеженою відповідальністю) «САВ КОМПЛЕКТ».

Для оцінювання ефективності дії приладу «HydroFLOW» на зміну теплових параметрів елементів маслованни опорного підшипника насоса і контуру водоохолодження електродвигуна насосного агрегату НС20, отримані дані, а також розраховані похідні занесли в таблицю (Додаток 7 [25]) з подальшою побудовою графіків та їх аналізом. Крок вибірки з переданого посекундно масиву даних вимірювань протягом усього періоду моніторингу становив одну годину.

Моніторинг теплових показників контрольованих елементів і вузлів обох насосних агрегатів здійснювався з 15.00 26.07.2020 по 10.00 08.12.2020 (144 доби 19 годин, або 3475 години).

Даних від ВП ЗАЕС про позапланові механічні прочищення (крім однієї, проведеної в 13.00 20.07.2020 на НС20 – тобто до встановлення приладу «HydroFLOW») на трактах водоохолодження маслованн опорних підшипників НС19 або НС20, а також про доливання оливи в маслованни за період моніторингу не надходило.

Весь період моніторингу обидва насосних агрегати працювали безперервно в штатному режимі, зупинок не зафіксовано, спрацювання сигналізації за тепловими параметрами не зафіксовано.

Закінчення випробувань, демонтаж приладу «HydroFLOW», огляд устаткування та відбір проб

У зв'язку із закінченням запланованого терміну випробувань, о 10.49 08.12.2020, здійснено планове відключення НС19 і НС20 від мережі.

Таким чином, виробничі випробування приладу «HydroFLOW» на НС20 ГЦ ВП ЗАЕС проводили з 16.54 25.08.2020 по 10.49 08.12.2020, тобто 104 діб 17 годин 55 хвилин, або 2513 годин 55 хвилин у широкому діапазоні температур охолоджувальної води (від 33,5 °С до 16,7 °С).

Перед фінальним відключенням від мережі насосного агрегату НС20 здійснено контрольний замір якості сигналу «HYDROPATH» у районі встановленого приладу «HydroFLOW» і сіткового фільтра, а також на гребінці підведення охолоджувальної води до електродвигуна. Форма і частота сигналу в районі фільтра перебували в межах норми (рис. 3). Захисний кожух до кінця випробувань залишався зачиненим на ключ. Цілісність пломби L90279828 CONTROL, встановленої під час монтажу, не порушена (рис. 4).

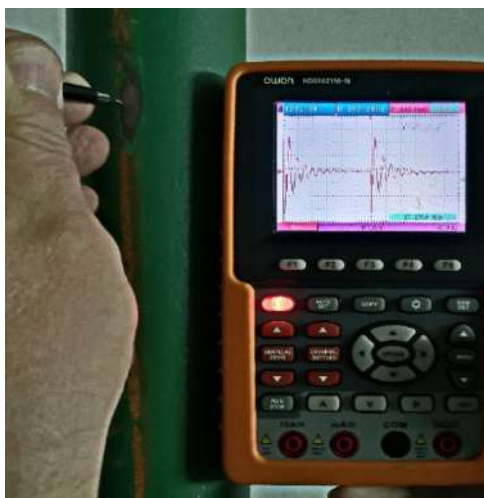


Рис. 3. Сигнал «HYDROPATH» перед сітковим фільтром



Рис. 4. Стан контрольної пломби

На елементах електродвигуна сигнал було спотворено, він не відповідав нормі (рис. 5), що, найімовірніше, пов'язане з наявністю сильних електромагнітних полів і струмами наведення на такому потужному електромагнітному об'єкті, як асинхронний електродвигун АВСМ-16-73-12УХЛ4 (номінальна потужність 1000 кВт, номінальна напруга 6000 В, струм статора 139А).



Рис. 5. Сигнал «HYDROPATH» на гребінці електродвигуна

Вплив температури в контурах контрольованих насосних агрегатів на характер відкладень

Як зазначалося раніше в розділі 2.1.1 «Звіту випробувань ...» [2, 3], характер відкладень в контурі водообігу багато в чому залежить від температури води в ньому і температури стінок [26].

Накладання реальних температурних параметрів елементів систем водоохолодження контрольованих насосних агрегатів на наведений раніше графік залежності характеру відкладень від температури стінок елементів контуру дає результат, наведено на рис. 6-9.

