

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**КИРИЛЮК СВІТЛАНА ВОЛОДИМИРІВНА**

УДК 628.16.084.4

**ОЧИЩЕННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНОГО  
ВИРОБНИЦТВА У КОМБІНОВАНІЙ СИСТЕМІ**

Спеціальність 05.17.21 – технологія водоочищення

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі хімії та фізики Національного університету водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

**Яцков Микола Васильович**

Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри хімії та фізики

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент

**Шевчук Лілія Іванівна**

Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри технології органічних продуктів

кандидат технічних наук

**Сусь Марія Олександрівна**

Товариство з обмеженою відповідальністю  
«Науково-виробниче об'єднання «Екософт»»,  
менеджер з продуктів відділу технічної підтримки та розвитку продуктів

Захист відбудеться “15” листопада 2017 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.13 в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056, Київ 56, пр. Перемоги, 37, корпус № 4, велика хімічна аудиторія

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056, Київ 56, пр. Перемоги, 37

Автореферат розісланий “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Т.І. Мотронюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність теми.* Стічні води гальванічного виробництва є основним джерелом надходження до навколишнього середовища кислот, лугів, йонів важких металів, органічних домішок, які під час потрапляння у водне середовище утворюють джерело отруєння довкілля протягом багатьох років.

На сьогодні стічні води гальванічного виробництва поділяють на відпрацьовані технологічні розчини (ВТР 6-10% від загального обсягу стічних вод), які відносяться до категорії висококонцентрованих водних систем (загальна концентрація електролітів  $m \geq 1$  моль/дм<sup>3</sup>), та стічні води від операцій промивання (промивні води 90-94% від загального обсягу стічних вод), які відносяться до категорії розведених водних систем ( $m \leq 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>). Відповідно до цього найбільш поширені технологічні системи оброблення цих категорій стічних вод включають очищення у локальних періодично діючих системах відпрацьованих технологічних розчинів та очищення промивних вод у централізованих неперервно або напівнеперервно діючих системах.

Особливості очищення вищенаведених категорій стічних вод гальванічного виробництва стали предметом наукових пошуків таких учених, як: А. К. Запольський, С. С. Виноградов, В. Л. Філіпчук, О. В. Рогов, С. С. Душкін, С. М. Епоян, Л. А. Кульський, А. М. Когановський, М. С. Мальований, В. В. Образцов, Г. С. Пантелят, В. М. Рогов, М. М. Сенявін, С. В. Яковлев., В. В. Найденко, Н. М. Корчик, В.В. , Н. В. Губанов та ін.

Однак упродовж останніх 30 років водоспоживання та відповідно об'єм стічних вод гальванічного виробництва зменшився на 50÷75%, при цьому концентрації промивних стічних вод за окремими компонентами збільшились у 5 ÷ 65 разів, що стало причиною відхилення від заданих норм роботи наявних систем очищення. Внаслідок цього не забезпечується необхідна якість очищення, а також можливий вихід з ладу окремих елементів системи очищення.

Наведений у цій роботі якісний та кількісний аналіз стічних вод гальванічного виробництва показав, що в промивних водах загальна концентрація електролітів складає  $m \geq 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>, що дає підстави їх зарахувати до концентрованих водних розчинів (концентрованих стічних вод).

На основі теорії розчинів, які викладені в роботах О.Л. Самойлова, Н.А. Ізмайлова, Л.І. Антропова, необхідно вважати, що в концентрованих стічних водах гальванічного виробництва внаслідок посилення всіх форм координаційних взаємодій при визначенні основних технологічних параметрів процесу очищення потрібно враховувати структуру розчину, хімічну природу окремих компонентів і взаємозв'язки між ними, включаючи частинки, які виникають при утворенні водної системи, основним елементом якої є гідратований йон. При цьому прогнозування ефекту очищення концентрованих стічних вод ґрунтуються на використанні основних положень формальної термодинаміки, а саме: визначенні доцільних умов процесу, за яких заданий ефект очищення супроводжується зменшенням ентропії системи. Крім того, збільшення ефекту очищення може бути досягнуте отриманням більш однорідної вихідної суміші (зменшенням ентропії змішування), тому є

актуальним поділ концентрованих стічних вод гальванічного виробництва на окремі категорії, що також дозволить зменшити собівартість очищення, оперуючи окремими категоріями як реагентами та спростує систему регулювання процесом очищення.

Відповідно до вищенаведеного актуальним є покращення роботи наявних очисних систем в умовах кількісних та якісних змін стічних вод шляхом визначення технологічних параметрів очищення стічних вод гальванічного виробництва на ґрунті теоретичних закономірностей перебігу процесів у концентрованих водних розчинах електролітів.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Дисертаційну роботу виконано згідно з планом науково-дослідних робіт “Фізико-хімічні методи очищення водних систем” (номер державної реєстрації 0112U005997 від 01.09.2012 р.) кафедри хімії та фізики Національного університету водного господарства, в яких здобувач брала участь як співвиконавець.

*Мета і задачі досліджень.* Мета дисертації полягає в розробленні комбінованої системи очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва.

Відповідно до поставленої мети необхідним було вирішення таких завдань дисертаційної роботи:

1. Провести аналіз стічних вод гальванічного виробництва і обґрунтувати заходи щодо удосконалення наявних систем очищення в умовах кількісних та якісних змін стоків.

2. Обґрунтувати процеси комбінованої системи очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва з точки зору методології системного аналізу Quality Function Deployment.

3. Обґрунтувати розподіл концентрованих стічних вод гальванічного виробництва на окремі категорії.

4. Експериментально дослідити локальне очищення запропонованих категорій стічних вод у періодично діючих системах, при цьому визначити основні параметри (раціональні значення витратних коефіцієнтів, рН, Eh) та доцільні методи реагентного очищення (осадження чи співосадження) залежно від структури водної системи, основою якої є гідратований йон.

5. Обґрунтувати можливість використання як хімічних реагентів окремих категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва.

6. Провести кінетичні дослідження процесу реагентного очищення локального очищення, запропонованих у роботі, категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в реакторах періодичної дії.

7. Провести дослідження з метою визначення раціональних параметрів спільного доочищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в централізованій системі та глибокого доочищення на блоці йонного обміну.

8. Розробити рекомендації щодо очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в комбінованій системі.

9. Провести техніко-економічне обґрунтування, запропонованих у роботі, заходів щодо вдосконалення наявних схем очищення шляхом упровадження комбінованої системи.

*Об'єкт дослідження* – включає реагентний метод очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва (нейтралізацію кислот, лугів, перетворення йонів металів і супутних компонентів органічного та неорганічного походження з їх видаленням, осадженням та співосадженням) та йонообмінний метод для глибокого доочищення від розчинних солей у комбінованій системі.

*Предмет дослідження* – модельні розчини та промислові концентровані стічні води гальванічного виробництва підприємств України.

*Методи досліджень* – у теоретичних дослідженнях використовували методики для розрахунку матеріальних балансів хіміко-технологічних процесів на основі методу рівняння ізотерми осадження; для систематизації процесів та їх параметрів у комбінованій системі використовували експертний метод Quality Function Deployment (метод QFD). В експериментальних дослідженнях використано рН-метрію, фотоколориметрію, потенціометричне титрування, витратовимірювання. Математичне моделювання комбінованої системи здійснювали із застосуванням програмного забезпечення персональних комп'ютерів (MathLab, Microsoft Visual Studio 2015, Excel) та стандартних методик.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

Теоретично обґрунтовано та вперше запропоновано класифікацію концентрованих стічних вод гальванічного виробництва з врахуванням специфіки технології за такими ознаками: за кислотно-основною рівновагою (рН), яка пов'язана з окисно-відновним потенціалом (Еh); за хімічною природою основного йона-метала, типом гідратації, що зумовлює структуру гідратованого йона та системи в цілому (впорядкована та неупорядкована). Запропонована класифікація дозволяє передбачати шляхи зменшення витрат реагентів і використання окремих потоків стічних вод як реагентів шляхом урахування специфічних особливостей міжкомпонентної взаємодії складових систем.

Розроблено алгоритм на основі методу Quality Function Deployment для визначення доцільної кількості технологічних операцій та їх основних параметрів для комбінованої системи очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва.

Теоретично та експериментально обґрунтовано, що для категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва, у яких переважають йони з позитивним типом гідратації, термодинамічно вигідними є реакції хімічного осадження (відповідає енергія активації процесу осадження лужним реагентом  $E_a=61 \div 1167$  кДж/моль), при цьому витрата для реагентів збігається або незначно перевищує стехіометричну норму, а для категорій стічних вод, у яких переважають йони з негативним типом гідратації, термодинамічно вигідними є реакції хімічного співосадження ( $E_a=2362 \div 3000$  кДж/моль).

*Практичне значення одержаних результатів.*

Обґрунтовані заходи для удосконалення наявних систем очищення стічних вод гальванічного виробництва, а саме використання комбінованої системи, яка передбачає поетапне очищення: на першому етапі – у локальних системах для відповідних категорій стічних вод, а на другому – спільне доочищення на централізованих спорудах.

Розроблені та експериментально обґрунтовані рекомендації щодо використання в якості хімічних реагентів окремих категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва, що зумовлює зменшення витрати товарного реагенту на 40%, а відтак зниження додаткового забруднення стічних вод: ефективність очищення за йонами металів складає до 99%.

Обґрунтовано на підставі кінетичних досліджень процесу осадження лужним реагентом, що для досягнення заданого ефекту очищення й раціональних умов осадження без перевитрати або надлишку реагентів доцільне забезпечення постадійного (двухстадійного) дозування лужного реагенту та його регулювання, а саме:

– для першої стадії рекомендуємо регулювати дозування лужного реагенту за витратою. За результатами досліджень визначено рекомендований витратний коефіцієнт лужного реагенту, який складає від 0,25 до 5 від значення стехіометричної норми, в залежності від категорії концентрованих стічних вод.

– для другої стадії реакції рекомендуємо регулювати дозування лужного реагенту за часом, останній складає від 560 до 2950 сек., у залежності від категорії концентрованих стічних вод.

