

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ**

УДК 502.3; 502.6; 504.064.4; 504.056



НЕСТЕР АНАТОЛІЙ АНТОНОВИЧ

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ
БЕЗПЕКИ ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі будівництва та цивільної безпеки Хмельницького національного університету Міністерства освіти і науки України

**Науковий
консультант:**

доктор технічних наук, професор
Погребенник Володимир Дмитрович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
професор кафедри екологічної безпеки та
природоохоронної діяльності

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Петрук Василь Григорович,
Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля
Вінницького національного технічного університету,
директор, Заслужений Природоохоронець України

доктор технічних наук, професор
Ремез Наталя Сергіївна,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”
ім. Ігоря Сікорського
професор кафедри геоінженерії

доктор технічних наук, доцент
Сакалова Галина Володимирівна,
Вінницький державний педагогічний університет ім.
М. Коцюбинського,
професор кафедри хімії та методики навчання хімії

Захист відбудеться *24 лютого 2021 р. о 10.00 годині* на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2 та на сайті www.dea.edu.ua.

Автореферат розіслано “23” січня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01



Т.Г. Івашенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Водні екосистеми України зазнають постійного антропогенного навантаження, незважаючи на зниження обсягів промислового виробництва. Щорічно промисловістю скидається понад 500 млн. м³ забруднених неочищених вод. Постійно знижується потужність очисних споруд. За теперішніх технологій очищення води відбувається накопичення на виробничих та енергетичних об'єктах високотоксичних шламів, котрі не підлягають захороненню і вимагають затратних технологій перероблення, на які часто не вистачає коштів для закупівлі обладнання.

Основними джерелами забруднень довкілля радіоелектронною промисловістю є гальванічне виробництво і виробництво друкованих плат.

Європейські дослідницькі інститути та центри, що займаються розвитком технологій, обладнання та матеріалів для виробництва друкованих плат представлено такими організаціями: Frauhofer, IZM AT&S, Schweizer, Viasystem, TTM, Multek, Samtek, Polar, EIE, Isola, Atotech, Taiyo America, Ventec, MEC, Circuit Foil, DuPont. У всіх перерахованих передових фірмах основні етапи виготовлення плат аналогічні етапам, що використовують в Україні, зокрема: підготовка поверхні, формування та травлення рисунка, металізація отворів, коректування розмірів.

Основним підприємством, що забезпечує спеціальним технологічним устаткуванням виробництво друкованих плат є ПАТ “Завод Темп”, розташований в м. Хмельницькому, ТОВ “НПП Спецтехобладнання” та декілька невеликих цехів, які суттєво збільшують парк обладнання в Україні.

Сучасне виробництво друкованих плат в Україні представлено підприємствами серед яких: АТ НПО “ЭТАЛ” м. Кіровоград, який випускає біля 4-5 тис.м² плат, маючи потужності для випуску 50000 м² плат, ДП “Гальванотехніка” ПАТ “Київського заводу “Радар”, ПАТ Новатор (м. Хмельницький) з випуском в межах 0,9 тис м², ПАТ “Концерн-Електрон” – 0,8 тис м². Це означає, що тільки одне підприємство, яке виробляє плати, може скинути з стічними водами за рік 5-6 т міді, що явно не веде до поліпшення екологічної обстановки навколо нього. До 1992 р. тільки в Києві скидалось зі стічними водами більше 20 т міді щорічно. Завод Електронмаш щорічно травив ≈15000 м² плат (а це веде до виділення 7500 кг міді).

Нині актуальними є проблеми очищення води від іонів важких металів в гальванічних виробництвах та виробництві плат. Поширені реагентні технології вилучення цих металів з води не забезпечують необхідної ефективності очищення води для її повторного використання, призводять до утворення шламів, які продовжують накопичуватись на територіях підприємств. Ці технології є застарілі, не вирішують питання утилізації відходів, вимагають модернізації, негативно впливають на екологічний стан ґрунтів та водних об'єктів.

Тому нині актуальною та життєво необхідною проблемою є розвиток теоретичних основ створення нових технологій гальванічного виробництва та друкованих плат, які підвищать їх екологічну безпеку, значно зменшивши забруднення довкілля відходами, що є підґрунтям для створення умов зниження негативних наслідків їх техногенного впливу на довкілля та раціонального використання природних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконували відповідно до науково-дослідної роботи “Розробка екологічно чистої технології утилізації стічних вод виробництва плат та гальваніки” (2014 р, шифр роботи 16–2014 ТС, номер держреєстрації 0114U007394) та пов'язана з темами “Розробка екологічно чистої технології вилучення з води та утилізації важких металів” (№2192), та відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 21.08.2000р. № 1291 “Про затвердження конвенції зменшення об'єму викидів важких металів”.

Ідея роботи полягає у зменшенні забруднення довкілля відходами гальванічного виробництва та друкованих плат створенням нових екологічно безпечних технологій.

Мета роботи – розвиток теоретичних основ нових екологічно безпечних технологій гальванічного виробництва та друкованих плат для зменшення негативного впливу небезпечних відходів на навколишнє середовище, що забезпечують раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– проаналізувати статистику накопичення відходів гальванічного виробництва, а також сучасний стан науково-технічного забезпечення технологій та виявити шляхи зменшення шкідливого екологічного впливу їх наслідків на довкілля і життєдіяльність людей;

– дослідити ризики та небезпечні чинники з виявлення впливу відходів гальванічного виробництва на стан ґрунтів в місцях їх збереження;

– створити новий, екологічно безпечний технологічний процес та устаткування для гальванічного виробництва, що забезпечує раціональне використання природних ресурсів, дає змогу додержати нормативи шкідливих впливів на довкілля;

– виконати дослідження для визначення складу компонентів травильного розчину лінії травлення плат, який дозволяє забезпечити збалансовані показники швидкості травлення та одночасного відновлення відпрацьованого розчину без скидів у навколишнє середовище;

– виконати експериментальні дослідження з виявлення впливу відходів гальванічного виробництва на стан ґрунтів в місцях їх збереження;

– розробити математичні моделі металізації плат з відпрацьованих розчинів;

– розробити наукові засади безпечної технології перероблення шкідливих речовин стічних вод від травлення друкованих плат, що дають змогу додержати нормативи шкідливих впливів на довкілля та підвищення екологічної безпеки;

– створити математичну модель процесу фільтрування стічних вод;

– розробити наукові рекомендації та визначити кількісні показники впливу шламів від процесів виготовлення плат та гальваніки на навколишнє середовище та впровадити засоби підвищення рівня екологічної безпеки у виробництво за рахунок зменшення їх кількості.

Об'єкт дослідження – процеси забруднення довкілля, зумовлені зберіганням на території підприємств відходів гальванічного виробництва, екологічна безпека процесу очищення відпрацьованих водних розчинів ліній виготовлення друкованих плат, гальванічних цехів та стічних вод.

Предмет дослідження – оцінювання впливів на навколишнє природне середовище відходів ліній виготовлення друкованих плат, гальванічних виробництв та управління їх екологічною безпекою.