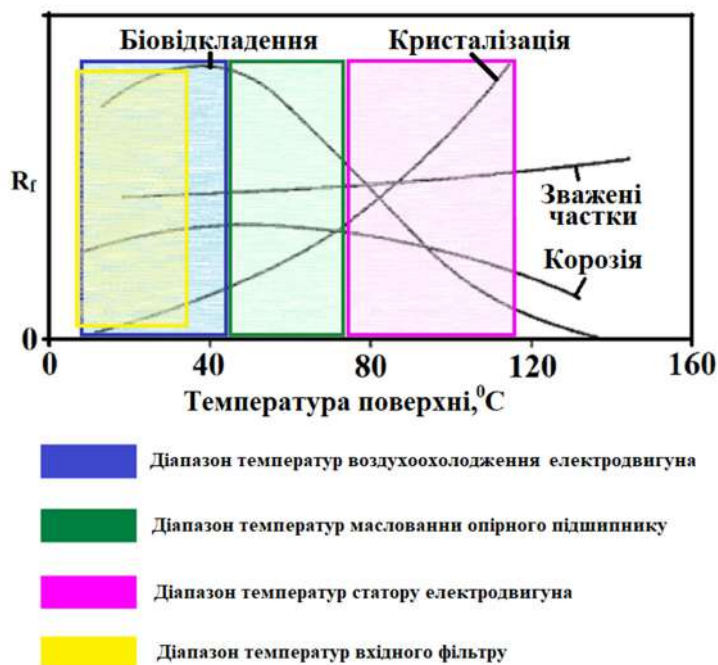


Рис. 6. Накладення діапазонів температур поверхонь елементів контурів водоохолодження контрольованих насосних агрегатів



Рис. 7. Температура води у вхідних фільтрах і в повітроохолоджувачах електродвигунів за період моніторингу



Рис. 8. Температура статорів електродвигунів насосних агрегатів за період моніторингу



Рис. 9. Температури оливи в маслованнах опорних підшипників насосних агрегатів у період моніторингу

Як бачимо з графіків, температура води у вхідних фільтрах насосних станцій в період моніторингу коливалася в діапазоні від 16,7°C до 33,5°C (жовтий діапазон), що дозволяє обґрунтовано припустити наявність всередині них складної суміші, що складається із значної кількості біологічних відкладень (основний компонент) з властивими для них поселеннями молюсків (*Tarebia granifera*, *Melanoides tuberculata*, *Dreissena polymorpha* та ін.), помітної кількості зважених часток і корозійних фрагментів з незначним вмістом кальцитної складової. За підсумками розтину вхідних фільтрів перед стартом випробувань,

це припущення було повністю підтверджено як шляхом зовнішнього огляду, так і за підсумками лабораторних досліджень (Додаток 6) [11] рис. 10.



Рис. 10. Зовнішній вигляд решітки вхідного фільтра насосного агрегату (Додаток 6) [11]

Температура води в повітроохолоджувачах електродвигунів насосних агрегатів у період моніторингу коливалася в діапазоні від 16,7 °С до 40 °С (блакитний діапазон), що, з урахуванням дещо більших значень температур на стінках повітроохолоджувачів, дозволяє зробити висновок про те, що основна маса відкладень на цих елементах є складною сумішшю з біовідкладень із зваженими частинками (мул, пісок) і вкрапленнями фрагментів іржі і кальцитних відкладень.

Наведені раніше дані про бактерицидні і фунгіцидні властивості мідних поверхонь, з яких складається водоохолоджувальний тракт повітроохолоджувачів електродвигунів, дозволяють припустити наявність вкрай незначної кількості біооброств на поверхнях мідних трубок, відповідно дуже невеликий шар відкладень і незначний потенціал для демонстрації ефективності приладу «HydroFLOW»;

Робота елементів контуру охолодження маслованн опорних підшипників насосів у період моніторингу здійснювалася в більш високому діапазоні температур (температура оливи 40°С – 60°С (зелений діапазон), що дозволяє дійти висновку про меншу відносну кількість біовідкладень і більшу відносну

кількість твердих частинок – іржі і зважених частинок, що скріплені кальцитною компонентою;

У найвищому діапазоні температур у період моніторингу працювали контури водоохолодження статорів електродвигунів (70 °С – 105 °С) (рожевий діапазон), що, з огляду на матеріал трубок (мідь), дозволяє припустити наявність накипу на стінках елементів мідного контуру з включеннями оксидів заліза, з'єднань кальцію і магнію, зважених часток за незначної кількості біовідкладень.