Рекомендована комбінована система очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва є типовим рішенням, на основі якого запроєктовано й упроваджено станції очищення на таких підприємствах: м. Броди ТОВ “Бропіль”, м. Макіївка ТОВ “Завод метизних виробів”, про що отримано акти про впровадження.

*Особистий внесок здобувача.* Дисертаційна робота виконана на кафедрі хімії та фізики Національного університету водного господарства та природокористування під керівництвом к.т.н., ст.н.сп. Яцкова М.В. Запропоновані та перевірені робочі гіпотези, проведено теоретичний аналіз, виконані експериментальні дослідження, отримані фізико-математичні та експериментально-статистичні моделі, виконано аналіз отриманих результатів, здійснені необхідні технологічні обґрунтування, підготовлені наукові повідомлення і статті.

*Апробація результатів дисертації.* Основні положення та результати досліджень викладено в доповідях, обговорено й апробовано на науково-практичних конференціях: науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (Рівне, 2008–2013 рр.); Міжнародній студентській конференції, присвяченій 85-річчю НУВГП (Рівне, 2007 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції “Комп’ютерне моделювання в хімії та технологіях” (Київ, 2008 р.); II Міжнародній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології “НТУУ КПІ” (Київ, 2009 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми водного господарства та природокористування” (Рівне, 2009 р.); VII, VIII, IX міжнародних конференціях “Співробітництво для вирішення проблеми з відходами” (Харків, 2010 р.); II науково-практичній конференції “Комп’ютерне моделювання в хімії та технологіях і сталий розвиток” (Київ, 2010 р.); XIII, XIX, міжнародних науково-практичних конференціях студентів, аспірантів та молодих вчених “Екологія. Людина. Суспільство” (Київ, 2010 р., 2011 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції “Екологія, енерго- і ресурсозбереження, охорона

навколишнього середовища і здоров'я людства, утилізація відходів” (АР Крим, Щолкіно, 2011 р.); XXV Міжнародній науковій конференції “Математичні методи в техніці та технологіях ММТТ-25” (Саратов, 2012 р.); Міжнародній науковій конференції “Математичні методи в техніці та технологіях ММТТ-25” (Харків, 2012 р.); II Міжнародній Інтернет-конференції SWorld “Сучасні проблеми та шляхи їхнього вирішення в науці, транспорті, виробництві та освіті ” (Одеса, 2012 р.), Всеросійській конференції з міжнародною участю “Поліфункціональні хімічні матеріали та технології”, (Томск, 2013 р), II Міжнародній заочній науково-практичній конференції молодих учених “Фундаментальні та прикладні дослідження в сучасній хімії”, (Ніжин, 2015 р.), XXXV Всеукраїнській науково-практичній конференції “Інноваційний потенціал світової науки - XXI сторіччя, (Київ, 2016р.), I всеукраїнській науковій конференції “Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів” (Дніпро 2017р.).

*Публікації.* За результатами досліджень опубліковано 30 наукових праць, у тому числі 13 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 статті у виданнях іноземних держав, 1 стаття у виданні України, яке включене до міжнародних наукометричних баз), 1 патент України на корисну модель, 16 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

*Структура дисертації.* Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, основних висновків, додатків, списку використаних джерел зі 158 найменувань. Робота складається зі 191 сторінки основного тексту та містить 86 рисунків, 30 таблиць, додатків. Загальний обсяг роботи – 208 сторінок.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У *вступі* наводиться стисла характеристика дисертаційної роботи, розкрита актуальність проблеми очищення стічних вод гальванічних виробництв, сформульована мета і визначені задачі досліджень, наведені положення наукової новизни та практичної цінності роботи.

У *першому розділі* проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дисертаційної роботи, проаналізовано сучасний стан вирішення проблеми очищення стічних вод гальванічного виробництва.

Виконано кількісний та якісний аналіз стічних вод гальванічного виробництва на основі регламентів скиду стоків підприємства за 1985 – 2015 роки, за результатами якого встановлено, що концентрації забруднювальних речовин у стічних водах від операцій промивання за зазначений період збільшилися у 5 – 65% за окремими компонентами, при тому, що витрата зменшилась приблизно 50 – 70 %. Зважаючи на зазначене, стічні води гальванічного виробництва від операцій промивання відносимо до категорії концентрованих розчинів, у яких загальна концентрація електролітів  $\geq 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>.

Крім кількісних змін в об'ємах стічних вод гальванічного виробництва, відбулися значні зміни їхнього якісного складу через використання новітніх маловивчених реактивів, а також через наявність значної кількості органічних домішок, зокрема поверхнево-активних речовин (ПАР), які, попри токсичність, також впливають на

ступінь очищення та зміну діапазону раціональних значень окисно-відновного (Eh) та кислотно-основного (pH) показників.

З результатів проведених у роботі досліджень, встановлено, що, як правило, наявні системи очищення промивних стічних вод гальванічного виробництва розраховані на концентрації  $< 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>. Тому в умовах означених змін стічних вод, наявні системи не забезпечують необхідної якості очищення, а також можливий вихід з ладу окремих її елементів. Тому наявні системи очищення потребують удосконалення та нових рішень щодо вибору режимних параметрів, способу організації системи очищення, способу дозування реагентів, рекомендацій щодо накопичення та формування стоку, для забезпечення заданого ефекту очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва.

Таким чином, у роботі запропоновано новий технологічний підхід з метою покращення наявних систем очищення шляхом використання комбінованої системи, яка базується на:

- класифікації концентрованих стічних вод, яка дозволяє визначити доцільні методи очищення залежно від структури водної системи, основою якої є гідратований йон;

- використанні окремих потоків стічних вод як хімічних реагентів (з метою зменшення собівартості очищення);

- реалізації поетапного дозування реагентів та поетапного очищення (що дозволить забезпечити максимальний ефект очищення концентрованих стічних вод).

Запропонована комбінована система очищення включає поетапне очищення розділених на окремі категорії концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в локальній періодично діючій системі та їх спільне доочищення в неперервно або напівнеперервно діючій централізованій системі.

У *другому розділі* представлено методики експерименту, застосовувані матеріали й обладнання, експериментально-лабораторну установку, хімічні реактиви для очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва. Розглянуто методики визначення забруднювальних речовин ( $Fe^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Cr^{+6}$ ,  $Ni^{+2}$ , pH, Eh) у модельних і реальних стічних водах. Описано методику складання балансових схем технологічних систем очищення стічних вод із точки зору молекулярної концентрації складових та рівнянь ізотерм осадження гідроксидів металів. Розглянуто метод Quality Function Deployment (QFD) – технологія розгортання функцій якості (окисно-відновних процесів, хімічного осадження та співосадження, йонного обміну), яким послуговувалися для систематизації операцій із розроблення комбінованої системи, а також для обґрунтування цих процесів як елементів комбінованої системи в руслі системного підходу.

У *третьому розділі* теоретично обґрунтовано вперше запропоновану класифікацію концентрованих стічних вод гальванічного виробництва за такими ознаками: за технологічною операцією (покриття або підготовки поверхні); за кислотно-основною рівновагою (pH), яка пов'язана з окисно-відновним потенціалом (Eh); за хімічною природою основного йона-метала; типом гідратації, що зумовлює структуру гідратованого йона та системи в цілому (упорядкована та неупорядкована). Так концентровані стічні води гальванічного виробництва розділено на такі категорії:



хромовмісні; металовмісні лужні після підготовки поверхні; металовмісні кислі після підготовки поверхні; металовмісні лужні після покриття; металовмісні кислі після покриття. Запропонована класифікація уможливорює на ґрунті властивостей міжкомпонентної взаємодії оперувати окремими потоками як реагентами, тим самим зменшивши витрати реагентів на очищення.

За результатами проведених у роботі теоретичних досліджень для комбінованої системи на основі методу QFD розроблено алгоритм для визначення доцільної кількості технологічних операцій (процесів) та їх основних параметрів для очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва. Відповідно до системного підходу QFD елементи комбінованої системи (хімічне осадження, хімічне співосадження, окисно-відновні процеси, процес йонного обміну) представлено у вигляді схем, побудованих за такою послідовністю: характер процесу → тип обладнання → параметри контролю.

Проведено дослідження гетерогенної рівноваги в системі “йоніт – розчин”, у результаті чого теоретично обґрунтовано: 1) застосування йонного обміну для знесолення, тобто вилучення добре розчинних солей, наприклад,  $\text{Ca}^{2+}$  після вапнування, більш енергетично вигідний процес, ніж вилучення йонів важких металів, що знаходяться у вихідних стічних водах гальванічного виробництва; 2) реалізація йонообмінних технологій очищення стічних вод гальванічного виробництва від йонів важких металів потребує надлишку реагентів порівняно зі стехіометричними розрахунками, що призводить до утворення великого об’єму елюатів (кислот, лугів), а саме: дослідним шляхом визначено, що кількість елюатів більша в 7 разів порівняно з кількістю елюатів, утворених при використанні йонного обміну для вилучення йонів  $\text{Ca}^{2+}$ .

Таким чином, комбінована система, включає як основну підсистему реагенті методи очищення, а побічну – йонний обмін.

У четвертому розділі дисертації проведено експериментальні дослідження на предмет визначення технологічних параметрів елементів комбінованої системи очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва. Дослідження проводили на модельних розчинах, після чого результати досліджень апробовано на реальних концентрованих стічних водах гальванічних підприємств України.

Для неконцентрованих розчинів визначення основних технологічних параметрів: витрати реагентів, швидкості реакції, як правило, не представляє труднощів. Задача ускладнюється при розгляді концентрованих водних систем у зв’язку з посиленням усіх форм взаємодій у розчині (йон-йон, йон-диполь, диполь-диполь) комплексоутворення. Тому для концентрованих стічних вод гальванічного виробництва, які розглядаються у цій роботі, основні параметри визначаємо експериментальним шляхом на основі уявлень про гідратацію йонів та їх дію на структуру водних систем.

