

Зміст	
Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	12
Вступ.....	13
1. Аналіз технологій очистки води від органічних речовин.....	14
1.1 Вимоги до очищеної води	14
1.2 Способи очищення води.....	18
1.3 Електророзрядна плазма і процеси, що протікають в ній	21
1.3.1 Електророзряд в газових і рідких середовищах	21
1.3.2 Електролітна плазма	22
1.3.3 Тліючий розряд	23
1.3.4 Бар'єрний розряд	26
1.4 Утворення активних окислювачів і синтез пероксиду водню в електророзрядній плазмі.....	28
1.5 Окислення органічних речовин методом електророзрядної плазми.....	32
1.6 Знезараження водних розчинів методом електророзрядної плазми	35
1.7 Застосування бар'єрного розряду з метою знезараження і окислення органічних речовин	37
1.8 Опис технологічної схеми електророзрядної установки для очищення води від стійких органічних забруднень	39
1.9 Постановка задачі.....	40
2 Експериментальне дослідження електророзрядного очищення	42
2.1 Методика проведення експерименту	43
2.2 Аналіз обробленої води	49
2.3 Обробка результатів плазмовохімічного очищення.....	54
3 Аналіз технологічної схеми як об'єкту автоматизації	64
4 Розроблення системи керування.....	66
4.1 SCADA-системи, її підсистеми та архітектура.....	66
4.2 Різновиди людино-машинних інтерфейсів.....	68
4.3 Реалізація схеми електророзрядної установки в Trace Mode	71
4.4 Інструкція для роботи із схемою очищення.....	77

5 Розроблення стартап проекту	80
5.1 Резюме стартапу	80
5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу	82
5.3 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда	84
5.4 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту	86
5.5 Карта бізнес-процесів реалізації проекту	91
5.6 Оцінка ризиків та страхування розробки	94
Висновки	96
Список використаних джерел	97
Додатки.....	102
Додаток А Осцилограми зміни струму та напруги	102
Додаток Б Алгоритм оцифровки осцилограми	107
Додаток В Алгоритм розрахунку потужності, витрат енергії та ККД	112
Додаток Г Блок схема розрахунку потужності, витрат енергії та ККД	120
Додаток Д Анкета-опитування для підприємств	121

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

ГДК – гранично допустима концентрація;

pH – це показник кислотності води;

ДК – допустима концентрація;

БСК – біохімічне споживання кисню;

ХСК – хімічне споживання кисню;

МО – мікроорганізми;

УФ – ультрафіолет;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

TDS – це число нерозчинних елементів;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

АСУТП – автоматизована система керування технологічним процесом;

АСКОЕ – автоматична система контролю і обліку електроенергії;

OPC – Open Platform Communications;

DDE – Dynamic Data Exchange;

ПК – персональний комп'ютер;

PCY – розділена система управління;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ФОП – фонд оплати праці;

ОФ – основні фонди;

А – амортизація основних фондів;

ОбЗ – оборотні засоби;

Е – ефективність підприємства;

ФОП – фонд оплати праці.

Вступ

Основними джерелами забруднення природних вод є промислові стічні води, комунальні стічні води, сільськогосподарські стоки, нафта і нафтопродукти, поверхневі стоки та атмосферні опади.

Водні ресурси, що формуються в межах України, надзвичайно обмежені. Їхній обсяг складає 52 км³/рік, у тому числі поверхневі – до 39 км³/рік, підземні – до 13 км³/рік. Величина водоспоживання в країні неухильно наближається до межі ресурсів і досягає 30-36 км³/рік. При цьому 88% основних річок мають екологічний стан басейнів, що оцінюються як "погане", "дуже погане" і "катастрофічне". У 61% основних річок України вода оцінюється як "сильно забруднена", і тільки 3% річок мають воду задовільної чистоти [1].

Найбільш розповсюдженими забрудненнями водних джерел є нітрити (до 2 ГДК – гранично-допустимих концентрацій), феноли (до 16 ГДК) і нафтопродукти (до 10 ГДК) [1].

Максимальна кількість забруднення потрапляє у природні води з промисловими стічними водами, які мають різний склад та великі об'єми. Стічні води промислових об'єктів України за багатьма параметрами перевищують встановлені норми щодо скиду у водойми. Якість поверхневих вод має важливе значення для України, так як 75 % питного водопостачання у нас здійснюється за рахунок поверхневих вод.

Забруднювачами поверхневих вод є промисловість – 65 %, агропромисловий комплекс – 15 %, комунальне господарство – 20 % [2]. Найбільш небезпечними речовинами, які забруднюють воду є нафтопродукти, феноли, анілінові барвники. Велика кількість підприємств є потужними водоспоживачами, що в свою чергу викликає необхідність у обробці великої кількості використаної води. На жаль, на більшості підприємствах не забезпечується необхідний рівень очистки води, так як технології затратні, малоефективні та застарілі.

Саме тому розробка енергоефективних та екологічно безпечних технологій водоочищення від стійких органічних забруднень є актуальною.

1. Аналіз технологій очистки води від органічних речовин

Велика кількість стічних вод містить різноманітні барвники, які є токсичними та небезпечними для оточуючого середовища. До таких стоків слід віднести стічні води заводів, на яких ці барвники виготовляють, а також стоки фарбувальних цехів різних промислових підприємств.

Шкідливі речовини разом із стоками потрапляють у водойми, погіршуючи їх санітарний стан та викликаючи необхідність спеціального глибокого очищення води перед її використанням для господарсько-побутових та промислових потреб. Особливістю очищення від цих забруднювачів є те, що домішки не вилучаються з води механічно, не нейтралізуються під час біологічного очищення, не видаляються такими традиційними методами водоочищення, як відстоювання, коагуляція та флотація. У зв'язку з цим на сьогоднішній день існує потреба в нових енерго- і ресурсоефективних технологіях очищення води, що дає поштовх до розвитку нових електрохімічних методів очищення води.

1.1 Вимоги до очищеної води

Нормування якості води водного об'єкта здійснюється шляхом встановлення сукупності допустимих значень показників її складу та властивостей, у межах яких забезпечуються безпечні умови водокористування [1].

Для вод, що використовуються для задоволення питних, господарсько-побутових і рекреаційних потреб, при нормуванні якості встановлюються ГДК шкідливих речовин з врахуванням трьох показників шкідливості:

- органолептичного (характеризує здатність речовин змінювати органолептичні властивості: смак, запах, колір тощо);
- санітарного (характеризує вплив речовин на процеси природного самоочищення вод);

- санітарно-токсикологічного (характеризує шкідливу дію речовин на організм людини).

Заборонений скид у водоймища таких стічних вод, які можуть бути ліквідовані іншими шляхами: застосуванням раціональної технології, повторним використанням відпрацьованої води у системах обортового водопостачання та використанням стічних вод у цілях сільськогосподарського зрошування [1].

Вода не повинна мати запахів та присмаків інтенсивністю більше 3 балів для морів і 2 балів для водоймищ категорії I безпосередньо або при подальшому хлоруванні і для водоймищ категорії II безпосередньо. Вода не повинна надавати сторонніх запахів та присмаків м'ясу риб. Забарвлення не повинно виявлятися у стовпчику води висотою 0,2 м для водоймищ категорії I та 0,1 м для водоймищ категорії II і морів. Реакція рН води водоймища після змішування її із стічними водами повинна бути у межах $6,0 \leq \text{pH} \leq 9,0$.

Отрутні речовини не повинні міститись у концентраціях, які можуть чинити прямо або непрямо шкідливий вплив на організм та здоров'я населення. Стічні води не повинні містити мінеральні масла та інші плаваючі речовини у такому об'ємі, який здатний утворювати на поверхні водоймища плівки та плями. Стічні води, які вміщують збудники хвороб, повинні підлягати обеззараженню після відповідного очищення. Методи обеззараження біологічно очищених побутових стічних вод повинні забезпечувати коли-індекс не більше 1000 при залишковому хлорі не менше 1,5 мг/л.

Мінеральний склад водоймищ категорії I не повинен перевищувати за щільним залишком 1000 мг/л, у тому числі хлоридів 350 мг/л та сульфатів 400 мг/л, а для водоймищ категорії II нормується за наведеним вище показником присмаки. Температура води водоймища у результаті спуску у нього стічних вод не повинна підвищуватись літом більше ніж на 30°C у порівнянні із середньомісячною температурою найбільш спекотного місяця за останні 10 років [1].

Установлюються допустимі концентрації (ДК) для кожної забруднюючої речовини, що може скидатися підприємствами в систему каналізації, а також

відображаються місцеві особливості приймання стічних вод підприємств у міську каналізацію [1].

Таблиця 1.1 - Допустимі концентрації шкідливих речовин у воді водних об'єктів

Таблиця 1.2 - Вимоги до складу та властивостей стічних вод підприємств для безпечного їх відведення каналізаційною мережею

ДК забруднюючих речовин у стічних водах підприємств визначають, виходячи з таких умов [2]:

- ДК забруднюючої речовини в каналізаційній мережі (на випуску Підприємства);
- ДК забруднюючої речовини в спорудах біологічної очистки (на вході в ці споруди);
- величини лімітів на скид забруднюючих речовин у водойму, які встановлені водоканалам органами Мінекоресурсів України в дозволах на спеціальне водокористування;
- допустимого вмісту важких металів в осадах стічних вод, що використовуватимуться як органічні добрива.

1.2 Способи очищення води

Методи очищення води можуть бути поділені на чотири групи:

- механічні методи (проціджування, подрібнення, відстоювання, фільтрування);
- хімічні (окиснення, нейтралізація, відновлення, коагуляція, флокуляція);
- фізико-хімічні методи (флотація, сорбція, екстракція, евапорація, іонний обмін);
- біологічні методи (біофільтри, біологічні ставки, аеротенки);

Механічне очищення застосовують для виділення із води нерозчинних у ній мінеральних і органічних домішок. Домішки в залежності від розмірів вловлюються ґратами, ситами, ковшами. Механічне очищення є, як правило, попереднім етапом і служить для підготовки води до біологічного, фізико-хімічного або іншого методу більш глибокого очищення. Цей метод забезпечує виділення завислих речовин на 90-95 % і зниження органічних забруднень (за БСК) на 20-25 % [3].

Хімічний метод полягає в тому, що у воду додають різні хімічні реагенти, що вступають у реакцію з забруднювачами й осаджують їх у вигляді нерозчинних осадів. Нейтралізацію кислих стоків здійснюють речовинами основного характеру: оксидами, гідроксидами, солями слабких кислот, карбонатами [3]. Окиснення застосовують для видалення ціанідів, сірководню, сульфідів, органічних домішок. З широко поширених окиснювачів є озон, хлор, пероксид водню, перманганат калію. Широкого поширення в технологіях водопідготовки набуло хлорування. Цьому сприяла його ефективність, доступність, простота технологічного оформлення і здатність консервувати вже очищену воду тривалий час [4]. Однак хлорування має істотні недоліки: утворення, внаслідок неповного окиснення органічних речовин, ряду токсичних побічних продуктів, яким притаманні мутагенні, канцерогенні, ембріотоксичні та інші властивості. З галогенів для знезараження води застосовується ще йод. Йодування має ряд переваг перед хлоруванням: менша тривалість контакту з водою; більш високий бактерицидний ефект; ширший діапазон бактерицидної дії; концентрація йоду в обробленій воді не перевищує фонових значень вихідної води.