Аналіз даних, отриманих в ході випробувань приладу «HydroFLOW» на контурі водоохолодження маслованни опорного підшипника насосного агрегату НС20

Опис роботи технологічної схеми і методики випробувань

Для аналізу впливу сигналу «HYDROPATH», що генерується приладом «HydroFLOW», на ефективність очищення і подальшого захисту елементів контуру водоохолодження маслованни НС20 проведено порівняння стану контрольованих поверхонь контурів аналогічних елементів НС19 і НС20, а також їх стану під час розбирання після тривалої експлуатації перед початком та після закінчення випробувань.

Для підтримки в робочому діапазоні температури опорного підшипника насосного агрегату його занурено в спеціальну масляну ванну, в яку вмонтовано спеціальний змійовик, яким циркулює охолоджувальна технічна вода, що відбирається безпосередньо з підвідного каналу (рис. 11, рис. 12) [27].

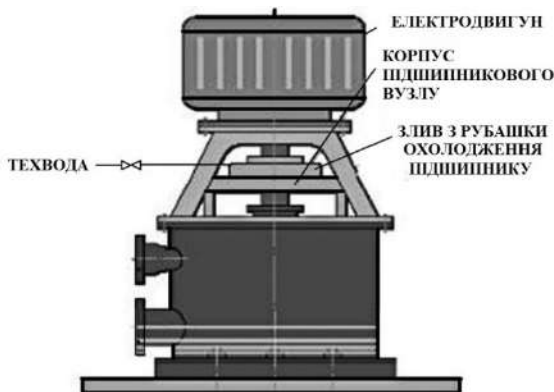


Рис. 11. Схема подачі охолоджувальної води на опорний підшипник насосного агрегату [27]



Рис. 12. Маслованна опорного підшипника

Перед потраплянням в охолоджувальний змійовик вода трубою, на якій встановлено випробуваний прилад «HydroFLOW», проходить через фільтр грубого очищення (розмір комірки становить близько 5 мм), на сіткових елементах якого (до 2 мм) осідає значна кількість сторонніх предметів (молюски, листя, елементи дерева, очерету, ін.) та різного виду біовідкладення.

Зважені та розчинені речовини, а також дрібна (менша за 2 мм) мушля та інші сторонні предмети вільно проходять через фільтр та сітку і, в подальшому, циркулюють по елементах охолоджувального контуру.

Внутрішні діаметри трубок з вуглецевої сталі, якими охолоджувальна вода подається до контуру водоохолодження маслованни опорного підшипника, становлять 20-25 мм. Діаметр змійовика-охолоджувача в корпусі маслованни - Ду40.

Частина зважених частинок, разом з біоматеріалом, що включає біоплівку, сторонніми предметами - елементами іржі і дрібними, проникними скрізь сітку фільтра, молюсками осідає в елементах контуру, перекиваючи перетин трубки і погіршуючи ККД теплообмінного обладнання.

Малий внутрішній діаметр підвідних і відвідних трубок з вуглецевої сталі, які піддаються корозії, наявність в охолоджувальному змійовику маслованни опорного підшипника 4-х різких поворотів на 90°, в сукупності з їх схильністю до обростання біоплівкою, зваженими частинкам і молюсками, а також значна кількість дрібних молюсків сімейства Thiaridae, що потрапляють до тракту, є причиною часткового або повного перекриття перетину з відповідним погіршенням температурного режиму маслованни, аж до аварійної зупинки насосного агрегату.

Очікування позитивного впливу приладу «HydroFLOW» базується на відомій властивості генерованого ним сигналу «HYDROPATH» знищувати біоплівку, яка є живильним середовищем для мікрободоростей і колоній молюсків сімейства Thiaridae, з відповідним зменшенням засмічення перетину змійовика, поліпшенням теплопровідності його стінок і процесів тепловідведення від маслованни.

У маслованні підшипника кожного з насосних агрегатів встановлено по два (основний і резервний) датчика температури, які, з частотою один раз на секунду і з точністю до 0,1°C, передають дані на вимірювальну апаратуру, встановлену в спеціальному приміщенні РУВП (розподільчий пристрій власних потреб).

Запрограмована уставка температури автоматичного відключення насосного агрегату за температурою маслованни становить 70 °C (попереджувальна сигналізація спрацьовує за 60 °C). Температура відібраної у підвідному каналі охолоджувальної води у період випробувань коливалася в діапазоні від 33,5 °C на початковому етапі в літній період року до 16,7 °C у разі закінчення випробувань у першій декаді грудня 2020 р. За період випробувань спрацьовувань аварійної попереджувальної сигналізації або аварійних відключень насосних агрегатів за температурою не зафіксовано.