Для вирішення поставленої у роботі мети на першому етапі було визначено основні параметри (витратні коефіцієнти, значення рН, Eh) для ефективного очищення в локальних періодично діючих системах, запропонованих у роботі категорій стічних вод: хромовмісні; металовмісні лужні після підготовки поверхні;

металовмісні кислі після підготовки поверхні; металовмісні лужні після покриття; металовмісні кислі після покриття.

Дослідження хромовмісних стічних вод проводили на прикладі усередненого потоку концентрованих стоків від операцій пасивування та хромування. Особливістю цієї категорії стічних вод є те, що йони  $\text{Cr}^{6+}$  та  $\text{Cr}^{3+}$  у розчинах утворюють в наявності йонів  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  (що є у стічних водах) багатоядерні комплексні сполуки, які відрізняються пониженою реакційною здатністю і є, як правило, інертними комплексами. Відмінністю в очищенні хромовмісних стічних вод є те, що воно реалізовується у два етапи: перший - гомогенна хімічна реакція відновлення, другий - гетерогенна реакція осадження.

Відомо, що передозування відновника навіть на 10% приводить до утворення комплексних солей  $\text{Cr}^{3+}$ , які не повністю руйнуються при подальшому знешкодженні стічних вод, тому завданням досліджень для першого етапу очищення хромовмісних стічних вод було визначення раціональної витрати відновника, значення рН, Eh, час проходження реакції.

Згідно з результатами досліджень для хромовмісних стічних вод гальванічного виробництва на основі реалізації реагентного методу очищення з використанням комбінації реагентів (20%-ого розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 20%-ого розчину  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) визначено: для розведених стічних вод ( $C_{\text{поч.}}(\text{Cr}^{6+}) \leq 500 \text{ мг/дм}^3$  ( $0,009 \text{ моль/дм}^3$ )) раціональні значення рН і Eh збігаються з даними, наведеними у відповідній літературі, тобто становлять: витратний коефіцієнт  $B \geq 6$  від стехіометричної норми, рН  $2,5 \div 2,7$ , Eh  $+0,75\text{В}$ . Для концентрованих стічних вод ( $C_{\text{поч.}}(\text{Cr}^{6+}) = 500 \div 1000 \text{ мг/дм}^3$  ( $0,009-0,02 \text{ моль/дм}^3$ )) доцільні значення рН  $4,4 \div 6,3$ , Eh  $+0,16 \div 0,21 \text{ В}$ , витратний коефіцієнт  $B \leq 3$  від стехіометричної норми.

Таким чином, найбільш доцільне очищення хромовмісних стічних вод з  $C_{\text{поч.}}(\text{Cr}^{6+}) = 500 \div 1000 \text{ мг/дм}^3$  ( $0,009-0,02 \text{ моль/дм}^3$ ), оскільки в цьому діапазоні концентрацій найменша перевитрата реагенту.

Дослідження кислих металовмісних концентрованих стічних вод після операцій покриття проводили на прикладі стоку після операції ніколювання. Особливістю цієї категорії є те, що молекули води в безпосередній близькості з йоном Ніколю утворюють гідроксокомплекс, який має особливу міцність (порівняно з  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ). Гідратований йон відіграє роль слабкої кислоти:  $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})^{n+} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})^+ + \text{H}^+$ . Відповідно до цього, таку категорію концентрованих стічних вод характеризуємо як концентровані водні системи, у яких переважають йони із додатнім типом гідратації (впорядкованою структурою водної системи), тому для їх очищення рекомендуємо застосування методу осадження.

У результаті проведених досліджень встановлено, що витратний коефіцієнт змінюється від 0,5 до 2,5, в інтервалі концентрацій від 1,5 до 0,05 моль/дм<sup>3</sup> відповідно (рН<sub>кін.</sub>  $8,5 \div 9,5$ ).

Дослідження лужних металовмісних концентрованих стічних вод після операцій покриття проводили на прикладі потоку після операцій лудіння, що вміщують йони Стануму. Структуру водної системи цієї категорії до оброблення можна схарактеризувати як упорядковану координаційними взаємодіями (переважають йони

з додатній типом гідратації), зокрема можливим ковалентним зв'язком із молекулами гідратної води, тому для їх очищення рекомендуємо використання методу осадження.

У результаті проведених досліджень встановлено, що витратний коефіцієнт змінюється від 0,1 до 1,6, в інтервалі концентрацій від 0,3 до 0,005 моль/дм<sup>3</sup> відповідно ( $\text{pH}_{\text{кін.}} 4 \div 5$ ).

Дослідження кислих металовмісних концентрованих стічних вод після операцій підготовки поверхні проводили на прикладі потоку після операцій травлення, що за хімічним складом належать до нітрат Cu-вмісних. Для цієї категорії концентрованих стічних вод, яка характеризується неупорядкованою структурою водної системи (переважають йони з негативним типом гідратації), визначено, що вміст йону, який спричиняє руйнування структури води  $\text{NO}_3^-$ , призводить до зростання витрати реагенту (10%-ного розчину NaOH) та зменшення ступеня перетворення, у порівнянні з стічними водами, що за хімічним складом відноситься до сульфат Cu-вмісних. Зміна співвідношення  $C_{\text{NO}_3^-} / C_{\text{Cu}^{+2}}$  від 1,5 до 1 зумовлює зміну витратного коефіцієнту від 4 до 1,2, за значенням рН до 4,5, а за рН в інтервалі рН 4,5  $\div$  9,5 – від 1 до 0,32 відповідно.

Для даної категорії стічних вод гальванічного виробництва (кислих металовмісних концентрованих стічних вод після операцій підготовки поверхні) можна рекомендувати реагентне очищення, що включає: хімічне осадження, співосадження з застосуванням залізовмісного коагулянту, лужного реагенту, флокулянта. Витрати лужного реагенту близька до стехіометричних розрахунків ( $B \approx 1$ ), витрата коагулянту відповідає рекомендованій кількості.

Дослідження металовмісних лужних концентрованих стічних вод проводили на прикладі потоку від операцій знежирення. Ця категорія стічних вод характеризується як концентровані за співвідношенням розчинних солей, що вміщують катіони Натрію, Кальцію, а також наявністю значної кількості органічних домішок, зокрема ПАР, тому вони характеризуються неупорядкованою структурою водної системи (переважають йони з негативним типом гідратації). Відтак, вважаємо, що основним завданням оброблення металовмісних лужних стічних вод після операцій підготовки поверхні є нейтралізація, знешкодження домішок органічного походження і вилучення йонів важких металів за допомогою методу хімічного співосадження.

У ході лабораторних досліджень запропоновано схему локального очищення цієї категорії концентрованих стічних вод, яка включає очищення ферумвмісним коагулянтом ( $\text{Fe}_2\text{SO}_4$ ) разом із пероксидом водню  $\text{H}_2\text{O}_2$  у лужному середовищі за значень рН 8 - 12, Eh -0,2  $\div$  -0,3В, що відповідає умовам адсорбції або деструкції органічних речовин на поверхні свіжоутворених пергідроксокомплексів Феруму (II).

На наступному етапі проведено кінетичні дослідження реагентного методу локального очищення відповідних категорії концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в реакторах періодичної дії.

Для визначення витрат реагентів для хімічної стадії процесу осадження побудовані криві потенціометричного титрування лужним реагентом відповідних категорій стічних вод (рис.1).