Також для знезараження та очищення води використовується озон. Він має деякі переваги в порівнянні з хлором: висока біоцидна активність; високий рівень знезараження води; мінеральний склад, лужність, рН води залишаються без змін; дозволяє знизити вміст заліза, марганцю; усунути запахи і присмаки; компактність озонаторних установок і можливість автоматизувати процес. Але використання озону має і суттєві недоліки. Озонування природних вод з високим

вмістом органічних домішок призводить до утворення продуктів їх окиснення – більш токсичних, ніж початкові забруднювачі води. При озонуванні отримують біологічно нестабільну воду. Озон більш токсичний, ніж хлор.

Одним із найбільш ефективних і перспективних окисників, які використовуються в наш час, є пероксид водню. Перевагами пероксиду водню є: ефективний у широкому діапазоні рН; окисний потенціал вище, ніж у хлору; добре розчинний у воді, при розкладанні не утворює побічних продуктів; здатний руйнувати хлорорганічні сполуки у воді; ефективний для видалення сполук заліза і сірки; високі бактерицидні властивості. Але широкому використанню пероксиду водню перешкоджає його порівняно висока вартість і здатність до розкладу, тому його використовують разом з каталізаторами.

Важливу роль в технологіях очищення води відіграє коагуляція. У процесі коагуляційного очищення води на 90-99% видаляються різні мікробіологічні забруднення. Недоліками коагулянтів є: ефективність очищення залежить від каламутності, кольоровості й перманганатної окиснюваності оброблюваної води, умов процесу; очищення можливе лише коли утворюється колоїдна система з розвиненою поверхнею; солі алюмінію є сильним нейротоксикантом.

При фізико-хімічному методі обробки з води видаляються тонкодисперсні і розчинені неорганічні домішки та руйнуються органічні речовини. Найчастіше з фізико-хімічних методів застосовується окиснення, сорбція, екстракція, електроліз. З фізико-хімічних методів очищення води найбільш ефективним є метод напірної флотації, який дозволяє забезпечити високу ступінь очищення від нерозчинених домішок, завислих речовин і жирів. Переваги його полягають у високому ступені очищення і безперервності процесу, простоті і компактності установки. Основними недоліками є: недостатньо висока ступінь очищення за ХСК і БСК, оскільки більшість біогенних елементів у стічних водах знаходиться в розчиненому вигляді [5].

Біологічні методи очищення стічних вод засновані на життєдіяльності МО, які мінералізують розчинені органічні сполуки. При біологічному очищенні стічних вод на штучних спорудах загальний вміст бактерій зменшується на 95%.

Однак, багато шкідливих органічних речовин не повністю окиснюються на спорудах біологічного очищення стічних вод, вони довго зберігають стабільність у воді і можуть спричиняти токсичну дію на живі організми [6]. І крім того, ці технології мають суттєві недоліки: високі енерговитрати на аерацію і проблеми, пов'язані з обробкою та утилізацією великої кількості утвореного надлишкового мулу, його спухання і спінювання. До того ж використання технології природної тривалої сушки мулу на майданчиках призводить до відчуження значної площі родючих земель і погіршення екологічної ситуації.

Розглянувши існуючі на сьогоднішній день методи очищення води можна зробити висновок, що кожен із застосовуваних методів володіє рядом переваг і недоліків. Технології водоочищення, що використовуються в наш час, не досконалі і потребують значних затрат електроенергії та хімічних матеріалів. Тому потрібно звернути увагу на нові методи очистки води, які зможуть забезпечити необхідну ступінь очищення та будуть економічно вигідними.

1.3 Електророзрядна плазма і процеси, що протікають в ній

1.3.1 Електророзряд в газових і рідких середовищах

Для виникнення електричного розряду необхідна наявність електродної системи і зростаючої напруги. Рухаючись в електричному полі, електрони здобувають енергію, що перевищує порогову енергію іонізації нейтральних частинок (молекул) газу і іонізують їх, що призводить до утворення так званих «вторинних» електронів і розвитку електронної лавини, як це показано на рисунку 1.1 [7, 8].

Рисунок 1.1 – Схема розвитку електророзряду.

Структура розряду складається з каналу, бічних гілок і відгалужень - ниткоподібних структур (рисунок 1.2а). Більш чітко нитки розряду спостерігаються при збільшенні (рисунок 1.2б) [8].

Рисунок 1.2 – Мікрофотографії розряду.

1.3.2 Електролітна плазма

Електролітна плазма зазвичай генерується внаслідок розвитку електророзрядів між двома металевими електродами, зануреними в розчин електроліту, як це показано на рисунку 1.3. умовою виникнення електролітної плазми є нерівність площ поверхні електродів.

Рисунок 1.3 – Фотографія лабораторної установки електролітного розряду.

Так, поступове підвищення напруги тягне пропорційне збільшення сили струму, що відповідає електрохімічній реакції електролізу розчиненої солі. При досягненні деякого критичного значення характер процесу змінюється, відбувається падіння середньої сили струму і у поверхні електрода з меншою площею спостерігається виділення парогазових бульбашок. Подальше підвищення напруги веде до виникнення поблизу того ж електрода випромінюючої області електролітної плазми (електророзряд), яка нагріває його до температури плавлення матеріалу електрода. У зв'язку з цим спочатку електролітний розряд застосовувався з метою нагрівання деталей для їх термічної обробки і загартовування, що приводило до підвищення твердості і зносостійкості матеріалу [9, 10].

1.3.3 Тліючий розряд

Поряд з електролітним розрядом широко поширений тліючий розряд по поверхні рідини. Тліючий розряд в повітрі атмосферного тиску широко досліджується в системах обробки рідких середовищ. Тліючий розряд

характеризується сильною нерівновагою і служить джерелом окислювачів ОН-радикалів, пероксиду водню, оксидів азоту і атомарного водню [11].

Виділяються два типи подібних розрядів: розряди з електролітними електродами, що виникають в повітряному проміжку, і розряди, цілком зосереджені в об'ємі рідини. До першого відноситься тліючий розряд, до другого - діафрагмовий електролітний (рис. 1.4). З різних варіантів тліючих розрядів найбільш зручний для практичних цілей і ефективний розряд з електролітним катодом. Він багато в чому схожий на класичний тліючий розряд низького тиску з металевими катодами і включає в себе зону плазми і катодну область [12].

Згідно з експериментальними даними в роботі [13], напруженість поля в плазмі такого розряду атмосферного тиску становить близько $1,5 \cdot 10^4$ В/см, а катодне падіння потенціалу в залежності від складу розчину змінюється в межах від 400 до 800 В. Зона плазми є джерелом хімічно активних частинок. Позитивні іони з енергією, яка досягає сотні електрон вольт, бомбардують поверхневий шар розчину, викликаючи ряд найважливіших ефектів. Перший з них - емісія електронів, вона необхідна для підтримки розряду. Утворений при електророзряді пар істотно впливає на склад і властивості плазми. Іонне бомбардування викликає хімічну активацію розчину і утворення в його поверхневому шарі нерівноважних концентрацій радикалів Н, ОН і сольватованих електронів [13].

Діафрагмовий розряд виникає в об'ємі електроліту, де в місці звуження струмового каналу (в діафрагмі) через перегрів утворюється парогазовий міхур, в якому відбувається електричний пробій. На відміну від тліючого діафрагмовий розряд за своєю природою не стаціонарний, а плазмоутворюючим газом в ньому виступають пари компонентів електроліту [12].

Рисунок 1.4 – Газові розряди з електролітними електродами: а- тліючий розряд; б – діафрагмовий розряд; 1 – розчин електроліту; 2 – зона розряду; 3 - електроди; 4 – діелектричний посуд з діафрагмою.

Тліючий розряд в повітрі атмосферного тиску з рідкими електродами знаходить все більш широке застосування в системах очистки води і різних плазмо-розчинних технологіях: напилення захисних покриттів, модифікація поверхні металів і сплавів, очищення води від поверхневих забруднень нафтопродуктами, стерилізація медичних інструментів. Плазма такого розряду є сильно неврівноваженою і служить джерелом радикалів гідроксилу, перекису водню, оксидів азоту і атомів водню, які використовуються в фізичній та колоїдній хімії, зокрема, і для синтезу наноструктур металів. Особливе місце в цих дослідженнях відводиться тліючому розряду в повітрі атмосферного тиску в системі електродів "металевий анод-катод на основі води" і розряду між двома водяними електродами, оскільки вода (дистильована, технічна, деіонізована) є основною частиною технологічних розчинів в плазмо-розчинних системах [14].

Особливий інтерес дослідників викликає тліючий розряд в середовищі повітря атмосферного тиску над поверхнею дистильованої води, де плазма виникає спочатку з імпульсно-періодичними характеристиками, а потім на протязі 15-20 с характеризується безперервним режимом роботи, який виглядає як яскраве катодне світіння (катодна пляма поблизу поверхні води діаметром 1-2 мм при середній силі струму розряду 10-30 мА). Падіння напруги при розряді включає спад напруги в області парогазової бульбашки і катодне падіння напруги, яке залежить від висоти стовпа дистильованої води над зануреним в неї електродом (рис. 1.5) [15].

Рисунок 1.5 – Фотографія і схематичне зображення виникнення тліючого розряду по поверхні рідини.

Дія тліючого розряду з електролітним катодом призводить до зміни фізико-хімічних властивостей рідин (водневий показник, електропровідність). Багато дослідників при роботі з електророзрядною плазмою відзначають і описують явище зниження показника рН водних розчинів, що контактують з газовими розрядами. Пояснення зміни рН розчинів під дією розрядів, як правило,

носять якісний характер, однак найбільш очевидне пояснення даного ефекту полягає в утворення оксидів азоту в зоні виникнення плазмового розряду з їх подальшим дифундуванням через кордон газ-рідина в розчин і утворенням кислот. До інших причин часто відносять утворення в електророзряді синглетного кисню і подальше його розчинення в оброблюваній рідині, а також утворення і накопичення пероксиду водню [16, 17].

Добре відоме модифікування властивостей полімерних плівок і тканин з допомогою тліючого розряду низького тиску. Ці процеси вже давно вийшли за рамки лабораторних досліджень. Багато років випускається обладнання для модифікування поверхонь плівкових матеріалів плазмою як низького, так і атмосферного тиску [13].

1.3.4 Бар'єрний розряд

Бар'єрним називається розряд, що виникає в газі атмосферного тиску між електродами розділеними діелектриком при подачі високої змінної напруги. Він складається з окремих короткочасних мікророзрядів, температура електронів в яких досягає $3 \cdot 10^4$ К, а температура газу становить близько 300 К. У зоні бар'єрного розряду нагрів частин поверхні електродів нерівномірний, тобто миттєва температура по всій площі діелектричного шару різниться. Різниця температур в двох точках робочої поверхні розрядної зони виникає через те, що тепловий потік надходить до однієї частини поверхні і в той же час відводиться з іншого її частини. Точка, розташована ближче до поверхні, зверненої до мікророзряду, має більш високу температуру. На поверхні діелектричних матеріалів з низькою теплопровідністю є значний градієнт температури і по товщині - локальна температура поверхні значно відрізняється від температури електрода в порівнянні з теплопровідною поверхнею (метал).