Візуальне оцінювання фланцевих з'єднань системи охолодження електродвигунів

Оцінювання стану перед початком випробувань

Початковий стан і оцінювання відкладень на внутрішніх поверхнях фланцевих з'єднань на вході і виході систем водоохолодження електродвигунів НС19 і НС20 детально викладено в Додатку 6,8 [7].

Відзначено, що з боку входу і виходу охолоджувальної рідини (рис. 13, рис. 14) є давні значні, складні, багат шарові відкладення завглибшки від 6 до 10 мм, при цьому верхній шар до 3-х мм – слизові відкладення (біоплівка) брудно-зеленого кольору органічного походження, які легко знімаються та мають характерний запах; нижній шар (5-7 мм) – це давні складні, багат шарові, комплексні, щільно зчеплені з піском та оксидами заліза карбонатні відкладення, що закріплені на металевих внутрішніх поверхнях фланців і трубопроводів водоохолодження електродвигунів НС-19 і НС-20.

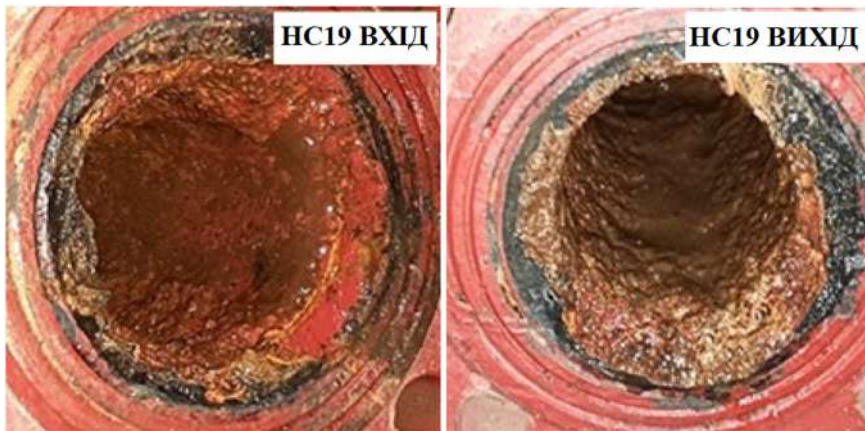


Рис. 13. Фланці контуру водоохолодження електродвигуна НС19.
(ліворуч – вхідний, праворуч – вихідний)

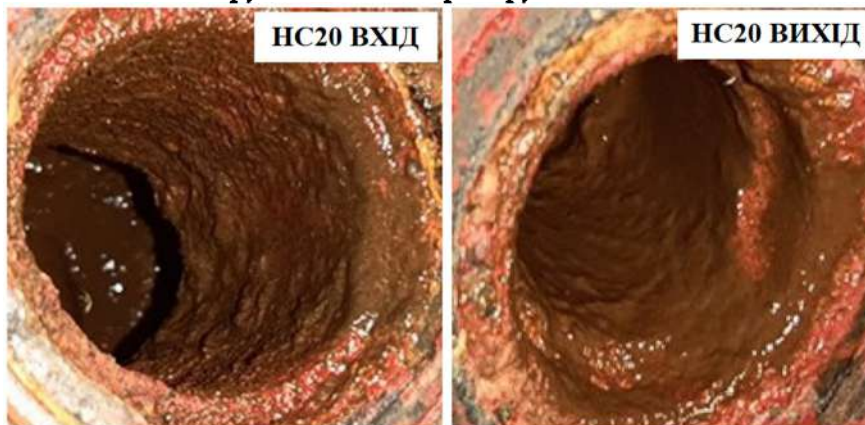


Рис. 14. Фланці контуру водоохолодження електродвигуна НС20.
(ліворуч – вхідний, праворуч – вихідний)