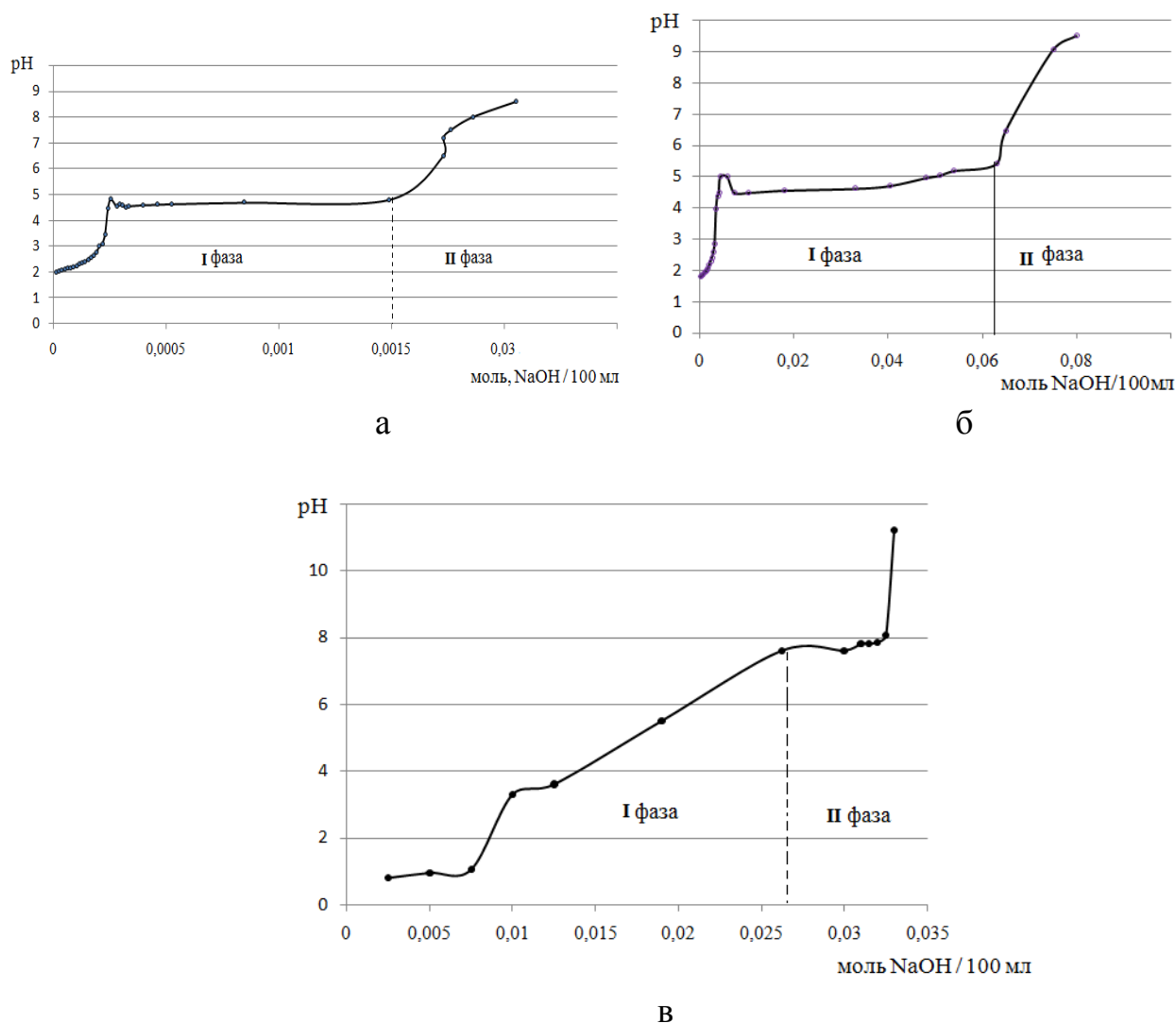


Рисунок 1 – Криві потенціометричного титрування лужним реагентом металовмісних кислих стічних вод: а) після операцій покриття поверхні – розчин сульфатнокислий ( $C_{\text{поч.}}(\text{Cu}^{2+}) = 1000 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{pH} = 2$ ,  $C_{\text{кін.}}(\text{Cu}^{2+}) = 20 \text{ мг/дм}^3$ ); б) після операцій підготовки поверхні – розчин нітратокислий ( $C_{\text{поч.}}(\text{Cu}^{2+}) = 1000 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{pH} = 1,8$ ,  $C_{\text{кін.}}(\text{Cu}^{2+}) = 15 \text{ мг/дм}^3$ ); в) після операції підготовки поверхні з умістом Ферум (II) сульфату ( $C(\text{Fe}^{2+}) = 800 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{pH} = 0,5$ ,  $C_{\text{кін.}}(\text{Fe}^{2+}) = 20 \text{ мг/дм}^3$ )

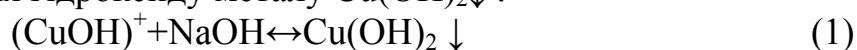
На основі аналізу поданих кривих рис.1 з метою регулювання, вважаємо доцільним хімічну стадію реагентного очищення розділити на дві фази: перша – нейтралізація кислоти; друга – утворення зародків нової фази, утворення пластівців гідроксидів металів. На основі досліджень у роботі рекомендуємо для першої фази регулювання дозування проводити за витратою реагенту, а для другої – за часом.

Витрати реагентів для кожної фази хімічної стадії процесу реагентного очищення зведено у табл. 1.

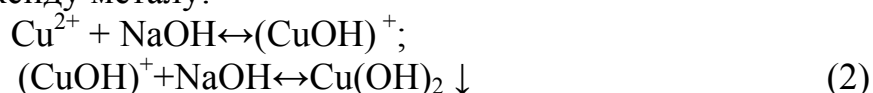
Таблиця 1 – Значення витратних коефіцієнтів лужного реагенту для хімічної стадії реагентного очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в реакторах періодичної дії

№ з/п	Категорія концентрованих стічних вод гальванічного виробництва	Витратний коефіцієнт В,		
		I фаза	II фаза	Значення за загальною витратою, Ефект очищення
1.	Металовмісні кислі стічні води після операцій покриття поверхні – розчин сульфатнокислий (основний йон металу $\text{Cu}^{2+}$ )	0,25	1,5	1,25 Е.О.=99,9%
2.	Металовмісні кислі стічні води після операцій підготовки поверхні – розчин нітратокислий (основний йон металу $\text{Cu}^{2+}$ )	5	1,1	2,8 Е.О.=95%
3.	Металовмісні кислі стічні води після операції підготовки поверхні з умістом Ферум (II) сульфату (основний йон металу $\text{Fe}^{2+}$ )	0,4	1,3	0,93 Е.О.=99,9%

З таблиці 1 слідує, що найменша витрата лужного реагенту на першу фазу необхідна для стічних вод, водна система яких має впорядковану структуру та характеризується тим, що гідратований йон металу  $\text{Cu}^{2+}$  вже існує у формі гідрокссполук  $(\text{CuOH})^+$ , тому лужний реагент витрачається на нейтралізацію кислоти та частково на осадження гідроксиду металу  $\text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$ :



Для нітратнокислих стічних вод витрата лужного реагенту на першій стадії найбільша. Можна вважати, що це пов'язано з тим, що водна система цього розчину характеризується неупорядкованістю через наявність руйнівника структури води  $-\text{NO}_3^-$ . В цьому випадку, лужний реагент необхідний на нейтралізацію кислоти та утворення основної солі і гідроксиду металу:



На другій фазі хімічної стадії реагентного очищення витратний коефіцієнт близький до одиниці для всіх категорій стічних вод.

Далі, в ході кінетичних досліджень, визначено час дозування реагентів для другої фази хімічної стадії реагентного очищення (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати кінетичних досліджень реагентного очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва

№ з/п	Категорія концентрованих стічних вод гальванічного виробництва	Визначені параметри					
		1 фаза		2 фаза		Заг. знач.	
		$Q^1_{\text{NaOH}}$ , л/м <sup>3</sup>	t, сек	$Q^1_{\text{NaOH}}$ , л*/м <sup>3</sup>	t, сек	$Q^1_{\text{NaOH}}$ , л*/м <sup>3</sup>	t, сек
1.	Металовмісні кислі стічні води після операцій покриття поверхні – розчин сульфатнокислий	1,2	1050	28,8	2950	30	4000
2.	Металовмісні кислі стічні води після операцій підготовки поверхні – розчин нітратнокислий	50,4	940	14,8	560	65,2	1500
3.	Металовмісні кислі стічні води після операції підготовки поверхні з умістом ферум (II) сульфату	20	1300	6,6	1700	26,6	3000

Примітка: <sup>1</sup> витрата лужного реагенту вказана у літрах 5%-ного розчину на м<sup>3</sup> оброблюваних стічних вод.

Із аналізу експериментальних даних (табл.2) слідує, що, для розчину з впорядкованою структурою водної системи (категорії металовмісні кислі стічні води після операцій покриття поверхні та металовмісні кислі стічні води після операції підготовки поверхні з умістом ферум (II) сульфату) необхідний більший час дозування реагенту (менша швидкість дозування) ніж для розчину з неупорядкованою структурою водної системи (категорія металовмісні кислі стічні води після операцій підготовки поверхні – розчин нітратнокислий).

Проведені експериментальні дослідження локального очищення відповідних категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в періодично діючій системі апробовані в дослідно-промислових умовах СП ТОВ “Брополь” та ТЗОВ “Завод метизних виробів”.

Запропонована в роботі комбінована система очищення передбачає отримання осадів відповідно до класифікації відходів хімічних підприємств, які відносять до водних шламів класу лужні та змішані органічні та неорганічні. Відповідно до типу класу водних шламів керівництво підприємства обирає методи їх знешкодження та утилізації.

У подальших кінетичних дослідженнях визначено значення енергії активації як показника термодинамічної стійкості системи та визначено константи швидкості хімічної стадії реагентного очищення (хімічне осадження). У ході аналізу отриманих у роботі результатів експериментальних досліджень встановлено, що для стічних вод, у яких переважають йони з позитивним типом гідратації, властива менша енергія активації ( $E_a=61 \div 1167$  кДж/моль) у порівнянні зі значенням енергії активації категорії стічних вод, які вміщують йони з негативним типом гідратації ( $E_a=2326$  кДж/моль). Отримані дані експериментально підтверджують, що для очищення

категорій концентрованих стічних вод, у яких переважають йони з позитивним типом гідратації, термодинамічно вигідним є застосування методу хімічного осадження, наприклад під дією лужного реагенту, а для категорій стічних вод, які вміщують переважно йони з негативним типом гідратації, можна рекомендувати хімічне співосадження наприклад, з застосуванням коагулянту, лужного реагенту та флокулянту.

Розподіл стічних вод гальванічного виробництва на окремі потоки уможлиблює на ґрунті властивостей міжкомпонентної взаємодії оперувати окремими потоками як реагентами, тим самим зменшивши витрати реагентів на очищення. Таким чином, за результатами досліджень представлені схеми (рис. 2 – 4 ) використання окремих потоків стічних вод гальванічного виробництва як хімічних реагентів.

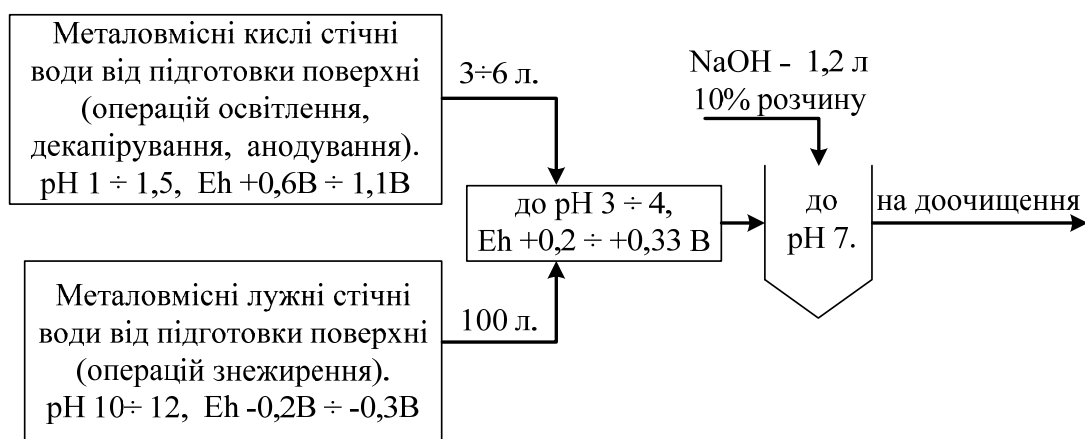


Рисунок – 2 Використання категорії металовмісних кислих стічних вод від підготовки поверхні (операцій освітлення, декапірування, анодування) як хімічного реагенту для очищення металовмісних лужних стічних вод від підготовки поверхні (операцій знежирення)

Використання як хімічного реагенту кислих стічних вод від підготовки поверхні, які вміщують йони металів, дає змогу забезпечити раціональні умови окислення органічних сполук та наступного їх вилучення з лужних стічних вод від операцій знежирення. Це пояснюється тим, що в даних стічних водах присутні йони металів змінної валентності ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  та інші), які забезпечують область ефективного окислення більшості органічних сполук (що знаходяться в лужних стічних водах від операцій знежирення), а саме: за значень рН 3 ÷ 4 та Eh 0,2 ÷ 0,3 В. У присутності в якості каталізаторів йонів металів змінної валентності, окислення органічних речовин супроводжується сорбцією проміжних та кінцевих продуктів реакції на гідроксокомплексах металів, які утворюються при рН >3,5, що додатково знижує їх вміст на 15 – 30% в процесі окислення, таким чином, забезпечуються раціональні умови збільшується ефективність способу очищення.