Методи дослідження. Для досягнення визначеної мети та вирішення поставлених завдань використано теоретичні й експериментальні методи. У роботі застосовано комплексний системний підхід, який містить аналіз накопичення відходів, їх вплив на ґрунти та підземні води в місцях зберігання, планування проведення експериментальних робіт, аналітичні та експериментальні методи визначення впливу стічних вод на стан навколишнього середовища.

Під час виконання досліджень в роботі використано методи хімічного аналізу, математичного моделювання, масоперенесення. Методи математичної статистики застосовували для опрацювання одержаних експериментальних даних, оцінювання їх достовірності та відтворюваності, визначення результатів експериментального дослідження, зокрема, для дослідження динаміки поширення елементного складу у ґрунтах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку теоретичних основ нового екологічно безпечного устаткування для гальванічних технологічних процесів, що забезпечують раціональне використання природних ресурсів і дотримання норм безпечних впливів на довкілля природоохоронними системами постійного очищення, повторного використання металовмісних стічних вод гальванічного виробництва та друкованих плат. При цьому:

уперше:

- оцінено вплив забруднення ґрунтів на території складування відходів гальванічного виробництва та друкованих плат на основі аналітичного рішення Карслоу-Егера, і показано, що за один рік верхній шар ґрунту товщиною в 0,5 м перейде в категорію слабо засолених, а через 10 років сольовий профіль досягне глибини 1,5 м, що призведе до знищення живих ґрунтових організмів упродовж довгих років і після ліквідації складів зберігання шламів;

- запропоновано теоретичні засади створення екологічно безпечної технології отримання міді зі стічних вод оптимізацією параметрів технологічного процесу підтриманням комплексу характеристик, зокрема, водневого показника рН, окисно-відновного потенціалу E_h та нових конструкцій титанових електродів з полірованою поверхнею для стабільності технологічного процесу, що забезпечує отримання до 1000 кг мідної сировини на одній установці для переплавки та використання як провідникового матеріалу та покращення сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки більше ніж в 5 разів (з 0,012 до 0,061) без скидів стічних вод у навколишнє середовище;

- оптимізовано методами факторного експерименту склад компонентів травильного розчину, який за своїми характеристиками дає змогу забезпечити збалансовані показники швидкості процесу та одночасного відновлення відпрацьованого розчину без скидів у довкілля;

- встановлено, що використання нової запропонованої технології обробки стічних вод призводить до зростання сумарного індексу небезпеки шламу з вмістом міді від травлення друкованих плат, відповідно, з 0,7575 до 100, а зменшення складування шламів на території підприємства досягає 2000-2100 кг на місяць

для окремого підприємства, що створює умови до покращення екологічної обстановки в районі розміщення гальванічного виробництва;

- обґрунтовано можливість використання електрохімічних методів для визначення товщини покриттів оловом на мідній основі, що дає змогу автоматизувати процес виготовлення друкованих плат без скидів відпрацьованого розчину, а відтак – без утворення шламів, а також здійснювати контроль всіх етапів процесу утилізації відходів, і забезпечує її інтегрування у загальну систему забезпечення екологічної безпеки;

- удосконалено підходи до створення установок з псевдозрідженим шаром струмонепровідних частин для очищення промивних стічних вод з малими концентраціями шкідливих речовин до 0,002-0,005 г/л, використання яких запобігає формуванню високотоксичних речовин і сприяє забезпеченню екологічної безпеки;

- розроблено математичні моделі металізації плат з відпрацьованих розчинів з використанням методу інтегральних рівнянь для процесу електроосадження міді з розчинів сірчанокислого, борофтористоводневого, пірофосфатного і етилендіамінового електролітів, що забезпечують усунення скидів стічних вод у навколишнє середовище;

набуло подальшого розвитку:

- науковий підхід до створення математичної моделі процесу фільтрування стічних вод з постійною і змінною концентрацією домішок через пористі середовища із спадною швидкістю, що дає змогу мінімізувати негативний вплив рідких скидів у водні об'єкти та утворення шламів до 1кг/добу з розрахунку скидів стічних вод один раз в 2-3 місяці.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблено і практично реалізовано дієві методи управління екологічною безпекою об'єктів виготовлення друкованих плат та гальваніки, спрямовані на раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля, а саме:

- розроблено схемотехнічні рішення на технологічну лінію для повторного використання стічних вод;

- розроблено методику отримання металу з стічних вод, яку застосовано у виробництві провідникової продукції;

- досліджено небезпечний вплив шламів на ґрунти та підземні води на територіях підприємств;

- розроблено метод очищення промивних вод з малими концентраціями шкідливих речовин за остаточної концентрації металу в промивній воді в межах 0,002-0,005 г/л;

- розроблено метод та досліджено процес металізації плат металом, виділеним зі стічних вод.

Установки та окремі лінії, розроблені на основі досліджень, захищено патентами України, забезпечено конструкторською документацією та поставлено промисловим підприємствам, що дозволить суттєво зменшити скиди в навколишнє середовище та сприяє забезпеченню екологічної безпеки (копії патентів подано в додатку).

Окремі установки та обладнання впроваджено в ТОВ “НПП Спецтехобладнання”, ДП “Новатор”, ПАТ “Укрелектроапарат”, ПАТ Завод “Темп”, ПП “Ремаатоменерго”.

У додатках подано рекомендований розрахунок характеристик установки відновлення водних розчинів для повторного використання. Використання в реальних умовах розробленої технологічної установки-електролізера для відновлення промивних вод травлення, операцій кадміювання з концентрацією шкідливих речовин 2-3 г/л дозволяє на практиці реалізувати запропоновану технологію з метою забезпечення екологічної безпеки.

Розроблені рішення системи управління екологічною безпекою та процесу утилізації відходів можна використати при розробленні систем поводження з шкідливими речовинами в різних регіонах України.

Розроблено математичну модель процесу фільтрування, яка послужить для подальшого розвитку теорії фільтрування та її застосування в реальних умовах. Застосування фільтраційних схем дасть змогу зменшити забруднення водних ресурсів і зовнішнього середовища, що забезпечить підвищення екологічної безпеки.

Результати дисертаційних досліджень зі створення екологічно безпечних процесів утилізації небезпечних відходів гальванічних процесів використовуються в навчальному процесі Хмельницького національного університету в нормативних дисциплінах “Основи екології та промекології”, “Охорона праці та утилізація відходів”.

