

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ECOLOGICAL PROBLEMS

УДК 622.241

DOI 10.20535/1813-5420.4.2021.257275

О.М. Терентьев, д-р. техн. наук, проф, ORCID 0000-0003-2523-2804

А.И. Клешов, канд. техн. наук., ORCID 0000-0002-9412-4156,

А.И. Варфоломеев, канд. техн. наук., ORCID 0000-0002-9271-5689,

М.І. Сергієнко, викладач, ORCID 0000-0001-8284-9072

Національний технічний університет України “Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського”

ОЧИЩЕННЯ РІДИНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ФОКУСУВАННЯМ ДОМІШОК

У статті розглянуті актуальні питання підвищення ефективності системи очищення фільтрату фізичними способами розробленої в інституті енергозбереження та енергоменеджменту

КПІ ім. Ігоря Сікорського Робота присвячена актуальному питанню впровадження новітніх, ресурсозберігаючих, енергозберігаючих, комплексних технологій очищення забруднених рідинних середовищ. До теперішнього часу не розроблена теоретична база, є тільки гіпотези, і немає практичних методик розрахунку магнітної обробки води. Стаття присвячена очищенню фільтрату побутових відходів комбінованими фізичними методами. Для очищення потоку рідини використано електромагнітний блок управління. Зменшення агресивності фільтрату передбачає багатоступінчасте забезпечення управління траєкторією домішок при їх виведенні з основного потоку. З урахуванням властивостей матриці планування експерименту обчислені коефіцієнти регресійного рівняння, адекватно відображає процеси очищення рідини при її омагнічуванні. Іони забруднюючих домішок представляють собою заряджені частинки. Для їх видалення із загального потоку необхідно на трубопроводі розмістити генератори для створення розвинутої кавітації у потоці рідини та котушки індуктивності. Кавітаційні бульбашки є внутрішніми генераторами коливань, і виділяючи енергію при захопленні, подрібнюють домішки забруднення.

Ключові слова: очищення, фільтрат, фізичні способи очищення, фокусування іонів забруднень, управління траєкторією руху домішок, Ларморова прецесія, планування експерименту

Вступ. У практиці водоочищення недостатня увага приділяється управлінню динамікою заряджених домішок дією зовнішніх і внутрішніх сил. Магнітна обробка водного середовища має ряд переваг відносно інших фізичних способів: діє на всі групи домішок; впливає як на хімічні, так і на фізичні процеси в водному середовищі; призводить до вивільнення внутрішньої енергії середовища внаслідок руйнування електромагнітних зв'язків між молекулами рідини та домішок, активізує водне середовище. Головною перевагою при очищенні водного середовища від іонів домішок є можливість керування рухом іонів в магнітному полі, а отже безпосереднє видалення іонів домішок з потоку. Магнітна обробка водного середовища знайшла своє застосування в багатьох галузях промисловості, що в свою чергу, підтверджує ефективність таких пристроїв. Проте відсутні визначені критерії ефективності такої обробки.

Актуальність теми. При виборі напрямку дослідження автори керувалися наступними нормативно-правовими актами.

Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2012, № 19-20, ст.166). {Із змінами, внесеними згідно із Законом № 5460-VI від 16.10.2012, ВВР, 2014, № 2-3, ст.41}

Закон України «Про Загальнодержавну програму розвитку водного господарства» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2002, № 25, ст.172)

{Із змінами, внесеними згідно із Законами № 380-IV (380-15) від 4731-VI (4731-17) від 17.05.2012, ВВР, 2013, № 15, ст.98 }

Цими Законами передбачено впровадження новітніх, водозберігаючих, енергозберігаючих, комплексних технологій очищення забруднених вод.

Поряд з широким застосуванням магнітної обробки водного середовища, відсутні загально визнані та експериментально підтвержені теоретичні положення, які пояснюють фізико-хімічні процеси, що відбуваються при обробці магнітним полем водного середовища. Існуючі методики розрахунку та вибору параметрів магнітних систем базуються на емпіричних залежностях та висвітлюють обмежений діапазон зміни чинників та умов проведення дослідження. Тому їх неможливо використовувати в якості

функціональних залежностей при розрахунках параметрів і створенні магнітних систем, що працюють в умовах, які відрізняються від умов проведення експериментальних досліджень.

Актуальним також є встановлення закономірностей руху домішок водного середовища. І урахування їх іонізації під дією постійного аксіально-симетричного поперечного магнітного поля.

В практиці водоочищення відсутні дослідження впливу постійного аксіально-симетричного поперечного магнітного поля на заряджені домішки. Недостатня увага приділяється керуванню динамікою заряджених домішок дією зовнішніх і внутрішніх сил. Тому актуальними є встановлення закономірностей руху домішок водного середовища з урахуванням їх іонізації під дією постійного аксіально-симетричного поперечного магнітного поля, розробка методики розрахунку та вибору параметрів магнітної аксіально-симетричної системи очищення водного середовища, і на їх підставі, створення та промислове впровадження інноваційних систем очищення води.