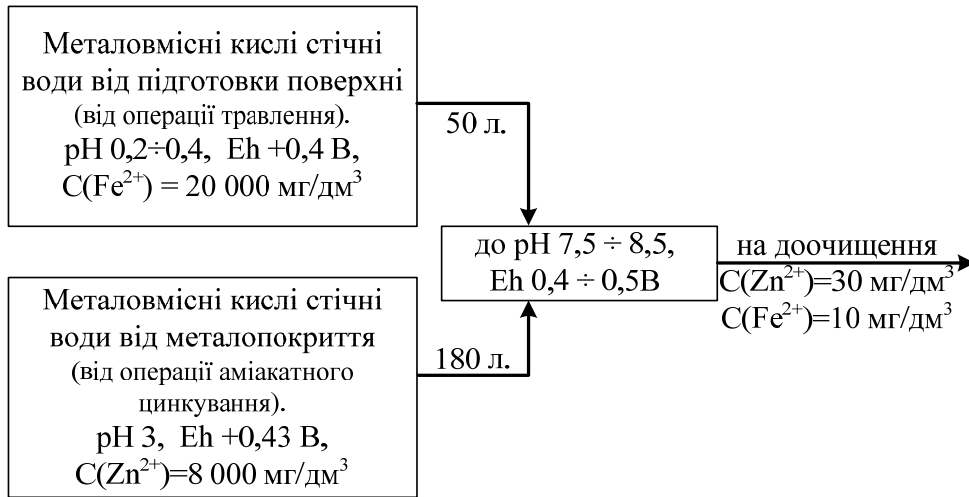


Рисунок – 3 Використання категорії металовмісних кислих стічних вод від підготовки поверхні (від операції травлення) як хімічного реагенту для очищення металовмісних кислих стічних вод від металопокриття (від операції амікатного цинкування)

Використання хімічного реагенту кислих стічних вод від операцій травлення, що вміщують йони феруму дає змогу забезпечити раціональні умови вилучення цинку з комплексних сполук з наступною нейтралізацією лужним реагентом. Це пояснюється тим, що ефективність вилучення цинку з комплексних сполук збільшується при його співсаденні з ферумом. Відомо, що гідроксисполуки феруму чутливі до змін pH та Eh водного середовища, тому регулювання pH  $8$ , Eh  $0,4 \div 0,5$  В є достатнє для його перетворення в нерозчинну форму, а саме форму подвійного оксиду типу  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ . Таким чином забезпечуються раціональні умови процесу та збільшується ступінь очищення.

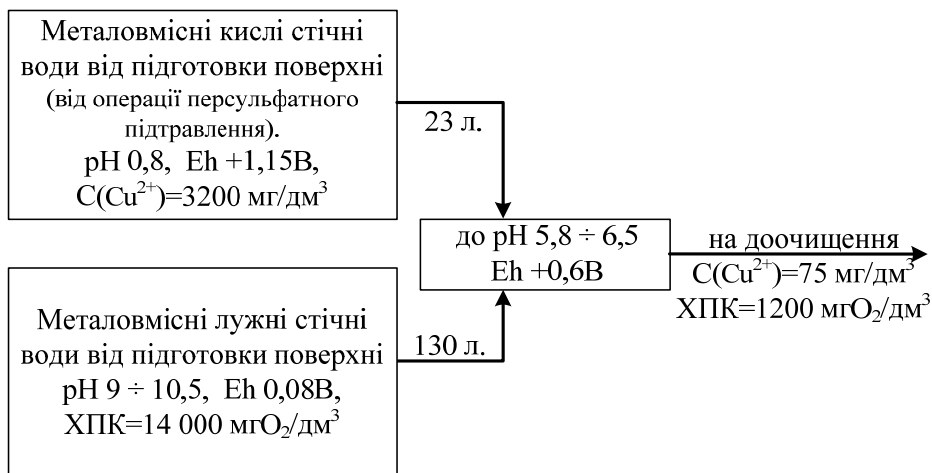


Рисунок – 4 Використання категорії металовмісних кислих стічних вод від підготовки поверхні (від операції персульфатного підтравлення) як хімічного реагенту для очищення металовмісних лужних стічних вод від підготовки поверхні (від операції проявлення фоторезисту)



Використання як хімічного реагенту кислих стічних вод від підготовки поверхні, що вміщує йони купруму, дає змогу забезпечити раціональні умови вилучення йонів купруму та органічних речовин за рахунок утворення металоорганічних сполук та сумісного їх осадження, що присутні у формі нерозчинних сполук. При цьому за рахунок дисперсійних взаємодій забезпечується стійкість структури кристалогідратів утворених комплексами металів з молекулами органічних сполук.

Результати проведених досліджень показали, що використання в якості хімічних реагентів окремих категорій стічних вод зумовлює зменшення витрати товарного реагенту, а відтак зниження додаткового забруднення стічних вод: ефективність очищення за йонами металів складає до 99%. Результати вищеописаних досліджень захищено патентом України на корисну модель.

Установлено, що після локального очищення суміш концентрованих стічних вод гальванічного виробництва різних категорій належить до розведених водних систем із невпорядкованою структурою, концентрація яких менша від  $0,02$  моль/дм<sup>3</sup>, що підлягають спільному доочищенню в централізованій системі неперервного або напівнеперервного режиму із застосуванням коагулянтів, флокулянтів, лужного або кислого реагентів для осадження та співосадження компонентів стічних вод.

Для централізованої системи спільного доочищення концентрованих стічних вод дослідним шляхом визначено наступні технологічні параметри: вихідні значення – рН  $7 \div 8$ , Eh  $0,4 \div 0,3$  В; після коагулювання залізовмісним реагентом ( $\text{FeSO}_4^{2-}$ ) – рН  $6 \div 6,5$ , Eh  $0,25 \div 0,2$  В; після підключення – рН  $9 \div 8,5$ , Eh  $-0,08$ В.

Згідно з комбінованою системою очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва після реагентного очищення у локальних та доочищення у централізованій системах рекомендуємо оброблення на блоці глибокого доочищення з використанням йонообмінних процесів.

Унаслідок проведеного у розділі 3 аналізу фізико-хімічних особливостей процесу йонного обміну в комбінованій системі відзначено, що на його ефективність впливають хімічні реагенти, які залучають для очищення та доочищення (у локальних та централізованій системах) з метою вилучення окремих компонентів (наприклад, такі реагенти, як  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). З огляду на останнє актуальним є експериментальне визначення доцільних умов та параметрів ефективного проходження процесу йонного обміну для вилучення катіонної складових реагентів.

У роботі представлені рекомендації щодо основних технічних параметрів йонообмінних фільтрів та рекомендації щодо оброблення елюатів.

У роботі також досліджено для порівняння ефекту очищення від йонів  $\text{Ca}^{2+}$  та йонів  $\text{Zn}^{2+}$  з та без дозування  $\text{H}_2\text{O}_2$  з визначенням енергії активації. З результатів досліджень слідує, що вилучення йонів Кальцію характеризується меншим значенням енергії активації  $E_a(\text{Ca}^{2+}) = 1,7$  кДж/моль,  $E_a(\text{Zn}^{2+}) = 90,42$  кДж/моль. Таким чином, експериментально обґрунтовано, що процесом йонного обміну більш ефективним є вилучення йонів Кальцію, ніж йонів важких металів.

Результати досліджень доводять, що дозування пероксиду водню перед процесом йонного обміну зменшує ефективність очищення, про що свідчать залишкові концентрації йонів (при дозуванні  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $C(\text{Ca}^{2+}) = 12$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C(\text{Zn}^{2+}) = 4,1$  мг/дм<sup>3</sup>, тоді як без дозування  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $C(\text{Ca}^{2+}) = 0,8$  мг/дм<sup>3</sup>,  $C(\text{Zn}^{2+}) = 0,3$  мг/дм<sup>3</sup>). Внаслідок цього,

застосування реагенту пероксиду водню  $H_2O_2$  перед блоком глибокого доочищення процесом йонного обміну є недоцільним.

У розділі 5 проведено розрахунки техніко-економічного обґрунтування очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва у комбінованій системі. Виконані розрахунки дають підстави стверджувати, що, крім спрощення апаратного оформлення та значного зменшення витрат на реагенти (до 30%), запропонована технологія очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в комбінованій системі має потенційний економічний ефект.

У розділі 6 викладено рекомендації щодо розроблення комбінованої системи очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва.