Впровадження результатів дослідження підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача: Дисертація базується на матеріалах науково-дослідних робіт, які були виконані автором безпосередньо або під його науковим керівництвом впродовж 1999 – 2020 рр. Постановка задач, проведення досліджень, опрацювання та аналіз одержаних результатів виконано особисто здобувачем, або під його керівництвом. Теоретичні узагальнення, висновки та рекомендації виконано автором безпосередньо.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи представлено на конференціях: 6 міжнародній науково-практичній конференції “Наука і освіта 2003” (Дніпропетровськ-Донецьк-Харків, 2003 р.); 2-й міжнародній науково-практичній конференції “Динаміка наукових досліджень 2003” (Дніпропетровськ-Черкаси-Одеса, 2003 р.); міжнародній українсько-польській конференції “Механіка та інформатика” (м. Хмельницький, 2004 р.); 8 міжнародній науково-практичній конференції “Наука і освіта 2005” (Дніпропетровськ, 2005 р.); міжнародній науково-практичній конференції “Полігони твердих побутових відходів. Проблеми управління та екологічного регулювання” (Яремче Івано-Франківська обл., 2008 р.); міжнародній конференції III Konferencja Ochrona i inzynieria Srodowiska-zgownowazony rozwoj”. Akademia Gorniczo-Hutnicza im. Stanislawo Staszica (Краків, 2008 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції: “Вода: проблеми и решения” (Дніпропетровськ, 2009 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Екологічна безпека держави” (Київ, 2011 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України” (Полтава, 2011 р.); VII Міжнародній науковій конференції “Фальцфейнівські читання” (Херсон, 2011 р.); Всеукраїнській науково-практичній

конференції “Екологічна безпека держави” (Київ, 2012 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України” (Полтава, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Актуальні питання енергозбереження як вимога безпеки життєдіяльності” (Київ, 2018 р.), I Всеукраїнській науковій конференції. “Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України” (Миколаїв, 2018 р.); XVI Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми екологічної безпеки” (Кременчук, 2018 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції “Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи” (Київ, 2019 р.); VII Всеукраїнському з’їзді екологів з міжнародною участю (Вінниця, 2019 р.) 5 Міжнародній конференції “Високочисті матеріали: отримання, застосування, властивості” (Харків, 2019 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми екології та енергозбереження”, (Миколаїв 2019 р.), XVII Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми екологічної безпеки” (Кременчук, 2019 р), V Міжнародній науково-практичній конференції “Енергетична безпека навколишнього середовища” (Луцьк 2019 р), Всеукраїнській науково-практичній конференції “Геодезія та землеустрій: Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку” (Харків 2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Иновационные материалы и технологии» ИМТ-2020 (Мінськ, 2020 р), Міжнародній науково-методичній конференції “Экологическое образование и устойчивое развитие. Состояние, цели, проблемы и перспективы” (Мінськ, 2020 р), Міжнародній науково-технічній конференції “Передовые технологии в системах водоотведения населенных мест” (Мінськ, 2020 р), “Прикладні науково-технічні дослідження 2020” (Івано-Франківськ, 2020 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 79 наукових праць, у тому числі: 2 монографії, 23 статті у фахових журналах, що входять до переліку, затвердженого ДАК України, 31 статтю опубліковано в закордонних фахових журналах, з них 3 – в журналах, віднесених до наукометричних баз Scopus і Web of Science, 20 публікацій у збірниках матеріалів та доповідей українських та міжнародних науково-технічних конференцій. За темою дисертації одержано 3 патенти України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, шість розділів, висновки, додатки, список використаних джерел та додатки. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 282 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 74 рисунками, текст містить 72 таблиці, у бібліографії наведено 325 літературних джерел. У додатках подано розрахунок параметрів установки відновлення водних розчинів для повторного використання та акти впровадження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено її наукову новизну та практичну цінність. Надано інформацію про публікації, апробацію, впровадження та особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячено огляду та критичному аналізу патентної та науково-технічної вітчизняної та закордонної літератури, подано загальну характеристику водних розчинів та електролітів, які використовують у виробництві друкованих плат, утворення шламів, виконано критичний аналіз схем

утилізації для різних умов їх експлуатації та негативний вплив відходів. Схему впливу гальванічних відходів на довкілля показано на рис. 1.

Схема впливу гальванічних відходів на довкілля

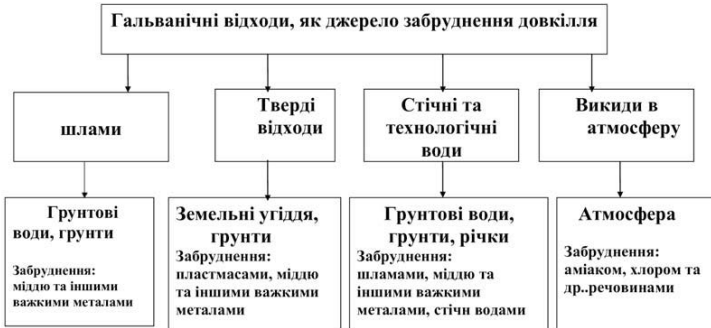


Рис. 1. Схема впливу гальванічних відходів на довкілля

Значну кількість наукових праць присвячено питанням розроблення технологій знешкодження скидів промислових підприємств, зокрема, стічних вод. До таких науковців слід віднести Андронова В.А., Білявського Г.О., Гомелю М.Д., Гончарука В.В., Дмитрикова В.П., Донченко М.І., Душкіна С.С., Клименко-Мешкову Н.А., Кучеренко В.І., Мальованого М.С., Пляцука Л.Д., Петрука В.Г., Петрушку І.М., Рогова В.М., Сакалову Г.В., Терновцева В.О., Радовенчика В.М., Ремез Н.С., Хоботову Е.Б., Хоружого П.Д., Філіпчука В.Л., Шмандія В.М. та багато інших.

Подано способи виготовлення друкованих плат та обґрунтовано необхідність створення автоматичної лінії, яка дає можливість суттєво знизити затрати на виготовлення плат та очищення води, охарактеризовано загальний стан проблеми раціонального використання води в промисловості та очищення стічних вод від важких металів.

Розглянуто склад розчинів, які використовують у процесі виготовлення друкованих плат, та можливості знешкодження скидів, а також схеми ліній для роботи промислових підприємств.

Визначено обсяги утворення кількості шламів під час виробництва плат. Вибрано напрямки підвищення екобезпеки довкілля. Подано дані про використання води, забруднення атмосфери, накопичення відходів від діяльності підприємств, що утворюють загрозу довкілтю (табл. 1).

Встановлено, що утилізація розчинів, шламів дає змогу скоротити викиди зважених речовин в атмосферне повітря, зменшити їхні приземні концентрації та уникнути забруднення ґрунтів, що сприяє зниженню рівня екологічної небезпеки під час складування шламів на підприємствах. Проблема утилізації відходів промислового і побутового походження набуває нині усе більш гострого характеру у зв'язку з тим, що обсяги генерування відходів постійно зростають, тоді як темпи їх перероблення неопорівняно малі.

Сучасні підприємства, які в кращий для виробництва час, виробляли

приблизно $4 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ плат, накопичували на своїй території по 1500-3000 тон відходів за рік у вигляді солей, які зберігаються в ємкостях, поліетиленових мішках та попадають під дію атмосферних осадів. У процесі дії на них атмосферних осадів солі вимиваються та переходять в ґрунт, поверхневі води, забруднюючи навколишнє середовище.