Іони забруднюючих домішок представляють собою заряджені частинки. Для їх видалення із загального потоку необхідно на трубопроводі розмістити генератори для створення розвинутої кавітації у потоці рідини та котушки індуктивності. Кавітаційні бульбашки є внутрішніми генераторами кливань, і виділяють енергію при захопленні, подрібнюють домішки забруднення. Котушки є елементом електромагнітної системи очищення рідини, (далі EMCOP). Електромагнітне поле управляє траєкторією руху заряджених частинок домішок, фокусуючи їх у водоворот (вир). При цьому виникає Ларморова прецесія, яка сумісно з силою Лоренца забезпечує спіральність траєкторії руху частинок. У міру збільшення напруженості електромагнітного поля Лармора радіус руху частинок зменшується. Забруднюючі домішки формують параболоїд обертання з вузькою вершиною у отвори видалення забруднень із загального потоку.

Аналіз літературних джерел. В роботі [1] наведено огляд знезараження стічних вод, що накопичуються при складуванні або закапуванні сміття. Відомі способи знезараження стічних вод, такі як: об'єднане з внутрішніми стічними водами, переробка, біологічна обробка (аеробний і анаеробний) мають як переваги, так і недоліки. Також мають недоліки хімічна і фізична знезараження (коагуляція / утворенню грудочок, хімічне осадження, адсорбція, демонтаж амонію, хімічне окислення, іонний обмін і електрохімічне лікування), мембранна фільтрація (мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація і зворотний осмос [2-9]. Сьогодні, використання мембранних технологій, особливо Reverse Osmosis (RO), є головним в ланцюзі знезараження стічних вод від накопичених побутових відходів. Для очищення води застосовуються різні методи такі як ультрафіолетове опромінення, термообробка, добавка дезінфікуючих коштів, наприклад, хлору тощо. Використання зазначених методів очищення вод зменшує каламутність збільшуючи смак і видаляючи мікроби. Дослідження [2] проведено, щоб оцінити очищення води використанням *Phyllanthus emblicawood*. В результаті колір, аромат, каламутність, провідність, тверді частинки, лужність, кальцій, залізо, хлорид і рівень нітрату були збільшені в випробувальному контейнері. рН, повна твердість, сульфат і рівні магнію були зменшені. Рівень кишкової палички, повних coliforms і фекальних coliforms був знижений.

В роботі [3] наведена інформація про метод магнітного очищення води. У дослідженні розглянуті і розкриті позитивні аспекти магнетизму і магнітних матеріалів для очищення води. Кілька методів очищення можуть забезпечити відповідність води стандартам [4]. Магнітне розділення - один з цих методів очищення. Він застосовується в гірничодобувній промисловості. Забезпечує не тільки очищення води, але і очищення труб від налипання домішок на внутрішній стінці труб.

Впровадження комерційно доступного імпульсного електромагнітного поля. (PEMF) широко використовується для управління масштабуванням в таких процесах, як зворотний осмос (RO) і градірні. Його використання покращує коагуляція неорганічних частинок, таких як карбонат кальцію [4]. Щоб забезпечити науковий підставою для таких вимог, характеристики осадження карбонату кальцію при впливі PEMF проведено це дослідження [5-7].

Експерименти, для оцінки ефекту обробка магнітним полем по схильності сольового розчину до утворення відкладень в першу чергу іонів бікарбонату кальцію [8]. Позитивні результати були отримані з використанням динамічної Система Scale Loop з розсолем, що піддаються впливу магнітного поля, що створюється магнітами Гаусса марки H45 Ш в діаметральній орієнтації на 2,5 с. Після магнітного впливу, сольовий розчин піддавали впливу підвищеної температури 150 ° C при тиску від 1 бар до 5 бар.

Проводилось також дослідження [9] впливу етилендіамінтетраметіленфосфоновой кислоти на натрій (EDTMPs) по осадженню CaCO₃ в змінному електромагнітному полі (AEMF) і ультразвукове (УЗД) вплив. Варіації значення рН і Ca²⁺ контролювали концентрацію розчину жорсткої води, кристалічну фазу і випадання кристалів CaCO₃ була охарактеризована методами XRD і SEM. У експериментальні результати показують, що присутність EDTMPS може пригнічувати осадження шкідливих домішок.

Експерименти, проведені в рамках описаних дослідження, були проведені для оцінки ефекту обробка магнітним полем по схильності сольового розчину до утворення відкладень в першу чергу іонів

бікарбонату кальцію [8]. Позитивні результати були отримані з використанням динамічної Система Scale Loop з розсолем, що піддаються впливу магнітного поля, що створюється магнітами Гаусса марки H45 Ш в діаметральній орієнтації на 2,5 с. Після магнітного впливу, сольовий розчин піддавали впливу підвищеної температури 150 ° С при тиску від 1 бар до 5 бар.