Нанесення контрольних насічок

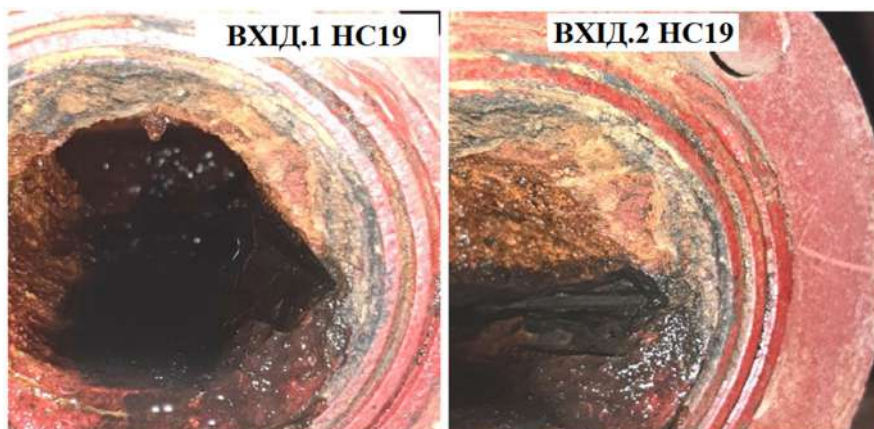


Рис. 15. Насічка на фланці з боку входу води в систему водоохолодження електродвигуна НС19 (ліворуч – Ракурс 1, праворуч – Ракурс 2)

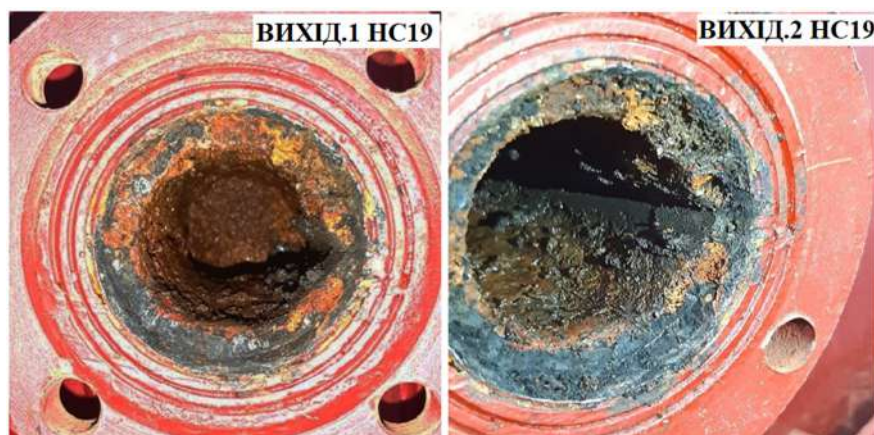


Рис. 16. Насічка на фланці з боку виходу води з системи водоохолодження електродвигуна НС19 (ліворуч – Ракурс 1, праворуч – Ракурс 2)

З метою фіксації стану відкладень у період випробувань приладу "HydroFLOW» на внутрішніх поверхнях фланцевих з'єднань 4-гранним напилком нанесено контрольні зарубки в ділянці 3-х годин (в часових координатах) на фланцях з боку входу і виходу охолоджувальної води електродвигунів НС-19 і НС-20 відповідно (рис. 15, рис. 16, рис. 17, рис. 18).

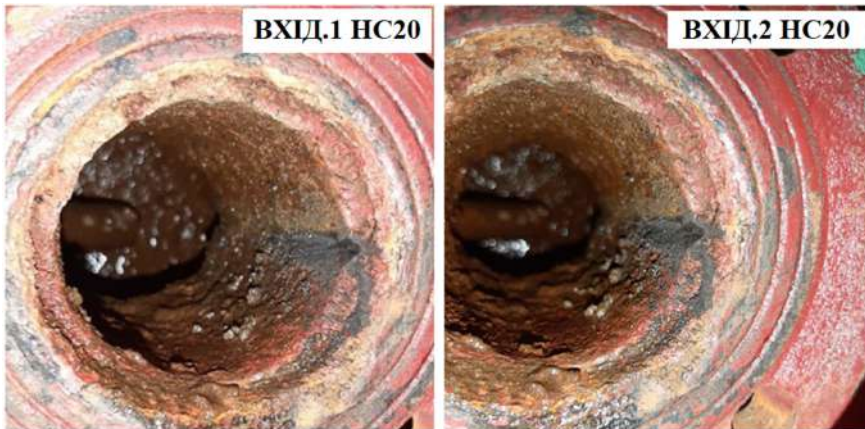


Рис. 17. Насічка на фланці з боку входу води в систему водоохолодження електродвигуна НС20 (ліворуч – Ракурс 1, праворуч – Ракурс 2)