За даними ряду робіт можна лише побічно оцінити локальну температуру поверхні діелектричного шару, що дорівнює 473-550 К. Насправді, локальна температура ділянок діелектричного шару в місцях виникнення мікророзрядів на

сотні градусів відрізняється від температури інших ділянок поверхні, а обсяг, зайнятий розрядом, істотно менше обсягу реактора.

Як показано на малюнках 1.6 (а) і 1.6 (б) діаметр мікророзрядів збільшується при наближенні до поверхні електрода. Вся енергія розряду переходить в тепло і відводиться через розширену частину каналу мікророзряда поблизу електродів. Має місце деякий розподіл зарядів, як в об'ємі розрядного простору, так і на поверхні електродів. Як наслідок, відбувається перерозподіл поверхневих зарядів, що приводить до зародження нових місць для мікророзрядів. Цим пояснюється відсутність постійної локалізації окремих розрядів на поверхні електродів [18].

Рисунок 1.6 – Структура (а) і мікрофотографія (б) бар'єрного мікророзряду.

Вважається, що мікророзряди виникають не «випадковим» чином, а їх місце розташування залежить від поєднання певних чинників. Зокрема, місця появи мікророзрядів в серії визначаються розташуванням поверхневих зарядів, що залишилися після проходження попередніх серій. Суворе просторове розташування каналів мікророзрядів в сталому процесі обумовлено значним локальним нагріванням окремих ділянок бар'єру безпосередньо під каналами. Нагрівання локальної ділянки в переважній більшості випадків призводить до збільшення діелектричної проникності матеріалу цієї ділянки і локальному зростанню напруженості електричного поля, що і визначає розташування подальших мікророзрядів. Ефективна діелектрична проникність бар'єру збільшується не тільки за рахунок локального підвищення температури, але і через локальне збільшення провідності в результаті періодичних електронних ударів в об'єм діелектрика з провідних електродів [18].

У мікророзрядах відбувається дисоціація молекул, в результаті з кисню повітря або чистого кисню утворюється озон. Відомі промислові установки для отримання озону, який застосовується в знезараженні повітря, стічних вод і в

синтетичних цілях. Напруга горіння розряду є однією з основних характеристик бар'єрного розряду. Залежність ефективної напруги горіння від величини міжелектродної відстані може бути представлена формулою:

(1.1)

де d – міжелектродна відстань (мм).

Для оцінки напруга виникнення розряду в повітрі використовують закон Пашена. Однак, в літературі представлено цілий ряд робіт, які демонструють відхилення від закону Пашена при атмосферному тиску для міжелектродних відстаней порядку 1-10 мкм. Таким чином, на сьогоднішній день в літературі відсутня загальна думка про процес розвитку розряду при субміліметрових міжелектродних відстанях при атмосферному тиску, що пояснюється різними результатами моделювання та умовами проведення експериментів [19].

1.4 Утворення активних окислювачів і синтез пероксиду водню в електророзрядній плазмі

В області електричного розряду поблизу поверхні рідини при струмі порядку 20-30 мА відбувається випаровування води, а характеристики випромінювання електричного розряду відповідають спектральній системі смуг випромінювання продуктів дисоціації молекул води в діапазоні 304-316 нм. Випромінювання такого діапазону представляє інтерес з метою створення неканцерогенних медичних ламп УФ випромінювання. Спектр випромінювання, отриманий в умовах тліючого розряду при струмі 32 мА наведено на рисунку 1.7 [20].

При проведенні спектральних досліджень подібного типу розряда, велика частина випромінювання тліючого розряду сконцентрована в діапазоні спектра від 300 до 400 нм і представлена смугами ОН-радикалів (Х-А) і другою позитивною системи молекулою азоту (337,1 нм N₂ (В-С) - найбільш інтенсивна смуга випромінювання і менш інтенсивні смуги 357,7 (0; 1), 375,5 (1; 3), 380,5 нм (0; 2)).

Рисунок 1.7 – Спектр випромінювання тліючого розряду.

При меншій силі струму в розряді спектр більш яскраво показує УФ випромінювання системи смуг N_2 (В-С) в порівнянні з випромінюванням ОН-радикала, що обумовлюється меншим нагріванням поверхні води і меншою щільністю молекул води в міжелектродному просторі. У діапазоні від 200 до 300 нм спостерігаються смуги слабкої інтенсивності випромінювання оксиду азоту (247,8 нм NO (X-A)). Також, у видимій області спектра присутні спектральні лінії атомарного водню (656,3 нм H α , 486,1 нм H β). При підвищенні струму з 12 до 36 мА інтенсивність смуг в інтервалі від 303-316 нм перерозподіляється і зростає. Відзначається, що при значеннях струму близьких до порогових на випромінювання ОН-радикалів накладається інтенсивне випромінювання молекулярного азоту [20,21,22].

Розряди плазми генерують хімічно активні частинки, які мають високу окислювальну здатність (пероксид водню (H_2O_2), атомарний кисень ($O\bullet$), гідроксил-радикал ($HO\bullet$), гідропероксид-радикал ($HO_2\bullet$), озон (O_3)). Нижче представлені схеми основних процесів, характерних для системи електророзрядна плазма-вода [23]:

(1.2)

(1.3)

(1.4)

(1.5)

(1.6)

(1.7)

(1.8)

(1.9)

(1.10)

(1.11)

(1.12)

(1.13)

(1.14)

(1.15)

У таблиці 1.3 показані значення відомих окисних потенціалів деяких частинок [23].

Таблиця 1.3 – Окислювальні потенціали активних частинок, що генеруються в електророзрядній плазмі.

Під дією електророзрядної плазми пероксид водню утворюється переважно за участю ОН-радикалів. Концентрації проміжних сполук дуже малі і їх роль в генерації H_2O_2 вкрай невелика. Основним показником утворення H_2O_2 є реакція димеризації гідроксила-радикалів (1.10), а також відбувається руйнування напрацьованого пероксиду водню по реакційним схемами (1.5), (1.8), (1.15). Особливий інтерес представляють дані ефективності утворення пероксиду водню при різних електрофізичних характеристиках експериментальних установок, зведені в порівняльну таблицю 1.4 [23].

Таблиця 1.4 - Ефективність утворення пероксиду водню при різних способах організації розряду

Представлені дані демонструють сильне розходження в ефективності синтезу пероксиду водню при різних режимах і типах розрядів. Так, капілярний розряд в 10,5 раз ефективніше діафрагмового розряду [24]. Основною причиною подібного відмінності може служити сильний розігрів розчину поблизу області виникнення розряду, що спостерігається в роботі [24], що сприяє значному руйнуванню H_2O_2 .

При використанні експериментальних установок імпульсних розрядів основним фактором зниження концентрації утвореного пероксиду водню служить руйнування електродів і виділення в розчин іонів Fe^{2+} , які активно взаємодіють з H_2O_2 . Важливо відзначити, що при подачі імпульсного струму

виникає ряд додаткових фізичних факторів впливу на оброблювані системи - УФ-випромінювання, ударні хвилі і активні радикали [23].

При здійсненні обробки розчинів в режимі тліючого розряду розігрів рідини незначний, вихід H_2O_2 і енергозатрати для таких систем виявляються близькими до режимам капілярного розряду. Однак з технологічної точки зору даний тип розряду незручний через необхідність точного контролю дистанції між електродами і розчином і загибеллю значної частини активних частинок в газовій фазі за кордоном розчину [23].

При здійсненні обробки розчинів в режимі тліючого розряду розігрів рідини незначний, вихід H_2O_2 і енергозатрати для таких систем виявляються близькими до режимам капілярного розряду. Однак з технологічної точки зору даний тип розряду незручний через необхідність точного контролю дистанції між електродами і розчином і загибеллю значної частини активних частинок в газовій фазі за кордоном розчину [23].

1.5 Окислення органічних речовин методом електророзрядної плазми

При електричному розряді в міжелектродному просторі виникають хімічно активні частинки, що володіють більшим окислювальним потенціалом, ніж озон. До них відносяться ОН-радикали і атомарний кисень. Радикали ОН ефективно утворюються, наприклад, при виникненні імпульсних іскрового або бар'єрного розрядів у вологому повітрі. Час життя ОН-радикалів в озono-повітряній суміші становить 0,1-0,3 мс, радіус дифузії ОН-радикалів - близько діаметра розряду. ОН-радикали за час життя переносяться на відстань не більше 30 мкм, при цьому їх концентрація знижується більш ніж в 10 разів. Тому рух повітря не може вносити істотний внесок в процеси масопереносу ОН-радикалів. Для перенесення в воду радикали повинні створюватися в безпосередній близькості від поверхні води [25].

У багатьох роботах досліджувалася можливість інтенсифікації окислювальної деструкції органічних забруднювачів в оброблюваній воді, що містить деякі ароматичні сполуки [26, 27, 28].

Було відзначено, що експериментальні установки електророзрядної обробки води в більшості аналізованих робіт повторюють одна одну. Пристрій плазмохімічного реактора в рідкісному випадку відрізняється від класичного розташування електродів для здійснення обробки тліючим розрядом заданого об'єму рідини. На рисунку 1.8 показана схема експериментальної установки, принцип якої використовувався в роботах [27, 28]. Як джерело імпульсного струму використовувався високовольтний імпульсний генератор з частотою 70 кГц і струмом від 0 до 30 кВ.

Рисунок 1.8 – Схема експериментальної установки обробки води тліючим розрядом.

При плазмохімічному окисленні органічних речовин найчастіше визначають кінетичні характеристики процесу, ефективність деструкції, енерговклад досліджуваного розряду, а також аналізують можливі механізми реакції за рахунок детектування проміжних продуктів окислення та інтермедіатов. Так, наприклад, в роботах [27, 28] передбачається, що первинною реакцією окислення фенолу є атака ароматичного кільця гідроксильними радикалами, тому результат показав, що фенол в першу чергу окислюється до 1,2-дегідроксібензола, згодом хинонів. Первинні продукти окислення піддаються деструкції з утворенням вторинних продуктів. Розкриття ароматичного кільця призводить до утворення низькомолекулярних з'єднань, в основному, альдегідів і органічних кислот. Нарешті, карбонові кислоти окислюються до CO_2 і H_2O . Основними побічними продуктами є 2-нітрофенол, катехін, бензохинон і пропін, а також у невеликій кількості органічні кислоти.

На рисунку 1.9 наведена схема окислення фенолу, при обробці розчину в тліючому розряді в повітряному і аргоновому (інертному) середовищах [28].

Рисунок 1.9 – Схема окислення фенолу в тліючому розряді.

Крім того, інтермедіатами в процесі деструкції катехіна (рисунок 1.10) є 1,2-бензолдікарбонова кислота, дифенілметан, і деякі інші неідентифіковані продукти. 20% фенолу і 30% катехіна піддалися деструкції до CO_2 і H_2O , відповідно, вищевказані проміжні з'єднання склали 80% і 70% [28].

Рисунок 1.10 – Схема окислення катехіна в тліючому розряді.

В результаті ряду досліджень показано, що найбільш ефективно окислення органічних компонентів стічних вод імпульсним розрядом досягається при продуванні розчину киснем повітря. Атмосфера інертних газів не сприяє інтенсифікації окислювальних процесів. Також, швидкість видалення органічних забруднювачів збільшується з ростом прикладеного напруження і підвищення рН розчину. Додавання Fe^{2+} може сприяти деструкції органічних речовин за рахунок формування ОН-радикалів [28].