Таблиця 1 – Техногенний тиск на територію України

Параметри	Викиди забруднюючих речовин в атмосферу, тис.т				
	*2015р	*2016р	*2017р	*2018р	*2019р
		4521	4498,1	3974,1	3866,7
	Водопостачання та водовідведення в Україні, млн.м ³				
Забрано води	9699	9907	9224	11296	11111
Скиди води	5334	5612	4921	5210	5374
в т.ч.забруднених	875	698	997	952	737,2
	Утворення відходів, тис.т				
Всіх відходів	312267,6	295870	366054	352333,9	441516,5
в т.ч.відходи I-III класів небезпеки	587,3	621,0	605,3	627,4	553
Накопичення відходів	12505915	1239392	12442168	12972428,5	15398649,4
Примітка. *Інформацію подано без врахування тимчасово окупованих територій АР Крим, Донецької та Луганської областей					

Екологічний критерій розчинів та електролітів та всього гальванічного виробництва визначається сумою значень екологічного критерію кожного компонента технологічного розчину.

Для розчину травлення друкованих плат екологічний критерій визначено виразом:

$$EK = \sum_i \left[\frac{C_o}{PMC} \cdot \frac{g}{\Theta} \cdot (1-\alpha) \right]_i, \quad (1)$$

де: C_o – засоленість ґрунту до початку складування;

PMC – гранично допустима концентрація;

g – швидкість винесення технологічного розчину;

α – ступінь очищення стічних вод, яка залежить від концентрації речовини, що подається на очищення та після нього; Θ – витрата води на промивні операції.

Екологічний критерій небезпеки гальванічного виробництва та виробництва плат повинен передбачати частоту зміни відпрацьованих розчинів, надійність захоронення твердих відходів та прийме такий вигляд:

$$EN = \sum_i \left[\frac{C_o}{PMC_w} \cdot \frac{g}{\Theta} \cdot (1-\alpha) \right]_i + \sum_i \left[\frac{C_o}{PMC_g} \cdot \frac{g + \frac{V}{T}}{M} \cdot \alpha \cdot (1-\eta) \cdot (1-\beta) \right]_i, \quad (2)$$

де:

PMC_w – гранично допустима концентрація i -тої шкідливої речовини розчину в воді рибогосподарської водойми, г/л;

g – швидкість винесення технорозчину деталями з технологічної ванни, л/год;

θ – витрати води на промивні операції в цеху, л/год;

α – ступінь очищення стічних вод;

$PMС_g$ – гранично допустима концентрація i -тої шкідливої речовини розчину в ґрунті, г/кг; V – об'єм відпрацьованих технологічних розчинів, л;

T – срок служби технологічних розчинів, год;

M – швидкість утворення відходів на очисних спорудах, кг/год;

η – ступінь утилізації, яка залежить від концентрації шкідливої речовини в відходах, що направляються на утилізацію та які пройшли утилізацію;

β – доля шкідливої речовини, що залишається у відходах після строку зберігання.

Обґрунтовано завдання роботи та вибрано напрямки їх вирішення для зменшення кількості шламів на гальванічному виробництві, а відтак покращення екологічної обстановки.

У другому розділі оцінено рівень ризиків забруднення навколишнього середовища в місцях розташування гальванічних цехів та виробництва плат для одного з державних підприємств на основі використання двох методів: експертного оцінювання і статистичного. Експертне оцінювання передбачає опитування експертів – працівників підприємства і обчислення β -коефіцієнтів рівня ризику.

Для визначення екологічного ризику розроблено анкету, яка містить питання, що характеризують підприємство в цілому, зокрема, продукцію, витрати, технологію, фінансовий стан, кваліфікацію персоналу. Вибрані критерії оцінювання дали змогу виявити чинники і наслідки прояву ризиків для кожного напрямку виробничої діяльності. Вагомість критерію запропоновано враховувати коефіцієнтами значущості, визначених експертами. Під час використання статистичного методу подано низку статистичних коефіцієнтів, розроблено рекомендації щодо їх можливого використання.

Значення β -коефіцієнтів, що характеризують ступінь окремих груп ризиків та сукупного внутрішнього ризику підприємства подано у табл. 2. Для підприємства характерним є оптимальний рівень технологічного ризику та ризику екологічної діяльності, допустимий рівень виробничого та сукупного внутрішнього ризику.

Таблиця 2 – Результати експертного оцінювання ризиків підприємства

№	Вид ризику	Значення β -коефіцієнта
1	Виробничий	1,14
2	Технологічний	0,93
3	Екологічна діяльність	0,99
4	Сукупний внутрішній	1,10

Діагностування ризиків екологічної діяльності підприємства під час виготовлення плат та використання гальванічних процесів дозволила зробити висновок про високий ступінь ризику екологічної діяльності за критерієм коефіцієнта варіації, який досягає критичного рівня.

Виконано прогнозування забруднення ґрунтів та порід на території складування

шламів (до впровадження запропонованих рішень) при несанкціонованих зливах розчинів в ґрунти на основі положення, що під час зберігання солей від травлення плат та гальваніки ґрунти, на яких можуть лежати солі, засолюються і це призводить до негативних явищ. Для прогнозного розрахунку засолення ґрунтів і порід зони аерації на техногенно порушеній території впродовж різних термінів застосовано аналітичне рішення Карслоу-Егера.

Солі від поверхні землі рухаються у нижні горизонти зони аерації за законами молекулярної дифузії. Відповідно до теорії фізико-хімічної гідродинаміки пористих середовищ цей процес можна описати рівнянням руху і збереження маси речовини в похідних для вертикального масоперенесення:

$$D_m \frac{d^2 C}{dx^2} = n \frac{dC}{dt}, \quad (3)$$

де, D_m – коефіцієнт молекулярної дифузії, $m^2/\text{доб}$;

C – засоленість порід, % щільності сухого ґрунту; N – об'ємна вологість, частки одиниці; x – глибина, м; t – час, доба.

Аналітичне рішення рівняння (3) має вигляд:

$$Cx = (Cn - Co) \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{\frac{D_m t}{n}}}, \quad (4)$$

де, Cx – прогнозне значення засоленості на глибині x_m від поверхні землі, %;

Cn – засоленість на поверхні (насипний пласт солей), %;

Co – засоленість ґрунту до початку складування, %;

x – відстань розрахункових точок від початку координат, тобто від поверхні землі,

м;

t – термін прогнозного розрахунку, доба;

erfc – таблювана експоненціальна функція; n – об'ємна вологість, частки од.

Схему області солеперенесення подано на рис. 2. У подальші роки вміст солей збільшуватиметься в часі і з глибиною. Через 10 років сольовий профіль виглядатиме, як показано на рис. 3.

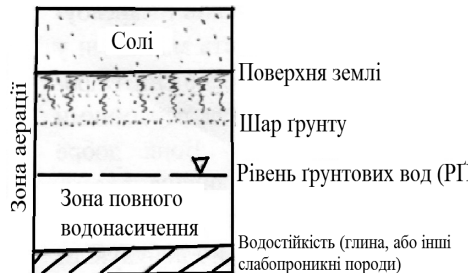


Рис. 2. Схема області солеперенесення

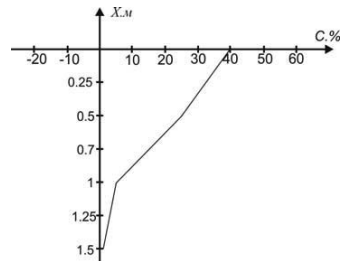


Рис. 3. Сольовий профіль через 10 років складування солей

Розрахований прогноз забруднення ґрунтів та порід на території складування солей (шламів) показує, що через один рік після засипки верхній шар товщиною в 0,5 м перейде в категорію слабо засолених ґрунтів (прогнозне значення

засоленості складе 0,499%), що призведе до відсутності живих організмів і рослин впродовж довгих років і після ліквідації складів зберігання шламів.