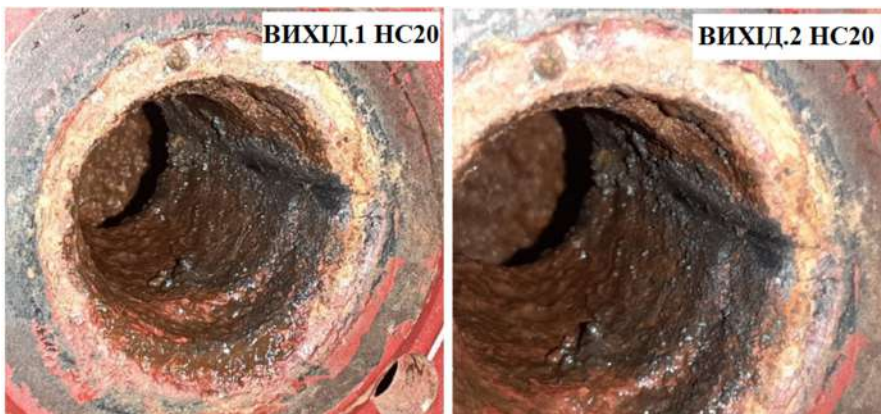


Рис. 18. Насічка на фланці з боку виходу води з системи водоохолодження електродвигуна НС20 (ліворуч – Ракурс 1, праворуч – Ракурс 2)

Слід відзначити, що нанесення контрольних насічок потребувало значних зусиль і часу та було виконано у 3-4 прийоми на кожному з 4-х фланців, що свідчить про щільність/твердість відкладень. Під час нанесення насічок пропил не забезпечив контакту напилка з металом фланця або труби.

Вихідна (перед початком випробувань) глибина контрольних насічок становила 5,0 мм по краю фланця, більш точно провести заміри глибини насічки всередині фланця/труби не вдалося через відсутність у розпорядженні ВРХЛ ВП ЗАЕС відповідного інструменту.

Висновки та практичні рекомендації

Висновки на підсумках виробничих випробувань приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» у системі охолодження насосних агрегатів підприємств атомної енергетики.

Основним чинником, на який потрібно спрямувати зусилля у боротьбі з відкладеннями в системах технічного водопостачання теплових і атомних та інших видів електростанцій, є розвиток біоплівки, яка є основною причиною погіршення процесів теплопередачі, харчової базою для розвитку макрообростань, зокрема обростань молюсками і джерелом розвитку різних видів корозії конструкційних матеріалів.

Висока резистентність мікроорганізмів і бактерій, сконцентрованих всередині біоплівки, неможливість за сучасного рівня технічних знань, традиційних підходів застосування відомих біоцидів, антибіотиків та інших реагентів, ефективних спроб руйнування біоплівки на її поверхні, актуалізує необхідність пошуку і відпрацювання на практиці сучасних альтернативних технологій боротьби з відкладеннями в системах технічного водопостачання електростанцій.

Доведено позитивний довгостроковий вплив застосування приладу «HydroFLOW» на стан зовнішньої поверхні сіток фільтрів за тривалої їх експлуатації.

Значно зменшено кількість біологічних відкладень на внутрішній поверхні сітки фільтра у разі використання приладу «HydroFLOW».

Суттєво зменшено обсяги біообростання, а також відкладень іржі, мулу і карбонатів на сітці фільтра насосного агрегату.

Повністю знищено, завдяки використанню приладу «HydroFLOW», відкладення на шарових елементах запірної арматури перед сітковими фільтрами насосного агрегату.

Повністю знищено колонії водоростей на внутрішній поверхні корпусу фільтру, які є кормовою базою для молюсків сімейства Thiaridae.

Як наслідок, суттєво зменшено ступінь обростання молюсками сімейства Thiaridae внутрішньої поверхні корпусу фільтра.

Доведено високий очищувальний ефект приладу «HydroFLOW» на трубах, що підводять та відводять до маслованни охолоджувальну воду, а також охолоджувального змійовика, аналогічний до механічного очищення.

Значно поліпшилися відносно якості механічного очищення (порогу чистоти), показники ефективності відносного тепловідведення від маслованн.

Суттєво видалено біологічні відкладення в контурі водоохолодження повітроохолоджувача електродвигуна, що підтверджується показниками погодинного теплового моніторингу.

Видалено, завдяки застосуванню приладу «HydroFLOW», біологічні відкладення у контурі водоохолодження обмоток статора електродвигуна (процес активного видалення почався на 12 добу з моменту монтажу приладу «HydroFLOW» і тривав до кінця випробувань), що призвело до значного

підвищення ефективності охолодження обмоток статора електродвигуна насосного агрегату.