1.6 Знезараження водних розчинів методом електророзрядної плазми

Знезараження є одним з найважливіших технологічних прийомів очищення води для централізованого постачання населення питною водою. Разом з тим, актуальною проблемою при цьому залишається можливість утворення побічних продуктів проведення дезінфекції, що, в першу чергу, пов'язано з використанням хімічних дезінфікантів. Міжнародний досвід показує, що при застосуванні хлору може утворюватися кілька сотень побічних хлоровмісних сполук, головним чином, хлорвуглеводень, значна частина яких представляє набагато більшу небезпеку для людини, ніж вихідні органічні речовини або сам хлор [29].

Дія імпульсних електророзрядів викликає утворення дефектів в клітинній мембрані бактерій, що дає можливість високоактивним окислювача

безперешкодно проникати у внутрішнє середовище клітин і порушувати їх обмінні процеси. Цей принцип використовується для інактивації мікроорганізмів. Клітини гинуть в результаті пробою клітинних мембран, що захищають бактерії від зовнішнього середовища. Клітинна мембрана діє як напівпроникний бар'єр і контролює проходження поживних речовин в клітину, а також виводить продукти її життєдіяльності [29, 30, 31, 32].

Дослідження електроімпульсної інактивації, показало, що для досягнення скорочення чисельності дріжджових культур *Saccharomyces cerevisiae* в харчових рідких середовищах, потрібно менше 10% електричної енергії, ніж для термічної обробки. Так, наприклад, в порівнянні з ультрафільтрацією електроімпульсна технологія в пастеризації рідких харчових продуктів показує більш ефективний бактеріостатичний ефект [33].

Вплив імпульсних електричних розрядів на бактеріальну флору обумовлюється генерацією хімічно активних короткоживучих сполук, в тому числі озону, пероксиду водню, гідроксил- і гідроперокід-радикалів, УФ випромінювання, акустичних і ударних хвиль. У дослідженнях, присвячених обробці харчових продуктів електророзрядної плазмою, застосовується принципово інший пристрій плазмохімічних реакторів, здатний обробляти будь-який обсяг рідини, що проходить через реактор. Подібне конструкційне рішення дозволяє масштабувати технологію до рівня промислових установок [33, 34, 35]. На рисунку 1.11 показана схема моделі плазмохімічного реактора проточного типу для обробки рідких харчових продуктів [34]. Основні його частини - це камера, наповнена водою (5), мультиелектродна система (1) і джерело високої напруги (6). Гази (повітря, аргон, кисень) вводяться в воду через безліч отворів між електродами (7).

Основною перевагою багатоелектродної системи є зниження навантаження на кожен електрод, що в кінцевому підсумку, збільшує термін служби системи. За допомогою цього пристрою проводилися дослідження з використанням генератора високої напруги (6) з наступними параметрами:

амплітуда імпульсів напруги $U \leq 20\text{kV}$, частота повторення імпульсів $f \leq 100\text{ Гц}$, тривалість імпульсу $\tau \approx 5\text{ мс}$ [34].

Рисунок 1.11 – Плазмохімічний реактор проточного типу.

Визначався знезаражуючий ефект застосування подібного типу пристрою на прикладі інактивації клітин кишкової палички *Escherichia coli*. Було показано, що зі збільшенням енерговклада обробки води, бактерицидні властивості виявлялися в більшій мірі.

1.7 Застосування бар'єрного розряду з метою знезараження і окислення органічних речовин

Серед екологічно чистих водоочисних технологій широке поширення набуло озонування. Озон є сильним окислювачем, який в промислових масштабах виробляється з повітря або кисню за допомогою електричного розряду. Застосування озонування має ряд недоліків, основним з яких є низька ефективність використання енергії. Синтез озону відбувається в озонаторах із застосуванням електричних розрядів і є оборотною реакцією, в якій підтримка рівноваги між озоном і киснем вимагає великих енергетичних витрат. Крім того, через малу розчинність озону в воді необхідні установки, які збільшували б час контакту озону з рідиною. Додатковим негативним фактором є необхідність підтримки низької вологості повітря, яке подається в озонатор [36].

Відомо, що озон розкладається у воді з утворенням сильних окислювачів – гідроксил-радикалів, здатних руйнувати органічні сполуки. В воді ОН-радикали рекомбінують з утворенням пероксиду водню і реагують з домішками. У зоні виникнення електророзрядної плазми також утворюються вільні радикали, іони і електрони, здатні інтенсифікувати окислювально-відновні процеси в воді, проте, через малий час життя більша їх частина не встигає покинути зону розряду. При цьому озон лише частково запасає і доставляє енергію цих частинок в воду [36, 37].

Експериментальні спостереження показують, що розряд виникає поблизу крапель води, які знаходяться в міжелектродному просторі. Завдяки високій відносній діелектричній проникності води, в об'ємі газу, який оточує краплю, відбувається збільшення напруженості електричного поля. Розряд виникає в областях з найбільшою напруженістю поля, при цьому канал розряду контактує з поверхнею краплі води. Ряд досліджень підтверджує той факт, що безпосередній контакт електророзрядної плазми з водою викликає знезараження і деструкцію розчинених органічних сполук, при цьому може бути очищена як питна, так і стічна вода. Як зазначається в роботі [36], основним недоліком іскрового типу розряду є низька ефективність використання енергії в поєднанні з виникненням випромінювання, ударних хвиль, кавітації і локального нагріву. При цьому лише частина витраченої енергії виявляється ефективною при видаленні цільових забруднень.

Велику енергоефективність показує бар'єрний тип розряду, що виникає в газі під дією прикладеної до електродів напруги, при цьому хоча б один з електродів повинен бути ізольований діелектричним матеріалом. Такий розряд є ефективним способом генерації озону і гідроксил-радикалів в повітрі, яке містить пари води [36, 38, 39].

Одне з найбільш цікавих конструкторських рішень обробки води бар'єрним розрядом запропоновано в роботі [36]. Основним елементом установки є електророзрядний блок, в якому розташована система електродів. Конструкція електродної системи показана на рисунку 1.12. Електроди у вигляді металевих стрижнів поміщені в трубки з кварцового скла, які виконують роль діелектричного бар'єра. До електродів прикладається напруга від високовольтного імпульсного генератора амплітудою 20-25 кВ, частотою проходження імпульсів до 1 кГц [36].

Рисунок 1.12 – Електродна система обробки рідини бар'єрним розрядом.

Електричні параметри імпульсного бар'єрного розряду в водоповітряному потоці відрізняються від характеристик розряду в повітрі. В водоповітряному середовищі спостерігається зростання активної потужності і зниження напруги запалювання розряду. При підвищенні прикладеної до електродів напруги зростає вихід азотовмісних продуктів, що викликано підвищенням температури і концентрації збуджених частинок в каналах розрядів [36, 38, 39].

Розряд в водоповітряному середовищі виникає переважно поблизу поверхні рідини, що є найкращим для ефективного використання активних частинок [36].

1.8 Опис технологічної схеми електророзрядної установки для очищення води від стійких органічних забруднень

Установка, яка представлена на рисунку 1.13 складається з електророзрядного модуля 4 через який прокачується забруднена вода, яка подається з ємності 2 потоком II. Вона подається за допомогою насоса 3. Всередині електророзрядного модуля знаходяться електроди, які занурені в забруднену воду, між ними виникає дуговий заряд. Електроживлення дуги підтримується від високочастотного інверторного джерела високої напруги 6.

Рисунок 1.13 – Схема електророзрядної установки для очищення забрудненої води:

1 – ємність для обробленої води; 2 – ємність для забрудненої води; 3 – насос подачі забрудненої води; 4 – електророзрядний модуль; 5 – компресор; 6 – високочастотне інверторне джерело високої напруги; 7 – фільтр; 8 – блок аналізу; I, V – очищена вода; II, VI – забруднена вода; III – повітря; IV – оброблена вода; VII – подача води на доочищення; VIII – осад.

Після електророзрядного модуля оброблена вода потоком IV проходить через фільтр 7 та блок аналізу 8. Якщо ступінь очистки задовільний очищена вода подається потоком V до ємності з очищеною водою 1. Якщо вода не

відповідає заданим нормам то вона спрямовується потоком VII до ємності з забрудненою водою і проходить повторну очистку.

1.9 Постановка задачі

Проведений аналіз показав, що застосування електророзрядних технологій є важливою та складною задачею. Використання цього методу має ряд переваг і дозволяє проводити високоякісну очистку води за однією технологією від різних видів забруднень.

Тому метою роботи буде розроблення системи регулювання процесом електророзрядної очистки води від стійких органічних забруднень. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати технологічну схему процесу електророзрядної обробки води. Виконати аналіз схеми, як об'єкту автоматизації.

2. Провести дослід на експериментальній електророзрядній установці для очистки води від різного виду забруднювачів. Метою якого є визначення ефективності застосування технології.

3. Виконати аналіз та обробку результатів експериментальних дослідів. Виходячи з результатів обробки встановити витрати енергії на водоочистку та визначити ККД за допомогою програмного пакету Mathcad.

4. Визначити параметри системи регулювання контуру контролю якості очищеної води.

5. В середовищі Trace Mode 6 виконати проект системи керування електророзрядною установкою.

6. Розробити та обґрунтувати основні аспекти економічної доцільності застосування електророзрядної технології у вигляді стартап проекту.

2 Експериментальне дослідження електророзрядного очищення

Було проведено експериментальне дослідження ефективності водоочищення забрудненої води від стійких органічних забруднювачів на лабораторній установці (рис. 2.1) електророзрядної очистки води. Метою дослідження було визначити ефективність роботи установки, за рахунок ступеня очистки, розрахунку витрат потужності та енергії на очистку води.

Рисунок 2.1 –Лабораторна установка електророзрядної очистки забрудненої води.

Установка (рис. 2.2) складається з електророзрядного модуля 1, в який подається модельний розчин потоком I. Компресор 3 забезпечує подачу повітря потоком III. Електроди, що знаходяться всередині електророзрядного модуля, занурені в забруднену воду, де між ними виникає дуговий заряд. Високочастотне інверторне джерело високої напруги 2, здійснює електроживлення дуги.

Рисунок 2.2 – Технологічна схема лабораторної установки електророзрядної очистки забрудненої води:

1 – електророзрядний модуль; 2 – високочастотне інверторне джерело високої напруги; 3 – компресор Werk №2016/04 0111538; 4 – персональний комп'ютер; 5 – осцилограф 3000 Series Scope Connect Software; I – модельний розчин; II – очищення вода; III – повітря.

Після проведення очистки, оброблена вода зливається з електророзрядного модуля в ємність, потоком II. Запис експериментальних осцилограм здійснюється за допомогою осцилографа 5 та зберігаються на персональному комп'ютері 4.

2.1 Методика проведення експерименту

Для розуміння послідовності проведення експерименту по очищенню забрудненої води на електророзрядній установці, було розроблено методику проведення експерименту:

1. Підготувати модельні розчини у потрібних відношеннях та концентраціях (рис. 2.3).

Рисунок 2.3 – Підготований розчин метилфіолетового.

2. Виміряти електропровідність (рис. 2.4) та рівень рН (рис. 2.5) розчину. Якщо електропровідність розчину занадто велика (більше 10 000 СМ), потрібно змінити концентрацію речовин та підготувати новий розчин.