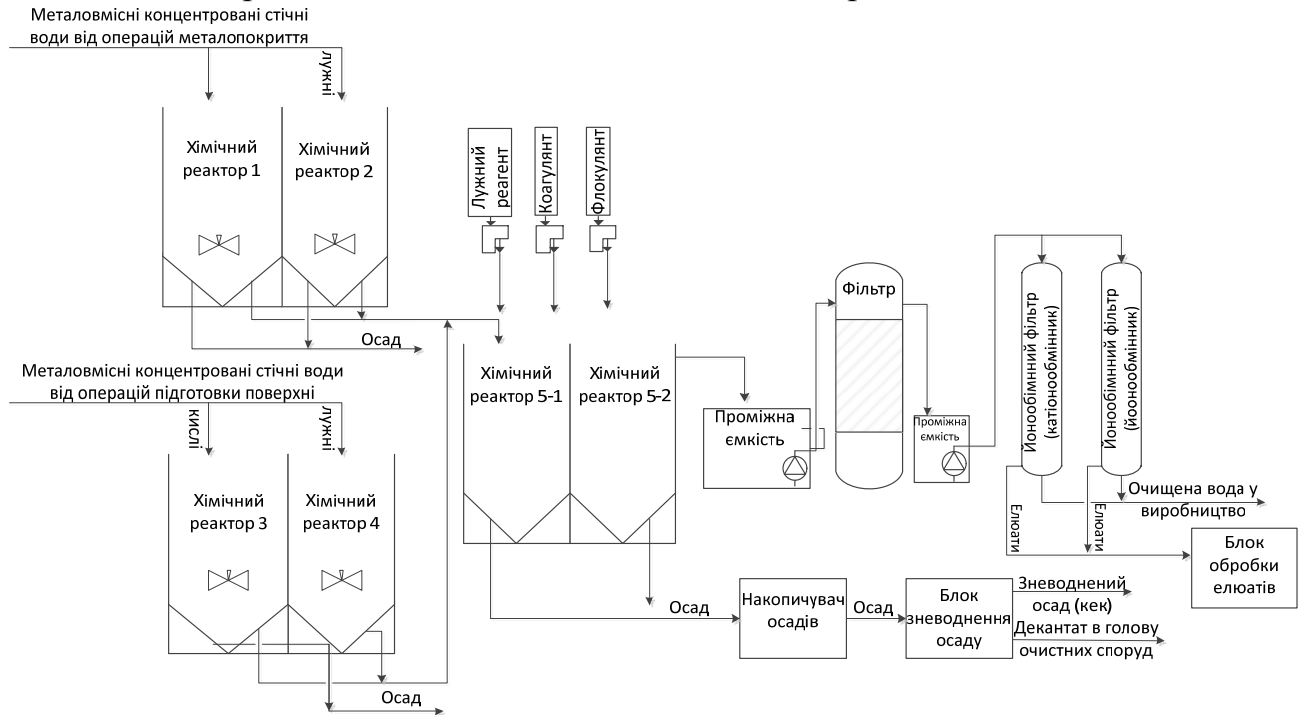


Рисунок – 5 Схема очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в комбінованій системі

Вищеописана комбінована система очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва є типовим рішенням, на основі якого запроєктовано й упроваджено станції очищення на таких підприємствах: м. Броди ТОВ “Бропіль”, м. Макіївка ТОВ “Завод метизних виробів”; про що отримано відповідні акти.

Рекомендована в роботі комбінована система, що забезпечує ефективне очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва, ґрунтується на розподілі стічних вод на потоки з урахуванням хімічної природи окремих компонентів, міжкомпонентного впливу йонів на структуру водної системи та моделі гідратованого йона як елемента цієї системи. За рахунок комбінації періодично діючих локальних систем і неперервно діючих централізованих систем означена схема передбачає реалізацію поетапного очищення з застосуванням постадійного дозування реагентів концентрованих стічних вод, що уможливило досягнення високої та стабільної якості очищення стічних вод гальванічного виробництва.

Крім того, у запропонованій комбінованій системі очищення відображено всі етапи (підсистеми) очищення стічних вод: від формування та накопичення стоку до знешкодження елюатів та осадів, тобто повний цикл очищення з урахуванням зменшення негативного впливу стічних вод на навколишнє середовище.

## ВИСНОВКИ

1. На основі проведених теоретичних та практичних досліджень встановлено, що в промивних водах гальванічного виробництва загальна концентрація електролітів  $m \geq 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>, що дає підставу їх зарахувати до концентрованих водних розчинів. Відповідно до якісних і кількісних змін стічних вод гальванічного виробництва обґрунтовано новий технологічний підхід з метою покращення наявних схем очищення шляхом використання комбінованої системи, яка базується на класифікації концентрованих стічних вод, що дозволяє визначити доцільні методи очищення залежно від структури водної системи, основою якої є гідратований йон; використанні окремих потоків стічних вод як хімічних реагентів (з метою зменшення собівартості очищення); реалізації поетапного дозування реагентів та поетапного очищення (що дозволить забезпечити максимальний ефект очищення концентрованих стічних вод).

2. Розроблено алгоритм визначення доцільної кількості технологічних процесів та їх основних параметрів для очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва. Відповідно до системного підходу QFD елементи комбінованої системи (хімічне осадження, хімічне співосадження, окисно-відновні процеси, процес йонного обміну) представлено у вигляді схем, побудованих за такою послідовністю: характер процесу → тип обладнання → параметри контролю.

3. Обґрунтовано та вперше запропоновано класифікацію концентрованих стічних вод гальванічного виробництва з врахуванням специфіки технології за такими ознаками: за кислотно-основною рівновагою (рН), яка пов'язана з окисно-відновним потенціалом (Eh); за хімічною природою основного йона-метала, типом гідратації, що зумовлює структуру гідратованого йона та системи в цілому (упорядкована та неупорядкована). Таким чином, запропоновано такі категорії концентрованих стічних вод гальванічного виробництва: хромовмісні; металовмісні лужні після підготовки поверхні; металовмісні кислі після підготовки поверхні; металовмісні лужні після покриття; металовмісні кислі після покриття.

4. На основі результатів лабораторних та промислових досліджень визначено основні раціональні значення параметрів реагентного очищення окремих категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва у локальних системах періодичної дії, а саме: витратні коефіцієнти, раціональні значення рН та Eh залежно від вхідного значення основного компонента (йона метала) та структури водної системи розчину.

4.1. для категорії концентрованих хромовмісних стічних вод: для розведених стічних вод ( $C_{\text{поч.}}(\text{Cr}^{6+}) \leq 500$  мг/дм<sup>3</sup> (0,009 моль/дм<sup>3</sup>)) раціональні значення рН і Eh збігаються з даними, наведеними у відповідній літературі, тобто становлять: витратний коефіцієнт  $V \geq 6$  від стехіометричної норми, рН 2,5÷2,7, Eh +0,75В. Для

концентрованих стічних вод ( $C_{\text{поч.}}(Cr^{6+}) = 500 \div 1000 \text{ мг/дм}^3$  ( $0,009-0,02 \text{ моль/ дм}^3$ )) доцільні значення рН  $4,4 \div 6,3$ ,  $E_h +0,16 \div 0,21 \text{ В}$ , витратний коефіцієнт  $V \leq 3$  від стехіометричної норми.

4.2. для категорії кислих металовмісних концентрованих стічних вод після операцій покриття, які характеризуються впорядкованою структурою водної системи, встановлено доцільність використання для їх очищення процесу хімічного осадження, при цьому витратний коефіцієнт  $V$  змінюється від 0,5 до 2,5, в інтервалі концентрацій йонів Нікелю від 1,5 до 0,05 моль/дм<sup>3</sup> відповідно (рН<sub>кін.</sub>  $8,5 \div 9,5$ );

4.3. для категорії лужних металовмісних концентрованих стічних вод після операцій покриття, які відзначаються впорядкованою структурою водної системи, встановлено доцільність використання для їх очищення процесу хімічного осадження, при цьому витратний коефіцієнт змінюється від 0,1 до 1,6, в інтервалі концентрацій йонів Стануму від 0,3 до 0,005 моль/дм<sup>3</sup> відповідно (рН<sub>кін.</sub>  $4 \div 5$ ).

4.4. для категорії кислих металовмісних концентрованих стічних вод після операцій підготовки, яка характеризується невпорядкованою структурою водної системи (переважають йони з негативним типом гідратації), визначено, що вміст йону, який спричиняє руйнування структури води  $NO_3^-$ , призводить до зростання витрати реагенту (10%-ного розчину NaOH) та зменшення ступеня перетворення, у порівнянні з стічними водами, що за хімічним складом відноситься до сульфаткупрум вмісних. Зміна співвідношення  $C_{NO_3^-} / C_{Cu^{+2}}$  від 1,5 до 1 зумовлює зміну витратного коефіцієнту від 4 до 1,2, за рН до 4,5, а за рН в інтервалі рН  $4,5 \div 9,5$  – від 1 до 0,32 відповідно. Для даної категорії стічних вод гальванічного виробництва (кислих металовмісних концентрованих стічних вод після операцій підготовки поверхні) можна рекомендувати реагентне очищення, що включає: хімічне осадження, співосадження з застосуванням залізовмісного коагулянту, лужного реагенту, флокулянту.

4.5. для категорії лужних металовмісних концентрованих стічних вод від операцій підготовки поверхні, яка відзначається невпорядкованою структурою водної системи, а також значним вмістом органічних домішок, зокрема й ПАР, запропоновано ефективну схему очищення: ферумвмісним коагулянтом ( $Fe_2SO_4$ ) разом із окиснювачем ( $H_2O_2$ ) у лужному середовищі за рН 12,  $E_h -0,2 \div 0,3 \text{ В}$ , що відповідає умовам сорбції або деструкції органічних речовин на поверхні свіжоутворених пергідроксокомплексів Феруму (II).

5. Розроблені та експериментально обґрунтовані рекомендації, щодо використання як хімічних реагентів окремих категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва, що зумовлює зменшення витрати товарного реагенту на 40%, а відтак зниження додаткового забруднення стічних вод: ефективність очищення за йонами металів складає до 99%. Результати вищеописаних досліджень захищено патентом України.

6. Обґрунтовано на підставі кінетичних досліджень реагентного очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва у реакторах періодичної дії, наступне:

6.1. для досягнення заданого ефекту очищення й раціональних умов хімічного осадження, як стадії реагентного очищення, без перевитрати або надлишку реагенту

доцільне забезпечення постадійного (двохстадійного) дозування лужного реагенту та його регулювання, а саме:

– для першої стадії рекомендуємо регулювати дозування за витратою. За результатами досліджень визначено рекомендований витратний коефіцієнт лужного реагенту, який складає від 0,25 до 5 від значення стехіометричної норми в залежності від категорії концентрованих стічних вод.