Список використаних джерел

1. Меморандум про співпрацю «Підготовка та використання води в системах оборотного тепловодопостачання промислових об'єктів машинобудування, гірничо-збагачувального комплексу, енергетичного комплексу, переробної та харчової промисловості та інших галузей народного господарства України різних форм власності». Київ-Запоріжжя-Мелітополь. ТОВ «САВ КОМПЛЕКТ», Запоріжжя, 2019. С. 5. URL : <http://www.tsatu.edu.ua/eons/wp-content/uploads/sites/19/memorandum-30-serpnja-2019-r.pdf>

2. Андрианов О.А., Бережецький О.В., Ваврікович В. М., Мовчан С.І., Щелкунов В.І. Робочий звіт щодо підсумків виробничих випробувань тестового приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» на системі охолодження маслованни підшипника та електродвигуна насосної станції №20 бризкальних басейнів циркуляційної системи ВП «Запорізька АЕС» ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ». ТОВ «САВ Комплект», Енергодар-Запоріжжя, 2021. 103 с. URL : <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/13732> (дата звернення: 14.05.20201).

3. Андрианов А.А., Бережецький А.В., Ваврикович В.М., Мовчан С.И., Щелкунов В.И. Рабочий отчёт по итогам производственных испытаний тестового прибора электронной водоподготовки «HydroFLOW» на системе охлаждения маслованны подшипника и электродвигателя насосной станции №20 брызгальных бассейнов циркуляционной системы ОП «Запорожская АЭС» ГП «НАЭК «ЭНЕРГОАТОМ». ООО «САВ Комплект», Энергодар-Запорожье, 2021. 106 с. URL : <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/13732> (дата звернення: 14.05.2020).

4. Протокол № 3838-21/1788 от 19.10.2020 по результатам обследования фильтров 19,20UL10N03, фланцевых соединений и трубопроводов охлаждения электродвигателей 0UL10D19,20 перед началом испытаний / ООО «САВ Комплект», Энергодар-Запорожье, 2021. 9 с. URL : <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/13732> (дата звернення: 15.05.20201).

5. Протокол № 38- 21 / 2207 от 31.12.2020 по результатам обследования фильтров 19,20UL10N03, фланцевых соединений и трубопроводов охлаждения электродвигателей 0UL10D19,20 после испытаний устройства электромагнитной обработки воды «Hydroflow-test». ООО «САВ Комплект», Энергодар-Запорожье, 2021. - 10 с. URL : <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/13732> (дата звернення: 14.05.20201).

6. Frota M. N. et al. Avaliação hidrodinâmica e térmica de alternativas tecnológicas para mitigação de incrustações em trocadores de calor de hidrogeradores. URL : <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20110928160046-324.pdf> (дата звернення: 15.10.2020).

7. Frota M. N. et al. On-line cleaning technique for mitigation of biofouling in heat exchangers: a case study of a hydroelectric power plant in Brazil / Experimental Thermal and Fluid Science. 2014. Vol. 53. P. 197-206.

DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.12.006>.

8. Звіт щодо виконання Програми виробничих випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» на пластинчастому теплообміннику № 1 (ПТО №1) (паросилового) цеху № 18 центральної компресорної станції ПрАТ «ЗапоріжжяБразил» від 26 листопада 2019 р. / розробн. О. А. Андрианов, О. В. Бережецький, В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан. Запоріжжя, 2019. 21 с. URL :

<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12141> (дата звернення: 25.10.2020).

9. 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 «ЕНЕРГОА-ТОМ». Энергодар-Запорожье, 2020. 49 с.

10. Пат. 143952 Україна. МПК: B08 B9/02 (2006.01). № 202000472 Спосіб обробки води з визначенням температурного режиму теплоносія теплообмінного апарату. Опубл. 25.08.2020.

11. Пат. № 141719 Україна, МПК7 (2020.01) B03C1/00. B03 C1/035 (2006.01). B08 B7/02 (2006.01). F28 G7/00/ Пристрій для захисту та очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування. Опубл. 27.04.2020.

12. Пат. № 141763 Україна, МПК7 (2020.01) B08B9/02 (2006.01) Пристрій очищення внутрішньої поверхні трубопроводів від відкладень. Опубл. 27.04.2020.

13. Пат. № 141764 Україна, МПК7 (2020.01) F28G7/00. B02 B7/02 (2006.01) Пристрій контролю, захисту та очищення внутрішньої поверхні теплообмінного устаткування. Опубл. 27.04.2020.

14. Пат. № 142429 Україна, МПК7 (2020.01) B08B7/00. B08 B9/00. Пристрій для захисту й очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування. Опубл. 10.06.2020.