Рисунок 2.4 – Вимір електропровідності підготовленого розчину.

Рисунок 2.5 – Вимір рівня рН підготовленого розчину.

3. Залити 200 мл модельного розчину у електророзрядний модуль (рис. 2.6).

Рисунок 2.6 – Процес заливки розчину в електророзрядний модуль.

4. Увімкнути живлення установки за допомогою пульта керування (рис. 2.7).

Рисунок 2.7 – Пульт керування електророзрядним модулем.

5. Увімкнути компресор для подачі повітря у модуль (рис. 2.8).

Рисунок 2.8 – Компресор для подачі повітря.

6. Для фіксації часу проведення експерименту увімкнути таймер одночасно з установкою.

7. Запустити установку кнопкою «Пуск» на пульті керування (рис. 2.9).

Рисунок 2.9 – Кнопка «Пуск» на панелі керування.

8. Зберегти осцилограми зміни струму та напруги з осцилографа (рис. 2.10) на комп'ютер (рис. 2.11) для подальшої обробки.

Рисунок 2.10 – Осцилограма зміни струму та напруги на осцилографі.

Рисунок 2.11 – Осцилограма зміни струму та напруги перенесена на комп'ютер.

9. Після завершення експерименту необхідно злити очищену розчин до мірного циліндру та виміряти його електропровідність (рис. 2.12).

Рисунок 2.12 – Вимір електропровідності очищеного розчину.

10. Виміряти рівень рН очищеного розчину (рис. 2.13).

Рисунок 2.13 – Вимір рівня рН очищеного розчину.

11. Повторити всі попередні дії при різному часі обробки.
12. Занести всі отримані данні в журнал експерименту.
13. Отримані модельні та очищені розчини направити в хімічну лабораторію для проведення аналізів.

2.2 Аналіз обробленої води

Після проведення експериментів модельні та очищені розчини були направлені в хімічну лабораторію, де було виконано перевірку основних показників якості очищення води.

Аналіз проводився по таким параметрам, як:

Рівень рН – показник кислотності води (рис. 2.14, 2.15). Вимоги до рівня рН для стічної води становлять від 6,5 до 9,0 одиниць, якщо він вище - вода лужна, а якщо нижче вода кислотна.

Рисунок 2.14 – Вимір рівня рН модельного розчину метилфіолетового.

Рисунок 2.15 – Вимір рівня рН обробленого розчину метилфіолетового.

TDS – число нерозчинних елементів або «загальна мінералізація» (рис. 2.16, 2.17). Для стічної води значення TDS в ідеалі повинно бути не більше 500 г / м³.

Рисунок 2.16 – Вимір TDS модельного розчину метилфіолетового.

Рисунок 2.17 – Вимір TDS обробленого розчину метилфіолетового.

ХСК – показник вмісту органічних речовин у воді. Нормативне значення для стічних вод знаходиться в межах 500 – 1000 мгО₂/дм³ згідно з вимогами до складу та властивостей стічних вод підприємств [2].

Нижче приведено таблиця аналізу модельних та оброблених розчинів аніліну, фенолу та метилфіолетового (аніліновий барвник).

Таблиця 2.1 Хімічний аналіз розчинів.

Для метилфіолетового барвника було проведено фотометричний аналіз. Було використано фотометр Unico та програмне забезпечення K3 Analyts.

Фотометрія (від грецького photos – світло і metro – міряю) являє собою метод кількісного аналізу, особливо для визначення мікрокількостей речовин. Метод дає можливість визначити концентрацію речовини в розчині в тих

випадках, коли речовина має власну забарвлення або набуває забарвлення шляхом впливу на нього відповідного хімічного реагенту.

Сутність фотометричного аналізу полягає в наступному, визначають зменшення інтенсивності потоку монохроматичного світла після проходження його через шар забарвленого розчину, і врахувавши закони світлопоглинання зробити висновок про концентрацію розчиненої речовини.

На рисунку 2.18 зображені кювети фотометра з модельним та обробленим розчинами.

Рисунок 2.18 – Наповнені кювети фотометра. 1 – модельний розчин; 2 – оброблений розчин.

Кювети з розчинами встановлюються в фотометр. Після проведення налаштувань запускається програма. На проведення аналізу потрібен час, тому для отримання графіків потрібно зачекати від 2 до 7 хвилин. Графіки результатів представлені на рисунках 2.19 та 2.20.

Рисунок 2.19 – Графік концентрації мікрочастинок в модельному розчині.

Рисунок 2.20 – Графік концентрації мікрочастинок в обробленому розчині.

Як можна побачити, на першому графіку присутній пік, а на другому – ні. З цього можна зробити висновок, що в обробленому розчині концентрація мікрочастинок значно зменшилось, а отже електророзрядне очищення модельного розчину було ефективне.

2.3 Обробка результатів плазмовохімічного очищення

Одним з основних етапів експерименту є визначення витрат енергії та потужності на процес очищення забрудненої води до стану, при якому

концентрація забруднюючих речовин задовольняє задані норми. В результаті експерименту були отримані осцилограми, які були зняті з осцилографа 3000 Series Scope Connect Software та збережені на комп'ютері. Всі осцилограми знаходяться в додатку А.

Розглянемо, як приклад розрахунку, осцилограму зняту при обробці фенолу (рис. 2.21).

Рисунок 2.21 – Осцилограма імпульсу струму та напруги.

Так як процес проходить дуже швидко, а саме 600 мкс, треба було обрати програму, за допомогою якої можна отримати значення напруги та струму у цифровому вигляді, тобто зробити оцифровку осцилограми. Для цього було обрано програмний пакет OriginPro 2017. Origin – пакет програм фірми OriginLab 2017 Corporation для чисельного аналізу даних і наукової графіки, що працює на комп'ютері під керуванням операційної системи Microsoft Windows. Origin призначена для побудови двовимірної, тривимірної наукової графіки, яка створюється за допомогою готових шаблонів, доступних для редагування користувачем. Також можливо створювати нові власні шаблони. Після створення зображення воно може бути змінене за допомогою меню і діалогових вікон, що викликаються подвійним клацанням миші на його елементах. Можна експортувати отримані графіки і таблиці в ряд форматів, таких як PDF, EPS, WMF, TIFF, JPEG, GIF і ін.

За допомогою Origin 2017 можна проводити чисельний аналіз даних, включаючи різні статистичні операції, обробку сигналів і т. п. [40].

Було розроблено алгоритм оцифровки графіків:

1. Введення даних – тобто на робочу зону програми потрібно завантажити малюнок з графіком, який потрібно оцифрувати.
2. Налаштування графічного зображення – для того, щоб перенесення даних було виконано правильно потрібно налаштувати осі та значення графіка.

3. Виклик функції “Draw data” – на панелі інструментів знаходимо функцію “Draw data”, з допомогою якої ми зможемо оцифрувати графік.

4. Розстановка маркерів на графіку – функція “Draw data” передбачає розстановку маркерів по лінії намальованого графіка. Маркери розставляються вручну.

5. Виклик процедури “Go to...” для переведу координат маркерів в масив даних – коли маркери розставлені, викликаємо їх контексте меню, та обираємо “Go to...”.

6. Експорт отриманих значень в вікно побудови таблиці – після цього отримуємо табличку з координатами наших даних, які легко можна переносити в будь-які математичні пакети і не тільки.

За допомогою OriginPro 2017 дані були перенесені до математичного пакету Mathcad (рис. 2.22, 2.23). Повний алгоритм оцифровки графіків наведений в додатку Б.

Рисунок 2.22 – Графік зміни напруги з часом.

Рисунок 2.23 – Графік зміни струму з часом.

В наведеному на осцилограмі імпульсі протікають вісім фаз:

- зростання напруги до пробою – 6 кВ, струму – 12 А, відбувається перший пробій;
- зростання напруги до 13 кВ і струму до 40 А;
- напруга зростає до 14 кВ, струм падає до 24 А, відбувається другий пробій;
- струм падає до нуля, напруга залишається 14 кВ;
- напруга падає до 10 кВ, струм зростає в іншому напрямку до 12 А і відбувається третій пробій;
- напруга падає до 4 кВ, струм зростає до 40 А;

- напруга падає до нуля, струм залишається на рівні 40 А;
- струм падає до нуля, напруга змінює знак і зростає до 9 кВ.

Для визначення ефективності роботи електророзрядної установки була розрахована миттєва потужність за формулою:

(2.1)

Рисунок 2.24 – Отримані значення миттєвої потужності.

За отриманими значеннями був побудований графік залежності миттєвої потужності від часу горіння розряду (рис. 2.25).

Рисунок 2.25 – Залежність потужності від часу горіння розряду.

Вклад енергії для розряду (рис. 2.27) розраховано за методом трапецій:

(2.2)

де E – енергія; h – крок; y_0 – початкове значення потужності; y_n – кінцеве значення потужності; y_i – i -те значення потужності.

Вклад енергії розраховувався для кожної фази горіння розряду окремо. На рисунках 2.26 – 2.32 представлено розрахунки для кожної з фаз.

Рисунок 2.26 – Розрахунок енергії на першій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.27 – Розрахунок енергії на другій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.28 – Розрахунок енергії на третій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.29 – Розрахунок енергії на четвертій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.30 – Розрахунок енергії на п'ятій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.31 – Розрахунок енергії на шостій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.32 – Розрахунок енергії на восьмій фазі горіння розряду.

Рисунок 2.33 – Розподілення енергії за фазами.

Енергія накопичувального конденсатора була визначена за формулою:

(3.3)

де, C – ємність конденсатора, Ф; U – напруга в конденсаторі, В.

ККД був визначений за формулою:

(3.4)

де E – енергія вкладена в розряд, Дж; q – енергія накопичувального конденсатора, Дж.

Було визначено сумарний вклад енергії в розряд – (-9,328 Дж) та сумарний ККД – 0,124.

Весь алгоритм розрахунку наведений в додатку В. Блок схема розрахунку наведена в додатку Г.

Можна зробити висновок, що розроблений алгоритм розрахунку миттєвої потужності та енергії, яка витрачається на оброблення забрудненої води, дозволяють мінімізувати витрати електроенергії на проведення процесу очищення і виконати правильний підбір параметрів роботи електророзрядного модуля.

3 Аналіз технологічної схеми як об'єкту автоматизації

Автоматизація виробництва – вищий рівень розвитку машинної техніки, коли регулювання й управління виробничими процесами здійснюються без участі людини, а лише під її контролем. Сучасний стан розвитку автоматизації виробництва привів до появи якісно нової системи технологічних машин з керуючими засобами, що базуються на застосуванні електронних обчислювальних машин, програмованих логічних контролерів, інтелектуальних засобів вимірювання і контролю, інформаційно об'єднаних промисловими мережами [41].

Розробка системи автоматизації виробництва є одним із найважливіших етапів його проектування, оскільки забезпечує контроль за якістю продукції, раціональним використанням сировини та енергії, дозволяє мінімізувати використання ручної праці. Також провадження спеціальних автоматичних пристроїв сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму на підприємстві. Це особливо актуально для хімічних виробництв, де є підвищена небезпека для здоров'я та життя людини [42].