Проводилось також дослідження [9] впливу етілендіамінтетраметіленфосфоновой кислоти на натрій (EDTMP) по осадженню CaCO₃ в змінному електромагнітному полі (АЕМФ) і ультразвукове (УЗД) вплив. Варіації значення рН і Ca²⁺ контролювали концентрацію розчину жорсткої води, кристалічну фазу і Морфологія випали кристалів CaCO₃ була охарактеризована методами XRD і SEM. У експериментальні результати показують, що присутність EDTMP може пригнічувати осадження шкідливих домішок.

Мета дослідження. Обґрунтувати параметри робочих режимів очищення рідини за допомогою електромагнітного способу фокусування, з подальшим видаленням з потоку шкідливих домішок.

Завдання дослідження:

–встановити залежності ларморового радіусу і висоти параболоїда обертання заряджених домішок від струму котушки фокусування ЕМСОЖ;

–створення математичної моделі ЕМСОЖ;

–обґрунтування параметрів робочих режимів ЕМСОЖ.

–визначення можливості управління рухом домішок котушкою їх фокусування.

–розробка методики розрахунку і вибору параметрів магнітної аксіально-симетричної системи очищення водного середовища.

–створення та промислове впровадження інноваційних систем фізико-механічного очищення води;

–формулювання гіпотези дослідження Іони забруднюючих домішок, що знаходяться в потоці рідини

Методи дослідження. При проведенні дослідження використані наступні методи: **методом структурного аналізу та синтезу** обрано спосіб та засіб керування станом водного середовища шляхом магнітного впливу; **методом абстрагування** потік в'язкої рідини представлено як трансляційний рух іонів та молекул рідини в напрямку прикладеної сили; **методом формалізації** використано основні принципи аналітичної динаміки, електродинаміки суцільних середовищ, математичної фізики та теорії розв'язку диференціальних рівнянь при виведенні закономірностей руху часточки в постійному аксіально-симетричному магнітному полі.; **системний підхід** для комплексного дослідження впливу магнітного поля на водне середовище з розділенням на: мікрое вплив та макрое вплив, дослідження їх як єдиного цілого із узгодженим функціонуванням усіх елементів та частин; **планування експерименту, експеримент** для підтвердження аналітичних досліджень процесу магнітного впливу на водні середовища. математичного моделювання досліджуваного процесу в вигляді лінійного поліному та дослідження його **методами математичної статистики**; хімічний аналіз води: **метод виміру масової концентрації загального заліза з сульфосаліциловою кислотою**; **метод визначення загальної жорсткості води**; **метод визначення концентрації магнію та кальцію** об'ємним способом.

Основні результати та їх обговорення. Магнітна обробка води може бути ефективною при насиченні іонами кальцію і карбонату. Магнітний потік сприяє дробленню агрегатів феромагнітних частинок на фрагменти і окремі частинки, «звільнення» їх від водної оболонки, утворення газових мікро бульбашок.

Феромагнітні мікрочастинки створюють центри кристалізації, формування накипу. Вони менше осідають на тепло напружених поверхні і більше - всередині водного потоку. Газові мікро бульбашки сприяють флоатації часток забруднення. На практиці не завжди отримують однаковий позитивний ефект. Крім того, при температурах середовища понад 110...120⁰С, ефективність даного методу значно падає. Отже, така обробка не може застосовуватися для підготовки води парових котлів, де температура нагріву води більше 120⁰С.

Під час магнітної обробки утворюється вуглекислота. Добутий вуглекислий газ в закритих системах з великою витратою води необхідно встановлювати Дегазатори. Що виходять пластівці необхідно виводити із системи видаляючи шлами. При цьому необхідно враховувати, що відцентровий циркуляційний насос повинен встановлюватися до магнітного апарату, щоб пластівці не руйнувалися.

Очистка полягає в обробці середовища спрямованими ультразвуковим потоком від багаточастотного генератора акустичних коливань (ГАС) і знакозмінним повздовжнім та поперечним магнітним полем – блок знакозмінного магнітного поля (БЗМ) та магнітна аксіально-симетрична система (МАС) – з послідовним адсорбуванням домішок – фільтр адсорбційної очистки (ФАО).

Система включає чотири ступені очищення середовища. Ультразвукова та магнітна обробка призводять до вивільнення внутрішньої енергії самого середовища, що значно підвищує ККД процесу реструктуризації рідинного середовища з остаточним очищенням за рахунок адсорбційного фільтру.