– для другої стадії реакції регулювання рекомендуємо проводити за часом, останній складає від 560 сек. до 2950 сек. в залежності від категорії концентрованих стічних вод.

6.2. теоретично та експериментально обґрунтовано, що для категорій концентрованих стічних вод гальванічного виробництва, у яких переважають йони з позитивним типом гідратації, термодинамічно вигідними є реакції хімічного осадження (відповідає енергія активації процесу осадження лужним реагентом  $E_a=61-1167$  кДж/моль), при цьому витрата реагентів збігається або незначно перевищує стехіометричну норму, а для категорій стічних вод, які вміщують йони з негативним типом гідратації, термодинамічно вигідними є реакції хімічного співосадження ( $E_a=2362 - 3000$  кДж/моль);

7. Установлено, що після локального очищення суміш концентрованих стічних вод гальванічного виробництва різних категорій належить до розведених водних систем із невпорядкованою структурою, що підлягають спільному доочищенню в централізованій системі, для яких визначено такі параметри: вихідні значення – рН  $7 \div 8$ ,  $E_h 0,4 \div 0,3$  В; після коагулювання залізовмісним реагентом ( $FeSO_4^{2-}$ ) – рН  $6 \div 6,5$ ,  $E_h 0,25 \div 0,2$  В; після підлужнення – рН  $9 \div 8,5$ ,  $E_h -0,08$ В.

8. Експериментально підтверджено доцільність використання процесу йонного обміну з метою доочищення від вторинного забруднення оброблюваних стічних вод, наприклад, від іонів  $Ca^{2+}$ , оскільки процес проходить з меншим значенням енергії активації ( $E_a (Ca^{2+}) = 1,7$  кДж/моль тоді як  $E_a (Zn^{2+}) = 90,42$  кДж/моль). Обґрунтовано, що застосування реагенту  $H_2O_2$  перед поданням стічних вод на глибоке доочищення процесом йонного обміну є недоцільним.

9. Рекомендована комбінована система очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва є типовим рішенням, на основі якого запроєктовано й упроваджено станції очищення на таких підприємствах: м. Броди ТОВ “Бропіль”, м. Макіївка ТОВ “Завод метизних виробів”.

10. Економічні розрахунки дають підстави стверджувати, що, крім спрощення апаратного оформлення та значного зменшення витрат на реагенти (до 40%), запропонована технологія очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва в комбінованій системі має потенційний економічний ефект.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у фахових виданнях

1. Яцков М.В. Систематизація процесу знешкодження хромовмісних стічних вод гальванічного виробництва різної концентрації та складу / М.В. Яцков, Н.М.Корчик, С.В. Белікова (С.В.Кирилюк) // Вісник Національного університету водного

господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП, 2008. – Вип. 1(45) – С.54 – 65. *Здобувач провів аналітичний огляд літератури за проблематикою досліджень та систематизацію даних на предмет очищення концентрованих хромовмісних стічних вод гальванічного виробництва.*

2. Яцков М.В. Комплексна схема переробки технологічних розчинів як складна технологічна система та її аналіз / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП, 2007. – Вип. 3 (39) – С.166 – 173. *Здобувач обґрунтувала з точки зору системного аналізу використання комплексної системи для очищення концентрованих технологічних розчинів.*

3. Яцков М.В. Знешкодження хромовмісних стічних вод гальванічного виробництва / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк), О.В. Швець // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — Рівне: НУВГП, 2009. — Вип. 3 (47).ч.2 — С. 193—200. *Здобувач запропонувала математичний алгоритм для визначення доцільної кількості реагенту для відновлення  $Cr^{6+}$  в залежності від початкового значення його концентрації.*

4. Корчик Н.М. Очищення стічних вод гальванічного виробництва (друкованих плат) від органічних домішок / Н.М. Корчик, А.А. Нестер, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Міжнародний науково-технічний журнал. — Хмельницьк, 2009. — Вип. 2 — С. 204—207. *Здобувачем представленні результати досліджень на предмет визначення раціональної технологічної схеми очищення стічних вод гальванічного виробництва від органічних домішок.*

5. Корчик Н.М. Очистка сточных вод гальванического производства с возвратом воды на операции промывки. / Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Водочистка. — Москва, 2010. — Вип.9 — С. 10—15. *Здобувачем представлені результати проведених досліджень на предмет визначення раціональної технологічної схеми та основних технологічних параметрів для очищення стічних вод гальванічного виробництва з метою їх повторного використання. Іноземне видання.*

6. Корчик Н.М. Накопичення та формування стоку при очищенні стічних вод гальванічного виробництва. / Н.М. Корчик, А.А. Нестер, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Прецизійні вимірювання та новітні технології. — Хмельницьк, 2012. — Вип. 1 (54). — С. 152 — 156. *Здобувачем розглянуто проблему очищення стічних вод гальванічного виробництва залежно від накопичення та формування стоку, запропоновано новий підхід до формування стоку.*

7. Корчик Н.М. Електрохімічні процеси в технологіях переробки відпрацьованих технологічних розчинів гальванічного виробництва. / Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк), О.Р. Швець // Вісник Національного університету водного

господарства та природокористування. — Рівне: НУВГП, 2011. — Вип. 3 (55). — С. 165 — 173. *Здобувачем проведено дослідження на предмет використання електрохімічних процесів в технології очищення відпрацьованих травильних розчинів гальванічного виробництва.*

8. Яцков М.В. Фізико-хімічні особливості процесу йонного обміну в комбінованих системах очищення стічних вод гальванічного виробництва / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — Рівне: НУВГП, 2013. — Вип. 3 (63). — С. 101 — 107. *Здобувачем розглянуто процес йонного обміну як головної та побічної підсистеми комбінованої схеми очищення та запропонований раціональний спосіб використання процесу йонного обміну у комбінованій системі для ефективного очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва.*

9. Яцков М.В. Добування літію із природних, промислових та стічних вод / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк), О.А. Пророк // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — Рівне: НУВГП, 2014. — Вип. 2. Технічні науки. — С. 254—264. *Здобувачем запропонована раціональна технологічна схема добування літію з природних та промислових стічних вод.*

10. Яцков М.В. Кінетичні дослідження йонного обміну в системі “йоніт-розчин” при очищенні стічних вод гальванічного виробництва / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Кирилюк // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — Рівне: НУВГП, 2014. — Вип.2. — С. 248— 255. *Здобувачем представлені результати проведених досліджень на предмет визначення кінетичних параметрів очищення стічних вод гальванічного виробництва методом йонного обміну.*

11. Корчик Н.М. Параметры технологического процесса обработки фторборсодержащих отработанных технологических растворов / Н.М. Корчик, А.А. Нестер, С.В. Кирилюк // Прикладана екологія. Урбаністика. Вісник Пермського науково-дослідного політехнічного університету. — Перм, 2014. — Вип. 4(16). — С. 107. *Здобувачем представлені результати досліджень на предмет визначення раціональних параметрів процесу очищення фтор борвмісних відпрацьованих травильних розчинів. (Входить до РИНЦ)*

12. Корчик Н.М. Комбинированная схема очистки сточных вод гальванического производства / Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В.Кирилюк) // Водоочистка. — Москва, 2012. Вип.4 — С. 27 —315. *Здобувачем запропоновано раціональну для очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва комбінованій систему. Іноземне видання.*

13. Яцков М.В. Development of technology for recycling the liquid iron-containing wastes of steel surface etching / Яцков М.І., Корчик Н.М., Буденкова Н.М., Кирилюк

С.В., Пророк О.В. // Східно-європейський журнал передових технологій — Харків 2017. — Вип.2/6 (86) — С. 70–77. *Здобувачем запропоновано новий технологічний підхід щодо регенерації ферумовмісних травильних рочинів, на основі проведених досліджень окисно-відновних властивостей відпрацьованого травильного розчину* (Входить до бази Scopus)

#### Патенти

14. Патент № 76053 Україна, МПК C02F 9/04. Спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва / Корчик Н.М., Яцков М.В., Белікова С.В. (Кирилюк С.В.); заявник і власник патенту НУВГП. – № u 2012 06086; заявл. 21.05.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. №24. – 4с.

#### Тези доповідей

15. Белікова С.В. Математична модель управління процесом знешкодження концентрованих технологічних розчинів гальванічного виробництва / С.В. Белікова (Кирилюк С.В.), Н.М. Корчик, М.В. Яцков // Міжнародна студентська конференція, присвячена 85-ти річчю НУВГП: збірник наукових праць, 2007р., Рівне, Україна. – Рівне: НУВГП, 2007. – С.27–30.

16. Яцков М.В. Формування регулюючого впливу на комбіновані системи очистки стічних вод. / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях: збірник тез I науково-технічної конференції, 12–16 травня 2008 р., Черкаси, Україна. – Черкаси: Черкаський ЦНТЕІ, 2008. – С.32–46.

17. Яцков М.В. Розробка окремих варіантів систем знешкодження хромвмісних стічних вод / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Актуальні проблеми водного господарства та природокористування: збірник наукових праць, 2009 р., Рівне, Україна. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 3 (47).ч.2 – С. 227–234.

18. Яцков М.В. Математичне моделювання процесу очищення хромовмісних стічних вод гальванічного виробництва / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і сталий розвиток: збірник тез II-гої науково практичної конференції, 12-15 травня 2010 р., Київ, Україна. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010. – С.163 – 164.

19. Корчик Н.М. Очищення стічних вод гальванічного виробництва / Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Сотрудничество для решения проблемы отходов: збірник тез доповідей VII-ої міжнародної конференції, 7-8 квітня 2010 р., Харків, Україна. – Харків: Х, 2010. – С.143–144.

20. Белікова С.В. (С.В. Кирилюк) Визначення умов автоматичного керування процесу знешкодження стічних вод гальванічного виробництва/ С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Екологія. Людина. Суспільство: збірник статей XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 19 – 23 травня 2010 р., Київ, Україна – Київ: КПІ, 2011. – С.105–106

21. Яцков М.В. Очищення стічних вод гальванічного виробництва та виробництва друкованих плат з поверненням води в технологічний цикл на операції промивання. / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // КАЗАНТИП-ЕКО2011. Інноваційні шляхи вирішення проблем базових галузей, екології, енерго- і ресурсозбереження: збірник праць IX міжнародної науково-практичної конференції,



6–10 червня 2011 р., г.Щелкино, АР Крим. – УкрГНТЦ “Енергосталь”. – Харків: <НТМТ>, – Т.3. – С.48-56.