Прогнозний розрахунок виконано на 10 і 50 років від початку зливу, який показав, що через 10 років над рівнем підземних вод утвориться забруднювальний горб, який за формою повторює конфігурацію ділянки скидання на поверхні. Мінералізація води у горбі складе 28,2 г/дм³. Через 50 років вона збільшиться до 108,9 г/дм³.

Досліджено антропогенне навантаження на ґрунти міста Хмельницького. Для оцінювання екологічного стану ґрунтів було визначено 7 пробних площ, на яких здійснювали відбір зразків ґрунту. Пробні площі закладали на території міста так, щоб вони містили різні види антропогенного впливу, характерного для середніх за масштабами міст. Найпоширенішим важким металом у ґрунтах міста є свинець. На ділянках поблизу промислових підприємств вміст свинцю найбільший і у 2 – 3 рази перевищує його концентрації на території водоохоронних зон водних об'єктів. Враховуючи те, що ГДК для рухомої форми свинцю складає 2 мг/кг, то значна частина території міста характеризується значним перевищенням гранично допустимої концентрації (від 1,3 до 6,45 разів). Для автотранспортних магістралей та промислових зон зафіксовано перевищення ГДК для валової форми (30 мг/кг).

На базі декількох підприємств України оцінено ризик від аварійних ситуацій під час зберігання гальванічних відходів. Визначення класу небезпеки складних відходів полягає в тому, що для окремого хімічного інгредієнта відходу визначають індекс токсичності за середньою смертельною дозою хімічного інгредієнта під час попадання в шлунок, коефіцієнтом, який відображає розчинність хімічного інгредієнта у воді, коефіцієнтом летючості хімічного інгредієнта, кількістю даного інгредієнта в загальній масі відходу та порядковим номером конкретного інгредієнта.

Для оцінювання канцерогенного ризику від важкого металу, який є в складі шламів гальванічного виробництва, використовують середню добову дозу, усереднену з урахуванням очікуваної середньої тривалості життя людини (70 років) за середньою добовою дозою, концентрацією речовини в забрудненому середовищі, швидкістю кількісного надходження діючого середовища, тривалістю дії, частотою дії, масою тіла людини, періодом усереднювання експозиції (для канцерогенів АТ = 70 років; 365 – число днів в році).

Індекс небезпеки за умов одночасної дії декількох речовин розраховують за формулою (5):

$$HI = \sum_i^n HQ_i, \quad (5)$$

де HQ_i – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші речовин.

Показано, що для пріоритетних забруднювальних речовин відходів гальванічного виробництва, зокрема, для кадмію, нікелю, свинцю, хрому: індекс небезпеки $HI > 1$ і такий рівень ризику є неприйнятним, а забруднювальні речовини, які містяться у гальванічному шламі і надійшли в об'єкти довкілля внаслідок аварійної ситуації, негативно вплинуть на здоров'я людини.

Третій розділ присвячено оптимізації параметрів технологічного процесу для

створення екологічно безпечної технології перероблення відходів.

Детально досліджено та вивчено процес введення корегувальних речовин у відпрацьований водний розчин для підтримання технологічних параметрів розчину та забезпечення роботи без скидів на очисні споруди, а значить, без утворення шламів. Зокрема, процес відновлення мідно-лужних розчинів зводиться до видалення із травильної машини надлишку іонів двовалентної міді й до підтримки концентрації вільного аміаку на певному рівні (підтримка рівня рН).

Основним процесом під час відновлення є корегування розчину аміаком. У наш час це здійснюється за допомогою газоподібного аміаку або його водного розчину.

Температуру розчину підтримували в межах 45°C. Для регулювання значення рН розчину та його впливу на швидкість травлення використовували аміак водний (25%), або рідкий синтетичний, який розміщували в окремому приміщенні поза цехом. Процес досліджень проводився з травильним розчином, склад якого представлено у табл. 3.

Таблиця 3 – Концентрації компонентів, які використовувались під час випробувань

№ п/п	Назва компонентів	Показники, кг/м ³
1	аміачний комплекс двохлористої міді (по металу)	40-60
2	амоній хлористий	50-100
3	аміак водний (25%), або рідкий синтетичний	змінна величина
4	кислота ортофосфорна	20-30
5	рН розчину	змінна величина

Вплив рН на швидкість травлення подано на рис. 4; підтримання рН в межах 8,3 до 8,55 дає можливість отримати швидкість травлення 35...38 мкм/хв.

Показано, що для установки розділення розчину аміаку малої продуктивності перевагу слід віддати апаратам періодичної дії (рис. 5), які простіші за устроєм і зручніші під час експлуатації в порівнянні з апаратами безперервної дії.

Для усунення втрат аміаку в навколишнє середовище, повітря з робочої камери травильної машини 3 через фільтр 2, де вловлюються краплі травильного розчину, надходить у десорбер 1 і насичується аміаком. Аміачно-повітряна суміш засмоктується ежектором 4, робочою рідиною якого є травильний розчин. В ежекторі аміак поглинається травильним розчином, а повітря повертається в робочу камеру травильної машини. Для інтенсифікації процесу десорбції водно-аміачний розчин у десорбері підігрівається водним травильним розчином.

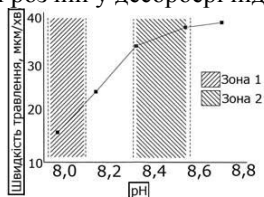


Рис. 4. Вплив рН на швидкість травлення

Процес десорбції припиняється за досягнення аміачної води в десорбері 5% маси, після чого розчин аміаку замінюється на свіжий. Для проведення досліджень використано лінію травлення друкованих плат водним мідно-лужним розчином. При цьому регенератор, що використовується для відновлення розчину, встановлено на продуктивність міді≈4 кг/год.

Запропоновано схему установки безперервної дії (рис. 6). Так само, як в

установці періодичної дії, повітря з робочої камери травильної машини 3 надходить у нижню частину насадочного десорбера 1 і збагачується аміаком. Аміачно-повітряна суміш засмокується ежектором 4, робочою рідиною якого є травильний розчин. В ежекторі аміак поглинається травильним розчином, а повітря повертається в робочу камеру травильної машини.