15. Пат. № 145679 Україна, МПК7 (2020.01) B01 D35/06 (2006.01). C02 F1/46 (2006.01). C02 F1/48 (2006.01). D03 C1/033 (2006.01). Пристрій підготовки води в системі оборотного тепловодопостачання. Опубл. 29.12.2020.

16. Пат. № 146077 Україна, МПК7 B08B7/02(2006.01). B08B9/02 (2006.01). C02F1/48 (2006.01). Спосіб контролю й очищення води в теплообмінних апаратах. Опубл. 21.01.2021.

17. Пат. № 146512 Україна, МПК7 (2021.01). F28G7/00. B08 B7/02(2006.01). Пристрій комплексної оцінки внутрішньої металевої поверхні теплообмінного устаткування. Опубл. 24.02.2021.

18. Пат. № 146680 Україна, МПК7 (2020.01). E21C37/14 (2006.01). B9/02(2006.01). Пристрій очищення внутрішніх функціональних поверхонь трубопроводів в системах тепловодопостачання. Опубл. 10.03.2021.

19. Пат. №146873 Україна. МПК7 (2020.01). B08 B7/02(2006.01). B08 B9/02(2006.01). Пристрій захисту функціональних поверхонь систем тепловодопостачання. Опубл. 31.01.2021.

20. Пат. №146932 Україна. МПК7 (2021.01). B03C1/00. B01C1/035(2006.01). B08B7/02(2006.01). F28G7/00 Пристрій для захисту та очищення внутрішніх функціональних поверхонь теплообмінного устаткування Оpubл. 31.01.2021.

21. Пат. №146936 Україна. МПК7 (2020.01). F28 G7/02 (2006.01). . B08 B7/02(2006.01). Система контролю внутрішніх функціональних поверхонь теплообмінного устаткування. Оpubл. 31.01.2021.

22. Пат. №146942 Україна. МПК7 (2020.01). B087/02(2006.01). B08 B9/02(2006.01). Пристрій диференційного очищення внутрішніх металевих поверхонь теплообмінного устаткування. Оpubл. 31.01.2021.

23. Пат. № 147464 Україна, МПК7 B08 B7/00 (2006.01). B08 B9/02(2006.01). Система імпульсної височастотної електромагнітної обробки води в теплообмінних апаратах. Оpubл. 23.05.2021.

24. Пат. № 147208 Україна. МПК7 (2021.01). C23F13/00 (2006.01). B08B9/02. Установка для захисту внутрішньої функціональної поверхні сталевих трубопроводів від корозії. Оpubл. 21.04.2021.

25. Статистические и расчетные данные тепловых параметров элементов контуров водоохлаждения HC19 і HC20 за период мониторинга. ТОВ «САВ Комплект», Энергодар-Запоріжжя, 2021. - 52 с. URL : <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/13732> (дата звернення: 14.05.2020 р.)

26. Müller-Steinhagen H. C4 Fouling of Heat Exchanger Surfaces. VDI Heat Atlas. Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-3-540-77877-6_7.

27. Шелегов А. С., Лескин С. Т., Слободчук В. И. Насосное оборудование АЭС : учеб. пособие. Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. 348 с. URL : <https://rucont.ru/efd/347512> (дата звернення: 25.11.2020).

28. Кюрчев В.М., Мовчан С.І., Бережецький О.В., Андрианов О.А., Шелкунов В.І. Виробничі випробування тестового приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» в системі оборотного тепловодопостачання. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, ТДАТУ, 2021. Вип. 11, Том. 1. С.13. DOI : 10.31388/2020-8674-2021-1-1. URL : <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2021-vypusk-11-tom-1.pdf>

29. Кюрчев В.М., Мовчан С.І., Шелкунов В.І., Ваврікович В. М., Андрианов О.А., Бережецький О.В. Виробничі випробування тестового приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» і довготривалого моніторингу теплотехнічних параметрів технологічного обладнання на об'єктах атомної енергетики. *Меліорація та водовикористання. Професійна освіта: стан та перспективи* : Матеріали XIII наук.-практ. конф. ДНЗ «Якимівський професійний аграрний ліцей», Якимівка, 2021. С.5-11.

30. Кюрчев В.М., Мовчан С.І., Андрианов О.А., Бережецький О.В., Шелкунов В.І., Підготовка та використання води в системах оборотного тепловодопостачання. *Меліорація та водовикористання. Професійна освіта: стан та перспективи* : Матеріали XIII наук.-практ. конф. Якимівка, 2021. С.12-18.