Ціллю процесу є отримання на виході очищеної води заданої якості очистки. На процес впливають значення напруги та струму, витрата вихідного компонента, витрата повітря, тиск у фільтрах. Аналіз показав, що для нормального функціонування схеми необхідно:

- контролювати тиск у фільтрі;
- регулювати рівень в ємності із забрудненою водою;
- контролювати рівень в ємності з очищеною водою;
- регулювати та контролювати витрату подачі забрудненої води до електророзрядного модулю;
- регулювати та контролювати витрату подачі повітря;
- контролювати витрату очищеної води;
- контролювати значення струму і напруги;

- контролювати значення електропровідності, рН, кольору води у блоці аналізу.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва, обрано об'єкти автоматизації, обрано регульовані і регулюючі параметри, визначено параметри контролю, реєстрації та регулювання [43]. Для обраних параметрів було визначено необхідну точність вимірювання і регулювання (норми технологічного режиму призначені для фенолу) та діапазони їх можливої зміни. Ці дані наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри контролю та регулювання процесом

4 Розроблення системи керування

4.1 SCADA-системи, її підсистеми та архітектура

Термін «SCADA» має двояке тлумачення. Найбільш широко поширене розуміння SCADA як додатку, тобто програмного комплексу, що забезпечує виконання зазначених функцій, а також інструментальних засобів для розробки цього програмного забезпечення. Однак, часто під SCADA-системою мають на увазі програмно-апаратний комплекс. Подібне розуміння терміну SCADA більш характерно для розділу телеметрія. Значення терміну SCADA зазнало змін разом з розвитком технологій автоматизації і управління технологічними процесами. У 80-ті роки під SCADA-системами частіше розуміли програмно-апаратні комплекси збору даних в реальному часі. З 90-х років термін SCADA більше використовується для позначення тільки програмної частини людино-машинного інтерфейсу АСУТП [44].

SCADA – програмний пакет, призначений для забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки і відображення інформації про об'єкт моніторингу або управління. Цей програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. SCADA може бути частиною АСУТП, АСКОЕ, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі і т. д. SCADA-системи використовуються у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери введення-виведення або OPC / DDE сервери. Програмний код може бути як написаний на одній з мов програмування, так і згенерований в середовищі проектування [44].

SCADA-системи вирішують наступні завдання:

- обробка інформації в реальному часі;
- логічне управління;
- відображення інформації на екрані монітора в зручній і зрозумілій для людини формі;
- обмін даними з «пристроями зв'язку з об'єктом» в реальному часі через драйвери;
- ведення бази даних реального часу з технологічною інформацією;
- аварійна сигналізація і управління тривожними повідомленнями;
- підготовка та генерування звітів про хід технологічного процесу;
- здійснення мережевої взаємодії між SCADA ПК;
- забезпечення зв'язку з зовнішніми додатками.

SCADA-система зазвичай містить наступні підсистеми:

- Драйвери або сервери введення-виведення - програми, що забезпечують зв'язок SCADA з промисловими контролерами, лічильниками, АЦП і іншими пристроями введення-виведення інформації.
 - Система реального часу - програма, що забезпечує обробку даних в межах заданого тимчасового циклу з урахуванням пріоритетів.
 - Людино-машинний інтерфейс – інструмент, який представляє дані про хід процесу людині оператору, що дозволяє оператору контролювати процес і керувати ним.
 - Програма-редактор для розробки людино-машинного інтерфейсу.
 - Система логічного управління - програма, що забезпечує виконання призначених для користувача програм (скриптів) логічного управління в SCADA-системі. Набір редакторів для їх розробки.
 - База даних реального часу - програма, що забезпечує збереження історії процесу в режимі реального часу.
 - Система управління тривогами - програма, що забезпечує автоматичний контроль технологічних подій, віднесення їх до категорії

нормальних, що попереджають або аварійних, а також обробку подій оператором або комп'ютером.

- Генератор звітів - програма, що забезпечує створення призначених для користувача звітів про технологічні події. Набір редакторів для їх розробки.
- Зовнішні інтерфейси - стандартні інтерфейси обміну даними між SCADA та іншими додатками.

В залежності від складності керованого технологічного процесу, а також вимог до надійності, SCADA-системи будуються по одній з наступних архітектур [44]:

1. Автономні. При використанні даної архітектури система складається з однієї або декількох робочих станцій оператора, що не "знають" один про одного. Всі функції системи виконуються на єдиній (декількох незалежних) станції. Переваги її значною перевагою є простота. Однак з недоліків можна виділити низьку відмовостійкість та неспроможність забезпечити істинність даних (історичні дані можуть відрізнятись між різними станціями),

2. Клієнт – серверні. В даному випадку система виконується на сервері, а оператори використовують клієнтські станції для моніторингу та управління процесом. Високонадійні системи будуються на базі подвійного або потрійного резервування серверів і дублювання клієнтських станцій оператора, дублювання здійснювати підключення до мережі сервер-сервер і клієнт-сервер.

3. Розподілені. При використанні архітектури розподіленої системи управління (PCY) обчислення здійснюються на декількох взаємопов'язаних обчислювальних пристроях, часто з функцією взаємного резервування. Розподілені SCADA-системи з взаємним резервуванням відрізняються підвищеною надійністю.

4.2 Різновиди людино-машинних інтерфейсів

Розглянемо декілька людино-машинних інтерфейсів, для того щоб обрати найзручніший для нас.

Середовище GENESIS32 є комплексом клієнтських і серверних додатків, які призначені для розробки прикладного програмного забезпечення візуалізації контрольованих параметрів, збору даних і оперативного диспетчерського управління в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Технологія зв'язування і впровадження об'єктів для систем промислової автоматизації призначена для забезпечення універсального механізму обміну даними між датчиками, виконавчими механізмами, контролерами, пристроями зв'язку з об'єктом і системами уявлення технологічної інформації, оперативного диспетчерського управління, а також системами управління базами даних. До складу GENESIS32 входять наступні клієнтські програми: GraphWorX32, TrendWorX32, AlarmWorX32. GraphWorX32 є інструментальним засобом, призначеним для візуалізації контрольованих технологічних параметрів і оперативного диспетчерського управління на верхньому рівні АСУТП. TrendWorX32 представляє відкрите рішення по високопродуктивної побудови графічних залежностей контрольованих параметрів. Модуль AlarmWorX призначений для виявлення, фільтрації та подання інформації про аварійні події [45].

WinCC це потужна система людино-машинного інтерфейсу, що працює під управлінням операційної системи Microsoft Windows. Автоматизація процесу дозволяє підтримувати фактичний контроль над всім процесом, для чого організовується два види зв'язку: між WinCC і оператором та між системою автоматизації і WinCC. Основні можливості WinCC: візуалізація технічного процесу; конфігурація та налаштування зв'язку з контролерами різних виробників (Tag Management); відображення, архівування та протоколювання повідомлень (Alarm Logging) та змінних (Tag Logging) від технологічного процесу; проектування системи звітності (Report Designer); взаємодія з іншими додатками; проста побудова систем клієнт-сервер; побудова резервованих систем [46].

InTouch використовується на більш ніж однієї третини промислових об'єктів в світі, вже більше 25 років займає лідируючі позиції серед людино-

машинних інтерфейсів. ПЗ InTouch виділяється простотою проектування, операційною гнучкістю, бездоганим управлінням продуктивності в режимі реального часу [47].

TRACE MODE 6 призначена для автоматизації промислових підприємств, енергетичних об'єктів, інтелектуальних будівель, об'єктів транспорту. Масштаб систем автоматизації, створених в TRACE MODE, може бути будь-яким - від автономно працюючих контролерів і робочих місць операторів (АРМ), до територіально розподілених систем управління, що включають десятки контролерів, які обмінюються даними з використанням різних комунікацій. Причому, завдяки наявності в складі TRACE MODE 6 компонентів T-Factory.exe, з'являється можливість комплексної автоматизації управління як технологічними, так і бізнес-процесами виробництва для досягнення високої економічної ефективності та швидкого повернення інвестицій. TRACE MODE 6 має вбудовані драйвери, що дозволяють підключати більше двох тисяч чотирьохсот найменувань пристроїв вводу та виводу. Класи систем, створюваних в TRACE MODE 6, можуть бути як інформаційно-вимірювальні (моніторингу), так і керуючі. Архітектура таких систем в свою чергу може бути як централізована, так і розподілена - в залежності від заданих вимог. Використання технології автопобудови і підхід до розробки проекту розподіленої системи автоматизації як єдиного проекту істотно підвищують продуктивність праці розробників систем, значно зменшуючи частку рутинних ручних операцій і знижуючи кількість помилок, неминучих у великих проектах [48].

Надійний і високопродуктивний обмін даними між контролерами і АРМ в TRACE MODE 6 обумовлений використанням логічного мережевого протоколу I-Net. Динамічні характеристики і надійність створюваного в TRACE MODE 6 програмного забезпечення АРМ і контролерів дозволяють застосовувати розроблені системи автоматизації у великій кількості галузей.

Розглянувши чотири SCADA системи, їх можливості, сильні і слабкі сторони, було прийняте рішення використовувати програмний пакет Trace Mode 6.

4.3 Реалізація схеми електророзрядної установки в Trace Mode

Для візуалізації процесу очищення води було побудовано технологічну схему в середовищі Trace Mode 6 (рис. 4.1). Біля гранулятора показується розраховане значення виходу готового продукту. На корпусі ємностей зображений рівнемір, для визначення рівня рідини в ємностях. З права від джерела живлення зображений пристрій для контролю напруги. Зверху над фільтром зображений пристрій контролю тиску.

Рисунок 4.1 – Технологічна схема електророзрядної очистки води у Trace Mode 6.

Для побудови схеми використовувалися: об'ємні фігури, такі як ємність, піраміда, труба, циліндр, насос (рис. 4.2); прилади – повзунок, стрілочний прилад (рис. 4.3); кнопки (рис 4.4); текстові блоки (рис 4.5).

Рисунок 4.2 – об'ємні фігури в середовищі Trace Mode 6.

Рисунок 4.3 – прилади в середовищі Trace Mode 6.

Рисунок 4.4 – кнопки в середовищі Trace Mode 6.

Рисунок 4.5 – текстові блоки в середовищі Trace Mode 6.

Потім було проведено прив'язки приладів.

Спочатку створили канали параметрів, для демонстрації роботи приладів і виконали автоматичну прив'язку цих приладів до їх каналів рисунок 4.6

Рисунок 4.6 – Вікно властивостей головного екрану.

Далі створюємо програми на мові функціональних блоків FBD:

1. Програма генерації значення рівня в ємності для забрудненої води:
2. Програма для генерації значення рівня в ємності для очищеної води:
3. Програма для генерації значення тиску у фільтрі.
4. Програма для генерації значення напруги в інжекторному джерелі живлення:
5. Програма для генерації значення струму в інжекторному джерелі живлення:
6. Програма для генерації значення витрати води при подачі в ємність з очищеною водою:
7. Програма для генерації значення рівню рН:
8. Програма для генерації значення витрати води для подачі в електророзрядний модуль:
9. Програма для генерації значення витрати повітря компресором:

Наступним кроком було налаштування шкал приладів під дані програми, використовуючи доступні нам налаштування елементів.

Налаштування графічної залежності:

1. Для зміни параметрів графічних кривих (трендів) необхідно скористатися кнопкою на панелі інструментів: в вікнах, де відображуються графічні залежності. При цьому відкриється вікно, в якому показані назви і колір кривих даного вікна побудови:

Для відображення параметрів кривої необхідно розкрити деревоподібна меню натиснувши на «+» ліворуч від її назви:

Зміна параметрів кривих здійснюється при натисканні на значення параметра і подальшим вибором / введенням необхідного значення параметра.