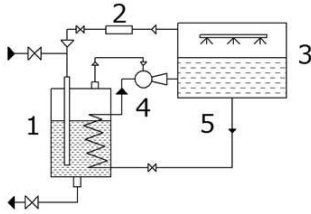


Рис. 5. Схема установки фізичної десорбції періодичної дії для водного мідно-лужного розчину: 1 – фізичний десорбер; 2 – фільтр; 3 – травильна машина; 4 – ежектор; 5 – насос

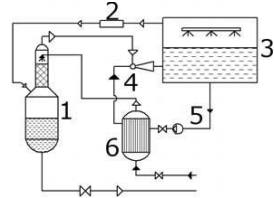


Рис. 6. Схема протиточної безперервної десорбції: 1 – насадочний десорбер; 2 – фільтр; 3 – травильна машина; 4 – струминний насос (ежектор); 5 – теплообмінник; 6 – насос.

Порівняльні характеристики методів поділу розчинів подано в табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняльні характеристики методів поділу розчинів

Показники	Десорбція періодична	Десорбція неперіодична	Перегонка	Ректифікація
Продуктивність по газ.аміаку, кг/год	2	2	2	2
Витрати повітря, м ³ /год	10	5,2	-	-
Енергоємність, квт/год	*	*	2,04	2,8
Ємність апарата, м ³	0,09	0,02	0,09	0,02

Швидкість десорбції аміаку розраховували за формулою:

$$G = \frac{(V_H \cdot C_H) - (V_K \cdot C_K)}{\tau}, \text{ Г/Год} \quad (6)$$

де, V_H, V_K – початковий і кінцевий об'єм розчину

C_H, C_K – початкова й кінцева концентрація аміаку, г/л

τ – час проведення десорбції, год.

Запропоновано використовувати корегування спільно з електрохімічним відновленням, що дає змогу створити обладнання, яке може працювати в автоматичному режимі. Це дає змогу розробити і впровадити маловідходний енергоощадний технологічний процес для водних розчинів, що суттєво зменшить скиди відпрацьованих травильних розчинів, зменшить навантаження на навколишнє середовище та покращить стан екологічної безпеки.

Висвітлено питання відновлення водного травильного розчину під час зміни редокс-потенціалу аноліту. Поставлене завдання інтенсифікації процесу вирішено у такий спосіб, що відновлення водного міднохлоридного травильного розчину запропоновано вести за допомогою осадження металічної міді в замкнутій катодній камері за досягнення редокс-потенціалу аноліту $+1,100...+1,200$ В, а хлор – газ, який виділяється в анодній камері, направляти в розчин перед поданням його в анодну камеру.

Виконання катодної камери замкнутою дає змогу концентрувати в католіті іони міді і тим самим інтенсифікувати процес осадження металу на катоді.

Підвищенням редокс-потенціалу в анодній камері до $+1,1...+1,2$ В замість $+0,40...+0,55$ В досягається повне окиснення одновалентної міді до двовалентної. Крім того введення хлору в вихідний розчин дозволяє частково окиснити мідь (I) до міді (II), що прискорює міграцію іонів міді з анодної камери до катодної більшою високою рухливістю міді (II). Іони міді, які накопичуються в катодній камері, виділяють на катоді в вигляді металу. Оскільки катодну камеру електролізера виконано замкнутою, то в ній накопичуються гранично можливі концентрації іонів міді, що дає змогу вести процес окиснення міді з високим виходом за струмом і інтенсифікувати процес відновлення розчину. Для підтримання високої інтенсифікації процесу його необхідно вести при редокс-потенціалі католіту $+0,28...+0,32$ В і щільності струму $7...8$ А/дм². Відновлений водний травильний розчин повертається в травильну ванну, де змішується з робочим розчином. У результаті змішування редокс – потенціал робочого розчину підтримують в межах $+0,50...+0,55$ В, а концентрацію одновалентної міді не більше $20...30$ мг/л, що забезпечує високу швидкість травлення та забезпечує зменшення енергозатрат на проведення процесу та зменшуючи вплив на навколишнє середовище.

Оптимальне значення редокс – потенціалу знаходиться в межах $+1,100...+1,200$ В (рис. 7).

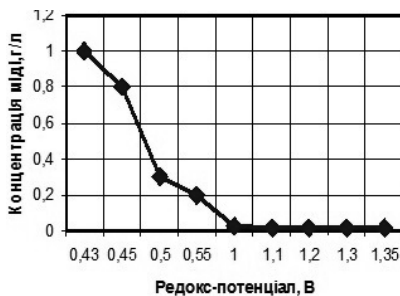


Рис. 7. Залежність концентрації міді від значень редокс-потенціалу

окиснення: в анодній камері – в результаті реакцій на аноді і продуктами гідролізу хлор-газу, а в суміжних з анодною і катодною камерами – тільки продуктами гідролізу хлор-газу, виділеного в наделектродний простір анодної камери і транспортованого в розчин в суміжну з катодною і суміжну з анодною камерами.

Це також зменшує витрати на окиснення травильного розчину в анодній камері і на осадження надлишку міді на катоді, тобто на процес відновлення. Здійснення протиточного переходу розчину з камери в камеру знижує градієнт концентрації іонів міді в камерах, чим досягається зниження дифузійного переносу іонів міді в анодну камеру.

Під час проходження оброблюваного розчину через камери діафрагменного електролізера відбувається його

Отже, застосування запропонованого способу інтенсифікує процес відновлення водного розчину підвищенням виходу міді на катоді за струмом в середньому на 40 %, повного окиснення іонів одновалентної міді в анодній камері і зменшення кількості травильного розчину, який подається на відновлення та в 1,2-1,3 рази здешевити процес обробки водних міднохлоридних розчинів.

Запропоновано метод відновлення водного хлоридного травильного розчину в чотирикамерному діафрагменному електролізері (рис. 8). Результат досягається поданням вхідного травильного розчину в суміжну з катодною камерою, що створює умови для інтенсивного перенесення іонів міді в катодну камеру, завдяки чому збільшується вихід за струмом міді на катоді, а тому зменшуються витрати електроенергії на процес відновлення водного хлоридного травильного розчину.

Схему транспортування хлор-газу камерами електролізера показано на рис. 9.

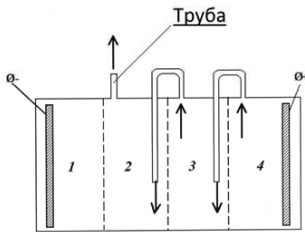


Рис. 8. Схема електролізера для проведення процесу досліджень з відновлення водного хлоридного травильного розчину:

- 1 – катодна камера; 2 – суміжна з катодною камерою;
- 3 – суміжна з анодною камерою; 4 – анодна камера

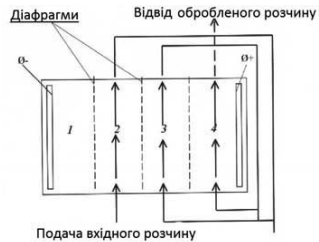


Рис. 9. Схема транспортування хлор-газу камерами електролізера (зображення в розрізі):

У той же час окиснення хлоридного травильного розчину не тільки в анодній, але і в двох суміжних камерах дає змогу окиснити іони одновалентної міді в двовалентні у всьому об'ємі електроліту і тим самим інтенсифікувати перенесення іонів міді в катодну камеру за рахунок більш високої рухливості двовалентної міді в порівнянні з одновалентною, що також сприяє концентруванню міді в катодній камері і зниження її концентрації в анодній камері.