Фільтрат є дуже агресивним середовищем. Він містить велику кількість механічних, солевих, жирових, вуглеводневих домішок, завислого піску, розчинів солей важких металів, елементів, що утворюють з кислотами нерозчинні з'єднання [2]. Окремі домішки фільтрату мають достатню площу контакту з внутрішньою поверхнею труби. Адгезійна сила налипання на стінки трубопроводу перевищує рушійну силу. Це обумовлює активне налипання домішок на стінках трубопроводу. Умовний прохід труб зменшується, що зменшує пропускну спроможність системи видалення фільтрату. Боротьба з налипанням фільтрату на внутрішні поверхні труб виконується за принципом, наведеним на рис. 1.

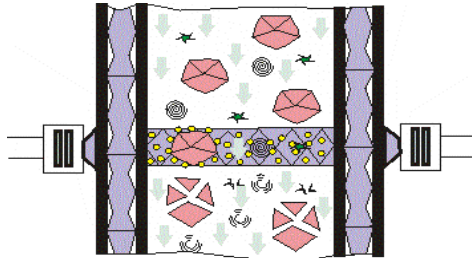


Рисунок 1– Принцип запобігання осаду фільтрату на трубах

Відомі на сьогодні механічні, хімічні, вібраційні способи очищення трубопроводів і зменшення агресивності фільтратів виробництва є трудомісткими та малоефективними. Вони не дають змоги рівномірно обробити весь об'єм фільтрату, шари якого рухаються в трубопроводі з різними швидкостями. Окреме використання гідрокавітаційних та ультразвукових способів очищення рідинних середовищ також має малу ефективність оскільки ультразвукове випромінювання відбувається з малої площі випромінювачів. Це не дозволяє збільшити інтенсивність ультразвукових коливань, що вводяться в середовище з метою його кавітаційної обробки. При намаганні збільшити інтенсивності коливань на поверхні випромінювачів утворюється кавітаційний двофазний прошарок, який поглинає та розсіює ультразвукову енергію. При озвучуванні фільтрату коливаннями з інтенсивністю, при якій не досягається поріг виникнення кавітації, коли тиск у ультразвуковій хвилі в фазі розрідження не є нижчим тиску насиченої пари у середовищі і кавітація не виникає.

Оскільки фільтрат є багатокомпонентною сумішшю - кожен з компонентів має свою власну резонансну частоту коливань. Руйнування забруднюючих домішок вимагає створення багаторезонансних генераторів з регулюємою власною частотою коливань. Це ускладнює конструкцію системи очищення фільтрату

Метою створення автоматичної системи очистки фільтрату є підвищення продуктивності очищення від іонів важких металів і подальшого попередження відкладення солей на внутрішніх поверхнях труб.

Завданням створення технології очищення фільтрату є деполімеризація великих молекулярних ланцюгів за рахунок використання сумісної дії керованих ультразвукових, електромагнітних та гравітаційних потоків, раціонального перерозподілу енергонасиченості технологічних процесів.

Суть запропонованої системи. Використання запропонованої магнітної ультразвукової адсорбційної системи обробки (МУАСО) рідинних середовищ дозволить мінімізувати кількість домішок у фільтраті, видалити старі відкладення домішок з внутрішньої поверхні стінок трубопроводу і використовувати екологічно безпечну технологію для очищення фільтрату.

Технологія, що пропонується, передбачає прокачування фільтрату під тиском через послідовно встановлені гідродинамічний, ультразвуковий кавітатори, блок знакозмінного магнітного поля, фільтр адсорбційної очистки, рис. 2.

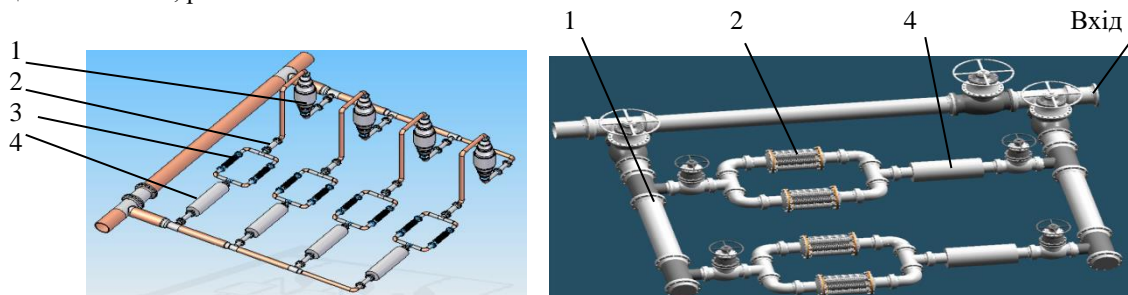


Рисунок 2 – Технологічна схема МУС: 1 – Блок адсорбційного фільтрування (БАФ); 2 - Блок магнітного ціклоування (БМЦ); 3 – Блок знакозмінного магнітного поля (БЗМ); 4 – Генератори акустичних коливань (ГАК)

Розроблено чотирихступеневу магнітно-кавітаційну систему очищення робочої рідини, рис. 3. Першому ступеню відповідає підготовка води генератором ультразвукових коливань (ГАК). Другим ступенем є підготовка води повздовжнім аксіально-симетричним магнітним полем – блоком знакозмінного поля (БЗМ). Третя ступень передбачає обробку поперечним аксіально-симетричним магнітним полем – магнітною аксіально-симетричною системою (МАКС). І четверта ступінь забезпечує адсорбційну фільтрацію потоку. Система очищення фільтрату передбачає виключення з робочого процесу однієї чи декількох систем підготовки води в разі їх виходу з ладу. Для цього використовують засувки.