2. Для відображення графічних залежностей за певний період часу необхідно скористатися тимчасовими мітками, для чого необхідно натиснути на кнопку на панелі інструментів у вікні, де відображуються графічні залежності. При цьому відкриється наступне вікно:

в ньому можна вказати дату / час, для яких необхідно переглянути графічні залежності. Навігацію по графічним залежностям можна здійснювати за допомогою наступних кнопок навігації:

Властивості кнопок навігації:

- повернення графічного зображення на годину назад
- повернення графічного зображення на день назад
- повернення до початку графічних побудов
- перекидання графічного зображення на годину вперед
- перекидання графічного зображення на день вперед
- перекидання до кінця графічних побудов

За допомогою повзунка прокрутки:

можна пересувати видиму область побудови графіків від початку побудови до поточного часу.

Кнопка призначена для показу і скасування показу легенди.

Кнопка призначена для виведення і скасування рішення панелі інструментів на екран в графічній області побудови.

4.4 Інструкція для роботи із схемою очищення

1. Запустити програму TRACE MODE 6 RTM, клацнувши два рази мишею по ярлику програми на робочому столі.

2. Після завантаження програми TRACE MODE 6 RTM слід запустити необхідний проект SCADA-системи. Для чого в меню «Файл» вибрати команду «Останні проекти»

3. У списку проектів вибрати необхідний

Вибір проекту підтвердити клацанням миші.

4. Для запуску проекту натиснути кнопку на панелі інструментів або використати відповідну команду в меню «Файл».

На екрані монітора з'явиться вікно проекту:

Рисунок 4.7 – Вікно профайлера з готовою до запуску установкою.

5. Для переходу в повноекранний режим слід скористатися кнопкою а бо відповідною командою в меню «Вид». У повноекранному режимі екран буде виглядати наступним чином:

Рисунок 4.8 – Вигляд проекту в повноекранному режимі.

При цьому панель інструментів буде відсутній, а лінійку меню можна переміщати за допомогою миші і ставити в будь-яке місце екрану.

6. Для переходу до допоміжного вікна графічного відображення поточних параметрів процесу слід скористатися наступною кнопкою «Параметри».

7. Натиснувши на кнопку оператор може відкрити вікно трендів, щоб подивитись зміну параметрів в часі та архів попередньої очистки:

Рисунок 4.9 – Вікно візуалізації зміни параметрів у реальному часі.

Криві, необхідні для побудови слід зазначити символом «+».

Для переходу в головне вікно з цього допоміжного вікна слід скористатися кнопкою:

8. Для завершення роботи з програмою TRACE MODE 6 RTM необхідно зупинити проект натисканням кнопки на панелі інструментів або скористатися відповідним пунктом в меню «Файл». Потім закрити програму, виконати команду «Файл» → «Вихід».

5 Розроблення стартап проекту

5.1 Резюме стартапу

Бізнес-ідея: застосування електророзрядної технології для очищення води від стійких органічних забруднень.

Метою стартапу є впровадження електророзрядної технології у процес очищення стічних вод на підприємствах від стійких органічних забруднень.

Тема: плазмовохімічне очищення води від стійких органічних забруднень.

Назва: плазмове очищення стічних вод.

Суб'єкт замовлення: підприємства, у стічних водах яких є стійкі органічні забруднення.

Об'єкт дослідження: метод очищення води електророзрядними технологіями, можливість зменшення викиду шкідливих речовин підприємствами у водойми, економічна доцільність плазмовохімічної обробки, розробка системи автоматичного контролю витрат енергії для очищення води.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінностей: B2B модель. Так як виробництво спрямовано на взаємодію з юридичними особами (підприємствами).

Таблиця 5.1 – Плановий обсяг продукції по місяцям на перший рік.

Продукт – плазмовий модуль.

Технологія унікальна тим, що при очищенні у водному розчині виникає спеціальний електричний розряд, який генерує радикали, ультрафіолетове випромінювання та ударну хвилю. Модуль складається з розрядної камери, джерела живлення, резисторних матриць і ежекторного вузла. Плазма утворюється в розрядній камері при електричному розряді.

Джерела сировини. Для виготовлення плазмового очисника використовуються наступні компоненти: джерело живлення FUG Elektronik

GmbH (Німеччина), резисторні матриці (Польща), ежекторний вузол (Україна), електроди (Німеччина).

Кваліфікація персоналу. Головний інженер, начальники зміни, оператори, механіки мають вищу технічну освіту. Бухгалтер, маркетолог, відділ закупівель, відділ продаж мають вищу економічну освіту.

Споживачами є підприємства, у стічних водах яких є стійкі органічні забруднення.

Ринок збуту. З кожним роком збільшується кількість промислових виробництв, які забруднюють воду відходами. Виходячи з цього зростає потреба у чистій воді, яка являється однією з базових потреб суспільства. Тому дана електророзрядна технологія буде користуватися попитом. Потенційний ринок складатиме 1700 штук.

Конкурентні переваги. Останнім часом поряд з традиційними методами очищення в водоочисні споруди вводять і нові - нетрадиційні методи очищення. Це викликано тим, що традиційні методи очищення не завжди можуть забезпечити прийнятну якість очищення. Поряд з традиційними методами очищення розвивається і очищення води електророзрядними технологіями, які впливають на воду декількома факторами. Плазмовий метод дозволять вирішити багато технологічних проблем в процесах знезараження води і очистки її від домішок. Вплив електричного розряду на воду викликає її знезараження і розкладання органічних сполук, які знаходяться в ній. Застосування неврівноваженої плазми електричного розряду може очищати як природну, так і стічну воду.

Таким чином плазмовий метод очищення води, що заснований на ініціювання різними способами електричних розрядів в рідині, можна назвати універсальний. Суть його полягає у виникненні плазмового розряду або над поверхнею рідкого середовища, при цьому використовується тліючий, дуговий, бар'єрний розряди, або в обсязі рідкого середовища - в результаті поширення стримерного розряду, всередині якого генеруються мікробульбашки кисню, повітря. Оскільки температура плазми вище температури дисоціації будь-яких

молекул, це забезпечує розпад будь-якого стійкого з'єднання. Завдання полягає в доведенні стану очищеної води за хімічними і біологічними показниками до рівня, який дозволяє її скидати у водойми при повній відповідності вимогам діючих санітарних норм і мінімальних енерговитратах.

На даний момент в Україні немає підприємств які б виготовляли електророзрядні модулі для очищення води від стійких органічних забруднень, тому дана тема є досить актуальною.

Вартість розробки складатиме 161 174 134 грн.

Ринкова ціна складатиме близько 127 тис. грн/шт.

Період повернення капіталовкладень – 6,2 роки.

5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Таблиця 5.2 – Загрози і можливості зовнішнього середовища.

Продовження таблиці 5.2.

Таблиця 5.3 – Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища.

Таблиця 5.4 – Переваги і недоліки внутрішнього середовища.

5.3 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда

На підставі аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху електророзрядної технології. Під ключовими факторами успіху розглянемо ті, на які підприємство може самостійно впливати під час виробництва і реалізації продукту. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда.

Таблиця 5.5 – Оцінки характеристики за методом Шонфільда.

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначається бальна оцінка кожної характеристики для нашої продукції і для конкурентів, вона приведена у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Оцінки характеристики з урахуванням коефіцієнту вагомості

На підставі отриманих бальних оцінок будується графік порівняння конкурентних переваг нашого підприємства з конкурентами.

Рисунок 5.1 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами.

З графіку видно, що наша продукція є кращою ніж у конкурентів по всім показникам окрім ціни, однак вона компенсується ефективністю. Виходячи з цього можна стверджувати, що наша технологія буде користуватися попитом.

5.4 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту

Для розвитку даного стартап проекту було використано декілька джерел фінансування – власні та запозичені кошти. До власних коштів відносимо:

- формування на підприємстві фонду розвитку виробництва, науки і техніки за рахунок відрахувань чітко обумовленого відсотку з прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування.

До запозичених коштів відносимо:

- іноземні інвестиції, інвесторів які зацікавлені в розвитку нових водоочисних технологій.

На виробництві обов'язковими працівниками, які необхідні для виконання відповідного обсягу робіт і повної комплектації робочих місць протягом зміни, є: начальник зміни, оператор та механік. На підставі цього приймаємо, що чисельність явочна: $Ч_{\text{яв.}} = 3$ чоловіка, а за списком $Ч_{\text{з.с.}} = 19$ чоловіка. Перелік посад, кількість працівників та їх заробітна плата наведена в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Персонал цеху.

Продовження таблиці 5.7.

Розрахуємо фонд оплати праці:

Відрахування на соціальні заходи здійснюються за встановленим законодавством ставками від витрат на оплату праці і складає 22%.

Затрати на комплектуючі зручно привести у вигляді таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості комплектуючих для виробництва плазмових установок.

Річні затрати на комплектуючі:

Витрати на електроенергію. Розрахуємо витрати на електроенергію за нерегульованим тарифом, тариф за приєднану потужність: Потужність обладнання: ; Освітлення цілодобове: .

Підприємство працює 12 годин на добу, 250 днів на рік. Річні витрати на електроенергію:

Витрати на опалення цеху. Загальна площа: 2000 м²; тарифна ставка на опалення: 33 грн./м² міс; Сезон опалення: 6 місяців.

Амортизаційні відрахування. Здійснюються за прийнятими методами і нормами.

Таблиця 5.9 – Розрахунок вартості ОЗ підприємства з виробництва плазмових установок.

Сумарна вартість основних фондів:

Розраховуємо величину амортизаційних відрахувань:

Сумарні цехові витрати наведено у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Сумарні затрати цеху виробництва плазмових установок.

Розрахунок ціни за основними методами ціноутворення:

1. Метод, орієнтований на витрати (витратний метод):
2. Агрегатний метод – застосовується до товарів із складових елементів:
3. Параметричний метод – враховує вагомість якісних параметрів товару і оцінку цих параметрів споживачем:
4. Метод ціноутворення на основі поточних цін або конкурентний метод.

На даний момент ціна на ринку за одну плазмову установку складає 128000 грн. Ми можемо варіювати в районі цієї ціни виставляючи більшу або меншу.

5. Баловий метод.

Визначимо ціна одного балу:

Визначимо ціну нового виробу:

Ціна реалізації кінцевої продукції, розрахуємо ціну річного випуску продукції:

Визначаємо прибуток підприємства:

Рентабельність підприємства:

Коефіцієнт економічної ефективності:

Період повернення капіталовкладень:

Фондовіддача основних засобів виробництва:

Фондоємність:

Зведемо всі розраховані в розділі 4 показники до таблиці 5.11

Розрахуємо точку беззбитковості.

Розрахуємо собівартість продукції за витратами, враховуючи витрати на технічне обслуговування обладнання (на технічне обслуговування обладнання ми заклали таку ж суму, яка йде на виготовлення однієї одиниці продукції). На 1440 штук ми витрачаємо комплектуючих на 156 823 114 грн, тобто на одну одиницю продукції ми витрачаємо 108 904,9 грн.

Позначимо точку беззбитковості через X у штуках. Витрати за рік складатимуть:

Точка беззбитковості – 281 шт/рік

Таблиця 5.11 – Основні техніко - економічні показники цеха з виробництва плазмових очисників.