За досягнення значень редокс-потенціалу аноліту $+ (1,1 \dots 1,2)$ В оброблений розчин відводиться з анодній камері в ванну травлення, де при змішуванні обробленої в електролізері частини травильного розчину з залишковою його кількістю досягається повне відновлення водного хлоридного травильного розчину.

Анод установки виконано з графіту, катод з листової міді, діафрагма – з хлоринової тканини. Електроліз розчину виконували за таких параметрів: сила струму 400 А; напруга електролізера 2 В; катодна щільність струму-700 А/м². Оброблена в діафрагменному електролізері частина розчину мала в своєму складі: двовалентної міді – 75 г/л; одновалентної міді – 0,2 г/л; редокс-потенціал – 1,1 В.

Концентрація міді в катодній камері діафрагменного електролізера біля 120 г/л; вихід за струмом металічної міді на катоді склав 98 %. Після змішування частини розчину (10 л), обробленого в електролізері з частиною (20 л)

необробленого, отримано регенований розчин, який мав в складі: двовалентної міді – 90 г/л; одновалентної міді – 0,25 г/л; редокс-потенціал – 0,55 В.

Витрати електроенергії на 1 л відновленого розчину склали 3,2 кВт. Отже, запропонований метод забезпечує підвищення виходу за струмом металічної міді на катоді в середньому на 16 % і зменшення енерговитрат на окиснення 1 л хлоридного розчину в 2,5 рази.

Досліджено питання, пов'язані з захистом доріжок друкованих плат в єдиній автоматизованій лінії. Для захисту доріжок друкованих плат та для кращої можливості паяння в промисловості широко застосовують олово, яке є одним з найчастіше застосовуваних елементів. Воно зберігає при цьому властивості до захисту та паяння навіть після довгого зберігання особливо, якщо це олово леговане вісмутом в незначній кількості (0,3...5 %).

Для визначення товщини металевого покриття у цехах з виробництва друкованих плат і в гальванічних виробництвах практично єдиним методом є зараз краплинний. Мінімальна товщина покриття, що може бути виміряна цим методом – 0,265 мкм. Це значно обмежує його можливості під час виміру товщини олов'яних покриттів, нанесених хімічно, тому що їх товщини рідко перевищують 1,0-1,5 мкм. Відносна похибка методу при цьому складає до $\pm 30\%$. Тому запропоновано методику хронопотенціометричного виміру товщини олов'яних покриттів на міді.

Оцінено відтворюваність і стійкість обох методів аналізу (вагового і хронопотенціометричного в зазначеному розчині) за допомогою критерію Фішера (F). Показано, що значення критерію F , обчислене з експериментальних даних, становить 1,197, що значно менше табличного значення $F=3,44$ для рівня значимості $\alpha=0,5$. Це підтверджує рівноцінність обох методів у відношенні стійкості і відтворюваності, і дозволяє остаточно прийняти для подальших досліджень. Визначено середньоквадратичну помилку середнього арифметичного:

$$\tau_0 = \frac{\tau}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{q} - q_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (7)$$

де, q – середнє значення електрохімічного еквівалента;
 n – число дослідів.

$$\Delta = \frac{\delta_e - \delta}{\delta_e} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де δ_e – товщина покриття, визначена ваговим методом, мкм;

δ – товщина покриття, визначена електрохімічним методом, мкм;

Δ – похибка вимірів, %.

Встановлено кореляційний зв'язок між вимірюваною товщиною покриття і щільністю струму розчинення олова. Розрахунок проводився по наступним рівнянням:

$$T_x = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (7) \quad T_y = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n}} \quad (8) \quad r = \frac{\sum x_i \cdot y_i}{n \cdot T_x \cdot T_y} \quad (9) \quad x - \bar{x} = r \cdot \frac{T_x}{T_y} (y - \bar{y}), \quad (9)$$

де, x – товщина покриття, мкм; y – щільність струму, mA/cm^2 ;
 T – середнє квадратичне відхилення; r – коефіцієнт кореляції.

Отримано такі значення: $T_x=0,022361$; $T_y=4,5096$; $r=0,014695$, за якими обчислено рівняння регресії:

$$\delta = 0,3188 + 0,000073 j . \quad (10)$$

Залежність товщини покриття від швидкості розгорнення потенціалу визначено в дослідженнях показала, що результати експерименту і розрахунку цілком збігаються. Однак, умови виміру повинні бути підібрані так, щоб олово розчинялося цілком до досягнення потенціалу початку розчинення матеріалу підкладки. Як впливає з чисельного значення коефіцієнта кореляції і рівняння точність визначень товщини олов'яного покриття практично не залежить від застосовуваної щільності струму в інтервалі $8,0 \dots 26,0 \text{ mA}/\text{cm}^2$, що є зручним для практичних застосувань, бо не вимагає дорогого і складного устаткування для підтримання визначеної щільності струму. Дослідження показали можливість використання електрохімічних методів для визначення товщини покриттів оловом на мідній основі. Найвдалішим з досліджених методів є хронопотенціометричний метод. Спосіб дозволяє вести процес відновлення водних розчинів, автоматизувати процес виготовлення плат і забезпечує його інтегрування у загальну систему забезпечення екологічної безпеки.

Перевірено можливості трьох методів контролю вмісту двовалентної міді в технологічному водному травильному розчині. На підставі виконаних досліджень встановлено оптимальні умови фотометричного контролю, створено макет фотометричної установки для роботи в промислових умовах; з'ясовано можливості використання потенціометричного методу контролю, а також можливості іоноселективного електрода на мідь-іон. Це дало можливість забезпечити оптимальне проведення процесів під час виробництва друкованих плат, різко зменшити утворення шламів, що покращить стан екологічної безпеки довкілля.

У четвертому розділі висвітлено питання екологічної безпеки під час очищення промивних вод, утилізації осаду.

На основі проведених досліджень запропоновано технологічну схему пристрою відновлення водного розчину з використанням пристрою подання аміаку в регенератор (рис. 10). Під час роботи установки внаслідок випару аміаку і його окиснювання на анодах регенератора відбувається зміна рН розчину, що фіксується рН-метром.



Рис. 10. Технологічна схема пристрою відновлення водного розчину: 1 – електролізер; 2 – ежектор; 3, 4 – насос; 5 – електричний нагрівач; 6 – електромагнітний клапан; 7 – вхідний розчин аміаку; 8, 9 – запірні вентилі.

Цей же розділ присвячений дослідженням, які мали за мету визначити процеси та їх особливості для технологій, пов'язаних з необхідністю металізації заготовок

друкованих плат при електрохімічному та комбінованому способах їх виготовлення та зменшенню скидів важких металів. Мікроструктура поверхні пластини (мікрошліф вирізано поперек пластини), дозволяє виявити пори, переважна більшість яких має краплеподібну форму. Окремі з них мають вигляд наскрізних каналів. Пори рівномірно розміщено на поверхні зразка, їх діаметр не перевищує 10-20 мкм. Дослідження мікрошліфа, вирізаного в поперечному напрямку мідної пластини, дало змогу виявити наявність щільних шарів, які відрізняються своєю будовою. Перший шар утворився на початку зародження зони нарощування за високої початкової щільності струму. Він має дрібнозернисту структуру. Ширина зони 12-14 мкм, розмір зерен не перевищує 1-2 мкм.