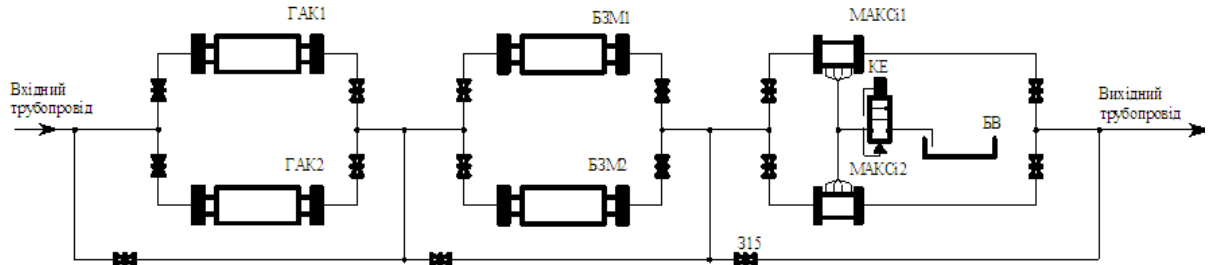


Рисунок 3 - Технологічна схема магнітно-кавітаційної системи очищення робочої рідини

Таким чином, очистка полягає в обробці середовища спрямованими ультразвуковим потоком від багаточастотного генератора акустичних коливань (ГАК) і знакозмінним повздовжнім та поперечним магнітним полем – блоком знакозмінного магнітного поля (БЗМ) та магнітна аксіально-симетрична система (МАКС) – з послідовним адсорбуванням домішок – фільтр адсорбційної очистки (ФАО). Конструктивне рішення яке впроваджено у виробництво в місті Кропивницькому наведено на рис. 4.



Рисунок 4 – Конструктивне рішення системи очищення фільтрату

Ультразвукові кавітатори закріплені на зовнішній поверхні трубопроводу і мають налаштування на власну частоту коливань домішок, що присутні у фільтраті. При руйнуванні домішок у резонансному режимі їх площа контакту з внутрішньою стінкою трубопроводу зменшується і існуючий шар налипання руйнується, а новий не осідає на внутрішніх поверхнях трубопроводу. Навантаження трубопроводу пружним і ультразвуковими коливаннями унеможливує утворенню осаду на внутрішній поверхні і сприяє очищенню труб від існуючих відкладень. Затверділі раніше утворенні відкладення руйнуються та відшаровуються від металеві поверхні внаслідок різниці в значеннях модулів пружності металу і відкладень.

Інтенсивність ультразвукових коливань внутрішньої поверхні труб обирають вищою за поріг виникнення у фільтраті ультразвукової кавітації. Крім того, гідродинамічні кавітатори створюють кавітаційні бульбашки діаметром 10^{-4} м, які є зародками для утворення більш мілких 10^{-9} м, частота захоплення яких наближається до власної частоти коливань середовища, що оброблюється. При цьому можливий резонансний режим, який забезпечує руйнування внутрішньої структури фільтрату

Ультразвукові кавітатори забезпечують лінійні переміщення резонансні повздовжні-згинальні коливання та радіально-згинальні коливання. Ультразвукові генератори монтується в пучностях стоячої пружної хвилі деформації.

У гідродинамічному кавітаторі внаслідок значної різниці швидкостей в потоці фільтрату досягається місцеве зниження тиску до рівня тиску насиченої пари в рідині до даних умов і ви никає гідродинамічна кавітація. Кавітаційні каверни, заповнюються паро-газовою сумішшю і потім руйнується, з

утворенням великої кількості бульбашок меншого діаметру. При попаданні в зону підвищеного тиску бульбашки захлопуються з утворенням сферичних хвиль, кумулятивних струменів, великої кількості зародків кавітації

Кожний з хвилеводів-випромінювачів генератора ультразвукового потоку ГАК, рис. 5, настроюють на власну частоту коливань певного різновиду домішок, які забруднюють рідину. Конкретна робоча частота хвилеводу-випромінювача визначається товщиною п'єзокерамічних пластин, її регулювання і підстроювання виконують автоматично завдяки блоку електроніки.