За знайденими техніко-економічними показниками можна зробити висновок, що дане підприємство є прибутковим.

5.5 Карта бізнес-процесів реалізації проекту

Метою розробки даного стартапу є створення нового, рентабельного виробництва, яке б задовольняло попит, та відповідало всім вимогам нормативних документів. В майбутньому планується вихід на світовий ринок.

Карта бізнес-процесів виконання стартап проекту

Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

5.6 Оцінка ризиків та страхування розробки

Таблиця 5.12 – Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання.

Таблиця 5.13 – Методи управління ризиками.

Висновки

Проаналізовано традиційні та електророзрядні методи очистки води від органічних забруднень і показано, що електророзрядні методи дозволяють достатньо ефективно очищати забруднену воду.

Проведено експериментальне дослідження очистки забрудненої води різними речовинами на лабораторній установці.

Проведені дослідження показали достатню ефективність очищення води від фенолу, аніліну та метилфіолетового (аніліновий барвник). За результатами зміни електричних параметрів в часі, які записувалися осцилографом, проведений розрахунок потужності, енергії та ККД установки.

Виконаний аналіз процесу очищення води від стійких органічних забруднень як об'єкту автоматизації та визначені параметри контролю і регулювання.

Виходячи з аналізу розроблена SCADA-система контролю та керування в середовищі Trace Mode.

Розроблений стартап проект, який показує доцільність впровадження електророзрядної технології очистки.

Список використаних джерел

1. І. І. Ваганов Інженерна геологія та охорона навколишнього середовища [Текст] / І. І. Ваганов, І. В. Маєвська, М. М. Попович – Вінниця – 2009.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006 році [Текст] / Міністерство екології та природних ресурсів України – К., 2007. – 15 с.
3. Новиков А. В. Улучшение качества природных и очистка сточных вод : учебное пособие / А. В. Новиков, Ю. Н. Женихов. – Ч. 1. 1-е изд. – Тверь: ТГТУ, 2006. – 112 с.
4. Фалендыш Н. Ф. Как "готовится" питьевая вода. Альтернативные технологии водоподготовка / Н. Ф. Фалендыш // Водоочистка. – 2009. – №3. – с. 27–30.
5. Благодарная Г. И. Анализ методов очищения высококонцентрированных сточных вод предприятий пищевой промышленности / Г. И. Благодарная, А. А. Шевченко, С. В. Лунин // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – К. : Техніка, 2010. – Вып. 93. – с. 176–182. – (Серия «Технические науки и архитектура»).
6. Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах: Справочник / Я. М. Грушко. – 2-е изд., пере-раб. и доп. – Л. : Химия, 1982. – 216 с.
7. Ефремов, А. М. Вакуумно-плазменные процессы и технологии : учебное пособие / А. М. Ефремов, В. И. Светцов, В. В. Рыбкин. – Иваново : ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2006. – 260 с.
8. Белошеев, В. П. Самоорганизация структуры лидерного разряда по поверхности воды // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70. – №. 7. – С. 109–114.
9. Велихов, Е. П. Физические явления в газоразрядной плазме : Учеб. руководство / Е. П. Велихов, А. С. Ковалев, А. Т. Рахимов. – М. : Наука, 1987. – 160 с.

10. Полак, Л. С. Очерки физики и химии низкотемпературной плазмы / Л. С. Полак. – М. : Наука, 1971. 436 с.
11. Шуаибов, А. К. Характеристики тлеющего разряда в воздухе атмосферного давления над поверхностью воды / А. К. Шуаибов, М. П. Чучман, Л. В. Месарош // Журнал технической физики. 2014. Т. 84. Вып. 6. С. 60–64.
12. Максимов, А. И. Влияние тлеющего разряда на кислотность растворов электролитов / А. И. Максимов, А. В. Хлюстова, С. В. Трошенкова // Электронная обработка материалов. – 2004. – №. 6. – С. 31–35.
13. Кутепов, А. М. Плазменное модифицирование текстильных материалов : перспективы и проблемы / А. М. Кутепов, А. Г. Захаров, А. И. Максимов, В. А. Титов // Российский химический журнал. – 2002. – Т. 46. – №. 1. – С. 103–115.
14. Пивоваров, А. А. Влияние степени разбавления питьевой воды дистиллятом на рН плазмохимически обработанных водных растворов / А. А. Пивоваров, А. П. Тищенко, С. В. Трещук // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 2. – С. 156–158.
15. Словецкий, Д. И. Механизмы химических реакций в неравновесной плазме / Д. И. Словецкий. – М. : Наука, 1980. – 310 с.
16. Кузьмичева, Л. А. Влияние газофазных процессов, инициируемых тлеющим разрядом, на свойства растворов / Л. А. Кузьмичева, Ю. В. Титова, А. И. Максимов // Электронная обработка материалов. – 2006. – № 3. – С. 148–152.
17. Пивоваров, А. А. Оптимизация условий обработки растворов хлорида натрия тлеющим разрядом : влияние силы тока на состав жидкой фазы / А. А. Пивоваров, Р. И. Захаров, Н. В. Николенко // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – №. 3. – С. 174–178.
18. Силкин, Е. С. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности / Е. С. Силкин // Компоненты и технологии. – 2013. – № 1. – С. 136–143.
19. Бондаренко, П. Н. Исследование одиночного барьерного разряда в субмиллиметровых воздушных промежутках. Однородное поле / П. Н.

Бондаренко, О. А. Емельянов, М. В. Шемет // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – № 6. – С. 51–59.

20. Пивоваров, А. А. Получение окислителей способом плазменной обработки водных растворов хлорида натрия / А. А. Пивоваров, Р. И. Захаров, А. Н. Калашникова, Н. В. Николенко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – №. 3. – С. 88–94.

21. Иванова, И. П. Влияние плазмы искрового разряда на уровень окислителей и восстановителей в модельных растворах / И. П. Иванова, С. В. Трофимова // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – Т. 56. – №. 6. – С. 12–13.

22. Grabowski, L. R. Pulsed corona in air for water treatment : дис. ... Ph.D. / Lukasz Radoslaw Grabowski. – Eindhoven, 2006 . –126 p.

23. Никифоров, А. Ю. Кинетические особенности генерации перекиси водорода в капиллярном подводном разряде переменного тока / А. Ю. Никифоров // Электронная обработка материалов. – 2006. – № 4. – С. 65–72.

24. Sharma, A. K. A preliminary study of pulsed streamer corona discharge for degradation of phenol in aqueous solutions / A. K. Sharma, B. R. Locke, P. Arge, W.C. Finney // Hazardous waste and hazardous materials. – 1993. – V. 10. – N. 2. – P. 209–219.

25. Пискарев, И. М. Безэлектродные электрохимические реакции как способ очистки воды от загрязнений / И. М. Пискарев // Теоретические основы химической технологии. – 2000. – Т. 34. – №3. – С. 333–336.

26. Сериков, Л. В. Деструкция органических веществ в растворах под действием импульсных электрических разрядов / Л. В.Сериков, Л. Н. Шиян. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 59 с.

27. Sun, B. Use of a pulsed high-voltage discharge for removal of organic compounds in aqueous solution / B. Sun, M. Sato,. J. S. Clements // Journal Phys. D: Appl. Phys. 1999. V. 32. P. 354–357.

28. Cheng, H. Non-thermal plasma technology for degradation of organic compounds in wastewater control a critical review / H. Cheng, S. Chen, Y. Wu, D. Ho // *Journal Environ. Eng. Manage.* 2007. V. 17. N 6. P. 427–433.
29. Рахманин, Ю. А. Состояние и тенденции развития технологий обеззараживания воды для питьевых целей / Ю. А. Рахманин, Р. И. Михайлова // *Актуальные проблемы транспортной медицины.* – 2009. – № 1 (15). – С. 86–88.
30. Dors, M. Pulsed corona discharge in water for coli bacteria inactivation / M. Dors, E. Metel, J. Mizeraczyk, E. Marotta // *Dielectric Liquids. IEEE International Conference on.* – 2008. – P. 1–3.
31. Вилков, К. В. Обеззараживание воды импульсными электрическими разрядами / К. В. Вилков, А. Л. Григорьев, Ю. А. Нагель, И. В. Уварова // *Водоснабжение и канализация.* – 2008. – С. 7–12.
32. Пат. № 4207286 (США) Seeded gas plasma sterilization method (Raymond M. Gut Boucher. 10.06.1980).
33. El-Hag, A. H. Inactivation of Naturally Grown Microorganisms in Orange Juice Using Pulsed / A. H. El-Hag // *Electric Fields. IEEE Trans. Plasma Sci.* 2006. V. 34. N 4. P. 1412–1415.
34. Jeyamkondan, S. Pulsed electric field processing of foods: a review / S. Jeyamkondan, D. S. Jayas, R. A. Holley // *Journal of Food Protection.* – 1999. – Т. 62. – №. 9. – С. 1088–1096.
35. Putri, R. I. Design of High Voltage pulse generator for pasteurization by pulse electric field / R. I. Putri, I. N. Syamsiana, L. C. Hawa // *International Journal of Computer and Electrical Engineering.* – 2010. – Т. 2. – № 5. – P. 916.
36. Яворовский, Н. А. Импульсный барьерный разряд как метод обработки воды: активные частицы-окислители в водо-воздушном потоке / Н. А. Яворовский, Я. И. Корнев, С. В. Прейс, С. С. Пельцман, М. Б. Хаскельбер // *Известия Томского политехнического университета.* – 2006. – Т. 809. – №. 2. – С. 108–113.

37. Семенов, Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности (свободные радикалы и цепные реакции) / Н. Н. Семенов. – 2-е перераб. и доп. издание. – М. : Академия Наук СССР, 1958. – 686с.
38. Lindon, M. A. CO₂ dissociation using the versatile atmospheric dielectric barrier discharge experiment (VADER) : дис... Ph.D. : 0759 Plasma physics / Lindon Michael Allen. – West Virginia, 2014. – 197 p.
39. Полак, Л. С. Теоретическая и прикладная плазмохимия / Л. С. Полак, А. А. Овсянников, Д. И. Словецкий, Б. М. Вурзельф. – М. : Наука, 1975. – 304 с.
40. Origin Pro 2018, SR2 data analysis, научные графики, graphing OriginPro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://softoroom.net/topic45574.html>.
41. Химико-технологические системы. Синтез, оптимизация и управление. /Под редакцией И. П. Мухленова. – Л.: Химия, 1986. – 424 с.
42. Бондаренко С. Г. Автоматизація технологічних процесів [Текст] / С.Г. Бондаренко, О. В. Сангінова – Київ – 2017 – 163 с.
43. 15. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации - М.:Химия, 1982.-296 с.
44. Промышленное программирование, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/post/197276/>.
45. Описание SCADA-системы GENESIS 32 и лабораторные по атп добычи, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mysagni.ru/fea/ait/1509-opisanie-scada-sistemy-genesis-32-i-laboratornye.html>.
46. Системный обзор WinCC, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docplayer.ru/35888283-Tema-3-sistemnyy-obzor-wincc.html>.
47. Обзор Wonderware InTouch, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.wonderware.ru/hmi-scada/intouch/>.
48. 5 языков программирования стандарта МЭК 6-1131/3, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.adastra.ru/products/overview/IEC61131/>.