22. Белікова С.В. (С.В. Кирилюк) Комбінований метод доочищення стічних вод гальванічного виробництва. / С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Екологія. Людина. Суспільство: збірник статей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 18-22 травня 2011 р., Київ, Україна – Київ: КПІ, 2011. – С.125–127

23. Корчик Н.М. Математичне моделювання системи очищення стічних вод гальванічного виробництва у хімічному реакторі періодичної дії. / Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк), О.В. Швець // Математичні методи в техніці та технологіях: збірник доповідей XXV міжнародної науково-технічної конференції, 24-26 квітня 2012 р., Саратов, Росія – Саратов: Наука, 2012. – С. 191–193

24. Яцков М.В. Фізико-хімічні особливості процесу йонного обміну в технології очищення стічних вод гальванічного виробництва. / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Белікова (С.В. Кирилюк) // Сучасні проблеми та шляхи їх рішення в науці, транспорті, виробництві і освіті 2012: збірник тези міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 18-27 грудня 2012 м. Одеса, Україна – Одеса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 41 – 47. (Режим доступу [www.sword.com.ua](http://www.sword.com.ua).)

25. Яцков М.В. Технологические особенности очистки сточных вод хромсодержащих примесей / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Кирилюк // Поліфункціональні хімічні матеріали та технології: збірник наукових праць всеросійської конференції з міжнародною участю, 21–23 листопада 2013 р., Томск, Росія – Томск, Изд. ДомТГУ 2013. – С. 185 – 186.

26. Кирилюк С.В. Кінетичні дослідження процесу реагентного очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва розчинів / С.В. Кирилюк, Н.М. Корчик, Н.М. Буденкова // Фундаментальні та прикладні дослідження в сучасній хімії: збірка матеріалів II міжнародної заочної науково-практичної конференції молодих учених, 10 квітня 2015 р., Ніжин, Україна– Ніжин: НДУ ім. Миколи Гоголя, 2015. – С. 107–110.

27. Яцков М.В. Доочищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва процесом йонного обміну / М.В. Яцков, Н.М. Корчик, С.В. Кирилюк // Львівські хімічні читання: збірка наукових праць XV наукової конференції, 24–27 травня 2015р., Львів, Україна – Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2015. – С. 75.

28. Корчик Н.М. Гальваностоки в технології очищення стічних вод деревообробної промисловості/ Н.М. Корчик, Н.М. Буденкова, С.В. Кирилюк // Інноваційний потенціал світової науки - XXI сторіччя: збірник наукових праць XXXV- всеукраїнської науково-практичної конференції , 13 – 17 жовтня 2015р., Запоріжжя, Україна – Запоріжжя: ПГА, 2015 – С. 21–22.

29. Кирилюк С.В. Гальваностоки – як реагенти в технології очищення рідких металовмісних відходів/ С.В. Кирилюк // збірник наукових праць VI міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології, 20–22 квітня 2016р., Київ, Україна – Київ:КПІ, 2016 – С.174.

30. Яцков М.В. Оптимальне дозування реагентів при очищенні концентрованих стічних вод гальванічного виробництва у системах періодичної дії / М.В. Яцков,

Н.М. Корчик, С.В. Кирилюк // Актуальні проблеми хімії і хімічної технології: матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції, 21 – 23 листопада 2016 р., Київ, Україна – Київ: НУХТ, 2016. – С. 227–229.

### АНОТАЦІЯ

Кирилюк С.В. Очищення концентрованих стічних вод гальванічного виробництва у комбінованій системі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.21 – технологія водоочищення. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». МОН України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена обґрунтуванню заходів щодо удосконалення наявних схем очищення стічних вод гальванічного виробництва шляхом впровадження комбінованої системи, яка базується на: класифікації концентрованих стічних вод, що дозволяє визначити доцільні методи очищення залежно від структури водної системи, основою якої є гідратований йон; використанні окремих потоків стічних вод як хімічних реагентів (з метою зменшення собівартості очищення); реалізації поетапного дозування реагентів та поетапного очищення (що дозволить забезпечити максимальний ефект очищення концентрованих стічних вод).

Обґрунтований розподіл концентрованих стічних вод гальванічного виробництва на окремі категорії за такими ознаками: за кислотно-основною рівновагою (рН); за хімічною природою основного йона-метала, типом гідратації, що зумовлює структуру гідратованого йона та системи в цілому. Відповідно до розподілу обґрунтовані рекомендації щодо їх використання як хімічних реагентів.

Визначені раціональні значення параметрів (рН, Eh, витратні коефіцієнти, час оброблення, спосіб регулювання процесом очищення) для ефективного очищення концентрованих стічних вод на кожній стадії комбінованої системи у локальних системах (періодичної дії) окремих категорій концентрованих стічних вод та централізованих спорудах (неперервної, напівнеперервної дії) для їх спільного доочищення і глибокого доочищення методом йонного обміну.

Ключові слова: концентровані стічні води, гальванічне виробництво, гідратація, системи очищення, витратний коефіцієнт, періодична система, осадження, співосадження.

### АННОТАЦИЯ

**Кирилюк С.В. Очистка концентрированных сточных вод гальванического производства в комбинированной системе. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.21 - технология водоочистки. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского». МОН Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена обоснованию мероприятий по совершенствованию имеющихся схем очистки сточных вод гальванического производства путем

внедрения комбинированной системы, которая базируется на: классификации концентрированных сточных вод, которая позволяет определить целесообразные методы очистки в зависимости от структуры водной системы, основой которой является гидратированный ион; использовании отдельных потоков сточных вод как химических реагентов (с целью уменьшения себестоимости очистки) реализации поэтапного дозирования реагентов и поэтапной очистки (что позволит обеспечить максимальный эффект очистки концентрированных сточных вод).

Обоснованное распределение концентрированных сточных вод гальванического производства на отдельные категории по следующим признакам: по кислотно-основному равновесию (рН), по химической природе основного иона-метала, типом гидратации, что приводит структуру гидратированного иона и системы в целом. В соответствии с распределением обоснованные рекомендации по их использованию в качестве химических реагентов.

Определены рациональные значения параметров (рН, Eh, расходные коэффициенты обработки, способ регулирования процессом очистки) для эффективной очистки концентрированных сточных вод на каждой стадии комбинированной системы в локальных системах (периодического действия) отдельных категорий концентрированных сточных вод и централизованных сооружениях (непрерывного, полунепрерывного действия) для их совместной доочистки и глубокой доочистки методом ионного обмена.

Ключевые слова: концентрированные сточные воды, гальваническое производство, гидратация, системы очистки, затратный коэффициент, периодическая система, осаждения, соосаждения.

## ANNOTATION

**Kirilyuk S.V. Purification of concentrated sewage of galvanic production in a combined system.** - Manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences in the specialty 05.17.21 - technology of water purification. - National Technical University 21 of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky". Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

It was conducted the analysis of qualitative and quantitative composition of sewage of galvanic production in the last 30 years, and according to the results of which it is evident that wastewater of galvanic production from washing operations should be considered as concentrated solutions where the total concentration of electrolytes is  $\geq 0,02$  mol / dm<sup>3</sup>. It is shown that in the conditions of quantitative and qualitative changes the existing purification systems do not always justify technological, economic and practical expediency of their use. Therefore, a new technological approach is proposed in order to improve existing purification systems by using a combined system based on:

- classification of concentrated waste water (which allows to determine the appropriate purification methods depending on the structure of the water system, the basis of which is hydrated ion);

- the use of separate streams of sewage as chemical reagents (in order to reduce the cost of cleaning);
- phased implementation dispensing of reagents and the phase of cleaning (which will provide the maximum effect of concentrated waste water purification).

Thus, the proposed combined system of purification of concentrated wastewater of galvanic production involves a combination of local, periodically operating systems for the purification of divided into separate categories of concentrated sewage and a centralized continuous system for their joint purification.

The classification of concentrated waste water of the galvanic production is theoretically grounded on the basis of: the technological operation (coating or surface preparation); by the acid-basic equilibrium (pH) associated with the oxidation-reducing potential (Eh); by the chemical nature of the basic ion-metal, type of hydration, which determines the structure of the hydrated ion and the system as a whole (ordered and disordered): chromium-containing; metal-containing alkali after preparation of a surface; metal-containing sours after surface preparation; metal-based alkali after coating; metal-containing sours after coating. On the basis of properties of inter-component interaction, the proposed distribution makes it possible to reduce the cost of reagents and to operate with separate streams as reagents. According to the QFD method, the elements (the main processes: chemical deposition and co-precipitation, oxidation-reducing processes, ion exchange process) of the combined system are presented in the form of schemes constructed according to the following sequence: nature of the process → type of equipment → control parameters. It was conducted the research of heterogeneous equilibrium in the system "ionite - solution", which theoretically proved that the use of ion exchange as a adverse subsystem in combined systems of sewage treatment of galvanic production provides a significant reduction in the volume of eluates.

It is proved that, based on the kinetic studies of the sedimentation process with an alkaline reagent, it is expedient to provide a fast (two-stage) dosage of the alkaline reagent and its regulation, in order to achieve the desired purification effect and optimum conditions of deposition without excessive or excess reagents. Developed and experimentally grounded recommendations on the use of chemicals as certain categories of concentrated wastewater galvanic production, which leads to cost reduction reagent trade by 40%, thus reducing additional contamination of waste water, cleaning efficiency for metal ions up to 99%.

Made the calculations of the feasibility study of the proposed recommendations for improving the existing cleaning schemes for the implementation of the combined system as a result of the calculations were made - the cost of cleaning will be reduced by 13,5 UAH / m<sup>3</sup>.

Key words: concentrated waste water, galvanic production, hydration, purification systems, expense factor, periodic system, deposition, deposition coincidence.