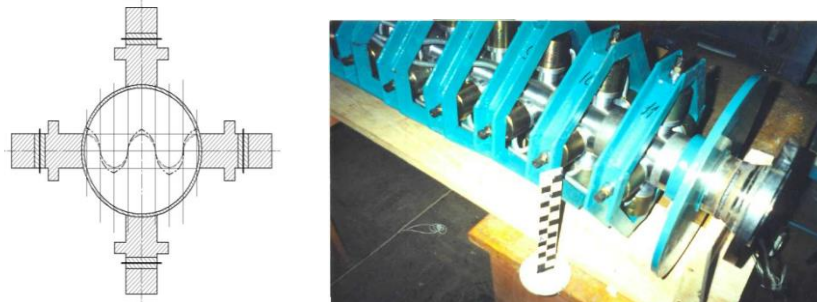


Рисунок 5 – Генератори акустичних коливань

Одночасно з облученням потоку рідини система передбачає обробку води повздожнім магнітним полем БЗМ, рис. 6. Кожний магнітний елемент БЗМ настроюють на власну частоту коливань певного різновиду домішок. Різні параметри магнітного поля забезпечують змінними геометричними розмірами магнітних елементів.

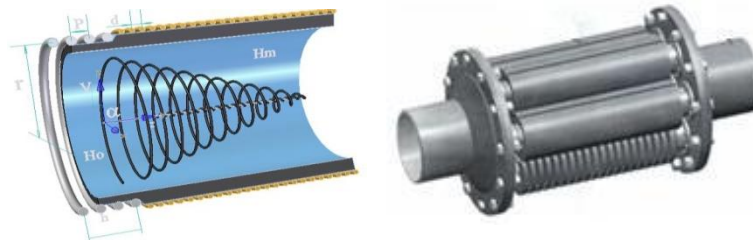


Рисунок 6 – Схема і система обробки води повздожнім магнітним полем БЗМ

При проходженні фільтрату через БЗМ проводиться також його обробка поперечним магнітним полем. За рахунок аксіально-симетричного поперечного магнітного поля (МАКС), рис. 7, заряджені частинки домішок затримують заряджені частинки в просторі системи, з подальшим безпосереднім їх видаленням з потоку.

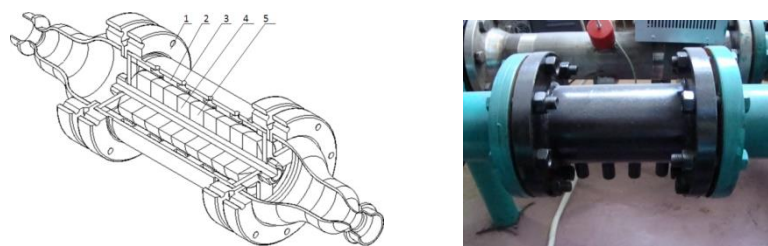


Рисунок 7 - Магнітна аксіально-симетрична система обробки води МАКС

МАКС працює таким чином. Потік водного середовища надходить з робочого трубопроводу (не зображений), який з'єднано з пристроєм за допомогою фланців 1, протікає по кільцевому каналу, що утворений внутрішніми накопичувачами 2, кільцевими магнітами 4 та полюсними наконечниками 5. Під дією постійного аксіально-симетричного магнітного поля частки домішок зміщуються до внутрішніх накопичувачів 2, і через канали відведення 3 висококонцентрована суміш часток домішок та водного середовища безпосередньо видаляються з потоку через електромагнітний клапан у допоміжний бак.

Далі фільтрат надходить у фільтр адсорбційної очистки ФАО. Потік рідини, що містить розчинену речовину, надходить у шар пористих зерен і омиває їх, заповнюючи міжзернові порожнини шару адсорбенту. У результаті масопереносу розчиненої речовини до зовнішньої границі зерен адсорбенту і від зовнішньої границі зерна по системі пор до його центра, молекули речовини адсорбуються і

концентрація розчину в міру його просування уздовж шару знижується від початкової до гранично допустимої.

Конструктивні варіанти блоку адсорбційного фільтрування ФАО магнітно-ультразвукової системи очищення водних середовищ представлені на рис. 8.

На рисунку 1.8 зліва направо та зверху вниз відповідно показано:

- насосну станцію з ФАО; - збиральне креслення фільтра;
- фільтруючу касету; - елементи фільтруючої касети;
- результати роботи фільтру за один цикл - Вода після і до очищення

ФАО працює наступним чином - балон, що є корпусом фільтру, заповнений фільтруючим середовищем - клинопіглолітом. У верхній частині балону закріплено автомат, який змінює напрямок потоків води для виконання процесів фільтрації або регенерації. Автомат керує таймером і витратоміром, що дає змогу підтримувати оптимальний час кожного циклу. Під час фільтрації водний потік проходить крізь фільтруюче середовище і очищується від іонів домішок. При зменшенні ефективності адсорбції БАФ переключасться на цикл зворотного промивання та реагентна обробка фільтру розчином марганцю для відновлення хімічної активності фільтруючого середовища.



Рисунок 8 - Конструктивні варіанти блоку адсорбційного фільтрування магнітно-ультразвукової системи очищення водних середовищ

Система МУС проходила також виробничу апробацію на третьому нафтодобувному промислі НГВУ "Чернігівнафтогаз" з 2016 до 2020 року. За 4 місяці внутрішній діаметр труб для закачування відстояної від нафти води зменшився з 200 мм до 58 мм. Після введення в експлуатацію МУС шар забруднень на внутрішніх поверхнях трубопроводів зменшено з 4 см до 1,5 мм., (рис.9). Це підтверджує, що система здатна повністю очищувати та запобігати появі відкладень на внутрішніх поверхнях трубопроводів. Крім того, запобігалась корозія трубопроводів, так як зменшено кількість осередків кристалоутворення.



Рисунок 9 – Результати очищення внутрішніх поверхонь 208 труб на третьому нафтодобувному промислі НГВУ "Чернігівнафтогаз": ліворуч - труба до очищення, праворуч – труба після очищення системою МУС

Висновки.

1. Розроблено магнітно-кавітаційну технологію очищення робочої рідини, яка включає ультразвукову обробку рідини, що впливає на макроструктури, та магнітну обробку рідини, що впливає на мікроструктури домішок рідини. Таким чином, магнітно-кавітаційна технологія очищення рідини впливає на широкий спектр домішок в рідині.

2. Використання для очистки рідини від домішок пристроїв з аксіально-симетричним повздовжнім та поперечним магнітним полем забезпечує створення однорідного в об'ємі рідини магнітного поля, що підвищує ефективність впливу магнітного поля на рідину.

3. Магнітно-кавітаційна технологія очищення робочої рідини використовує внутрішню енергію рідинного середовища, що підвищує ККД процесу очищення робочої рідини. Технологія екологічно безпечна – не має відходів, та енергозберігаюча – за рахунок використання постійних магнітів.

Список використаної літератури

1. Abdulhussain A. Abbas, Guo Jingsong, Liu Z. Ping, Pan Y. Ya, Wisaam S. Al-Rekabi. Review on Landﬁ || Leachate Treatments [Text]/ Abdulhussain A. Abbas, Guo Jingsong, Liu Z. Ping, Pan Y. Ya, Wisaam S. Al-Rekabi. // *American Journal of Applied Sciences*. 2009; 6(4): page 672-684].

2. Sathish, Selvaganesa Pandian, Arul Amuthan. Effect of soaking of Phyllanthus emblica wood in drinking-water for purification [Text] / Sathish, Selvaganesa Pandian, Arul Amuthan // *International Journal of Pharmacology and Clinical Sciences*. 2012; 1(1): page 19-27.

3. Ambashta Ritu D Water purification using magnetic assistance[Text]/ Ritu D. Ambashta, Mika Sillanpää// *Journal of Hazardous Materials*, Volume 180, Issues 1–3, 15 August 2010, Pages 38-49.

4. Piyadasa, C. et al. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes—a review. *Desalination* 418, 19–34 (2017).

5. Salman, M. & Al-Nuwaibit, G. Anti-scale magnetic method as a prevention method for calcium carbonate scaling. *TOJSAT* 7, (2017).

6. Sun, J. et al. Performance and mechanisms of ultrafiltration membrane fouling mitigation by coupling coagulation and applied electric field in a novel electrocoagulation membrane reactor. *Environ. Sci. Technol.* 51, 8544–8551 (2017).

7. Piyadasa, C. et al. The influence of electromagnetic fields from two commercially available water-treatment devices on calcium carbonate precipitation. *Environ. Sci.* 3, 566–572 (2017).

8. Al Helal, A., Soames, A., Gubner, R., Iglauer, S. & Barifcani, A. Influence of magnetic fields on calcium carbonate scaling in aqueous solutions at 150 °C and 1bar. *J. Colloid Interf. Sci.* 509, 472–484 (2018).

9. Nan, Y. et al. Effect of alternating electromagnetic field and ultrasonic on CaCO₃ scale inhibitive performance of EDTMPS. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 99, 104–112 (2019).

10. Єжов С. М. В. Класична механіка.[Текст]/ С. М. Єжов С. М., М. В. Макарець, О. В. Романенко //К.: ВПЦ "Київський університет", 2008.— 480 с.

11. Гайдадин А.Н. Применение полного факторного эксперимента при проведении исследований: метод. указания /А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.

O. Terentiev, Dr. Sciences., Prof. ORCID 0000-0003-2523-2804

A. Kleshchov, Cand. Sc., (Eng).ORCID 0000-0002-9412-4156

A. Vorfolomeiev, Cand. Sc., (Eng).ORCID: 0000-0001-5789-5149

M. Sergienko, Assos. Prof. ORCID 0000-0001-8284-9072

**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

PURIFICATION OF LIQUID BY ELECTROMAGNETIC FOCUSING OF IMPURITIES

The article discusses topical issues of increasing the efficiency of the filtrate purification system by physical methods developed at the Institute of Energy Saving and Energy Management «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». The work is devoted to the urgent problem of introducing the latest resource-saving, energy-saving integrated technologies for the purification of contaminated liquid media. To date, not a single theoretical base has been developed, there are only hypotheses, and there are no practical methods for calculating the magnetic treatment of water. The article is devoted to the purification by physical methods of the filtrate of domestic and industrial wastewater of industrial and domestic waste. An electromagnetic control unit was used to clean the fluid flow. Reducing the aggressiveness of the filtrate involves multi-stage control of the trajectory of impurities when they are removed from the main stream. Taking into account the properties of the experiment planning matrix, the coefficients of the regression equation were calculated, which adequately reflect the processes of liquid purification during its magnetization. Pollutant ions are charged particles. To remove them from the general flow,

it is necessary to place generators on the pipeline to create developed cavitation in the fluid flow and inductance. Cavitation bubbles are internal oscillators and, releasing energy upon impact, crush and purify impurities.

In practical water purification, insufficient attention is paid to the control of the dynamics of charged impurities by the action of external and internal forces. Magnetic treatment of an aqueous medium has a number of advantages over other physical methods: it acts on all groups of impurities; influence on both chemical and physical processes in the aquatic environment; leads to the vivacity of the environment within the enterprise due to the destruction of electromagnetic bonds between the molecules of the indium and impurities, activates the aquatic environment. The main advantage in the purification of an aqueous medium from ions of impurities is the ability to control mobile ions in a magnetic field, and therefore direct visions of impurities per stream. Magnetic treatment of aqueous media has found its application in many industries, which, in turn, confirms the effectiveness of such devices.

Key words: purification, filtrate, physical purification, ion focusing, Larmor precession, experiment planning.

References

1. Abdulhussain A. Abbas, Guo Jingsong, Liu Z. Ping, Pan Y. Ya, Wisaam S. Al-Rekabi. *Review on Landﬁ || Leachate Treatments [Text]/ Abdulhussain A. Abbas, Guo Jingsong, Liu Z. Ping, Pan Y. Ya, Wisaam S. Al-Rekabi. //American Journal of Applied Sciences. 2009; 6(4): page 672-684.*
 2. Sathish, Selvaganesa Pandian, Arul Amuthan. *Effect of soaking of Phyllanthus emblica wood in drinking-water for purification [Text]/ Sathish, Selvaganesa Pandian, Arul Amuthan//International Journal of Pharmacology and Clinical Sciences. 2012; 1(1): page 19-27.*
 3. Ambashta Ritu D Water purification using magnetic assistance[Text]/ Ritu D. Ambashta, Mika Sillanpää//Journal of Hazardous Materials, Volume 180, Issues 1–3, 15 August 2010, Pages 38-49.
 4. Piyadasa, C. et al. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes—a review. *Desalination 418, 19–34 (2017).*
 5. Salman, M. & Al-Nuwaibit, G. Anti-scale magnetic method as a prevention method for calcium carbonate scaling. *TOJSAT 7, (2017)*
 6. Sun, J. et al. Performance and mechanisms of ultrafiltration membrane fouling mitigation by coupling coagulation and applied electric field in a novel electrocoagulation membrane reactor. *Environ. Sci. Technol. 51, 8544–8551 (2017).*
 7. Piyadasa, C. et al. The influence of electromagnetic fields from two commercially available water-treatment devices on calcium carbonate precipitation. *Environ. Sci. 3, 566–572 (2017).*
 8. Al Helal, A., Soames, A., Gubner, R., Iglauer, S. & Barifcani, A. Influence of magnetic fields on calcium carbonate scaling in aqueous solutions at 150 °C and 1bar. *J. Colloid Interf. Sci. 509, 472–484 (2018).*
 9. Han, Y. et al. Effect of alternating electromagnetic field and ultrasonic on CaCO₃ scale inhibitive performance of EDTMPS. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 99, 104–112 (2019)*
 10. Yezhov, S.M. *Classical mechanics./ S.M. Yezhov, M.V. Makarets, O.V. Romanenko //.– K .: VPTs "Kyiv University", 2008. - 480 p.*
 11. Gaidadin A.N. *Application of a complete factorial experiment in research: a method. instructions./ A.N. Gaidadin, S.A. Efremova.–VolgSTU. - Volgograd, 2008. - 16 p.*
-

Надійшла 21.10.2021
Received 21.10.2021