Другий шар містить стовпчасті дендрити. Гілки дендритів мають довжину 7-8 мкм, а висота самих дендритів сягає 40-50 мкм. При великій товщині осаду відбувається повне зрощення дендритів. Шар стовпчастих дендритів зберігає компактність до досягнення дендритами довжини 30-35 мкм, після чого з ростом дендритів втрачається щільність шару і він набуває дірчатості.

При зменшенні рН розчину нижче заданого рівня рН-метр вмикає насос (3), що забезпечує роботу ежектора (2) у вигляді струминного насоса. При нагріванні розчину аміаку відбувається його кипіння, і газоподібний аміак, що утворюється при цьому, відсмоктується ежектором (2) і розчиняється в водному травильному розчині.

У результаті розчинення газоподібного аміаку в розчині рН останнього підвищується. Робота насоса (3) і електронагрівача (6) здійснюється до тих пір, поки значення рН розчину не досягне заданого значення.

Досягши рН заданого значення рН-метр вмикає електронагрівач (6), закриває електромагнітний клапан (7) і вмикає насос (3). При цьому подача газоподібного аміаку припиняється. Підтримання заданого значення рН дозволяє підтримувати постійну швидкість травлення, що є важливим для отримання високої якості плат та є одним з елементів, які забезпечують експлуатацію розчину без скидів, а значить різко зменшити дію на навколишнє середовище та підвищити екологічну безпеку.

Визначено процеси та їх особливості для технологій, пов'язаних з необхідністю металізації заготовок друкованих плат при електрохімічному та комбінованому способах їх виготовлення та зменшенню скидів важких металів. Приведено мікроструктуру осадженої міді, (поздовжній на рис. 11, поперечний переріз на рис. 12). Мікроструктура поверхні пластини (мікрошліф вирізано поперек пластини), дає змогу виявити пори, переважна більшість яких має краплеподібну форму.

Однак цей факт не є визначальним і не перешкоджає використанню осадженої міді як електродів, (навіть поліпшує адгезію при використанні в якості підложки) чи переплавку її з подальшим використанням в якості провідникового та конструкційного матеріалу.

Показано, що якість виділеної міді дає змогу її використовувати для переплавки та повторного використання для забезпечення в народно-господарських цілях або як металу для металізації друкованих плат. При цьому тобто виділений метал використовується в процесі виробництва і не потрапляє в

шлами, тобто не сприяє забрудненню ґрунтів та водного середовища.

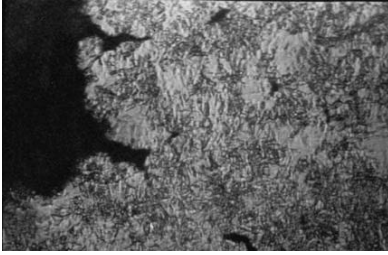


Рис. 11. Мікроструктура осажденої міді (поздовжній переріз), $\times 120$

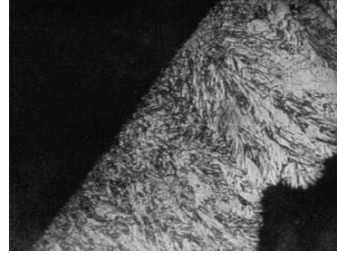


Рис. 12. Мікроструктура осажденої міді, $\times 120$ (поперечний переріз)

Побудовано залежність роботи відриву міді від шорсткості поверхні електрода та залежність відносного відхилення δ , % від апроксимованого середнього значення зусилля відриву та чистоти поверхні (рис. 13), а також залежність зусилля відриву P від чистоти поверхні в порівнянні між апроксимованим і експериментальним значеннями. Встановлено, що відрив металу здійснюється з тим меншими зусиллями, чим нижча шорсткість поверхні заготовки. При цьому

середнє значення зусилля відриву P_s , визначено за виразом: $P_s = \frac{\sum P_i}{n}$. За спеціально розробленою програмою, в якій було використано метод найменших квадратів, визначено сталі функції $P_x = a_0 + a_1 \cdot x$, відповідно, значеннями $a_0 = 1244$; $a_1 = 5431$.

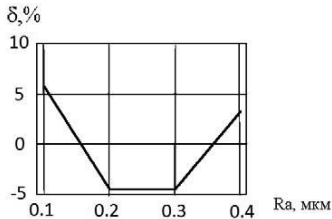


Рис. 13. Залежність відносного відхилення δ , % від середнього значення зусилля відриву та чистоти поверхні

Встановлено, що в турбулізованих потоках електроліту за підвищених температур досягаються швидкості гальванічного мідіння до 10 мкм/хв зі збереженням доброї якості осаду. Виявлено основні недоліки гальванічних комірок проточного типу, що полягають

в нерівномірності розподілу металу на поверхні ДП і, особливо, краями отворів; виразці осаду, в окремих режимах електролізу, погіршення змочуваності поверхні і залипання на ній пухирців повітря. Використання виділеної міді в пропонуваніх напрямках дає змогу зменшити скиди відпрацьованих розчинів, а також негативний вплив на довкілля.

У процесі постійної роботи регенераторів реакційна поверхня електродів збільшується, що знижує дійсну щільність струму і викликає зрощування металу електрода з міддю, що осаджується. Це, у свою чергу, призводить до погіршення відриву міді від електрода, обумовлюючи необхідність повторної механічної обробки електродів. Але для використання видаленої міді як металу покриття, цей

процес є зворотнім. Виявлено взаємозв'язок між умовами ведення процесу, фізико-механічними властивостями осаду і їх структурою. Цей факт дозволяє використання видаленої міді в процесах мідіння для виробництва плат та зменшення впливу на екологічний стан навколишнього середовища.

Методами поляризаційних вимірювань, електронної і оптичної мікроскопії, маятника показано, що за умов природної конвекції і в ламінарних режимах руху електроліту морфологія поверхні мідного осаду однозначно визначається потенціалом осаду. Найкращу якість осаду отримують у області потенціалів, близьких до потенціалу нульового заряду міді $-0,03 \dots -0,05$ В. У турбулізованих потоках електроліту фізико-механічні властивості і морфологія поверхні мідного осаду зберігається постійною у області потенціалів $+0,25 \dots -0,5$ В.

Подано результати досліджень очищення та відновлення відпрацьованих хромомістких розчинів та схематичну конструкцію електролізера (рис. 14).

Зменшення концентрації цинку і хрому (III) відбувається пропорційно їх еквівалентам (тобто з однаковим виходом за струмом) і сповільнюється з часом електролізу зі зниженням вмісту Zn^{2+} та Cr^{3+} в розчині, що відновлюється. Це явище пояснюється збільшенням кислотності розчину поряд з падінням концентрації іонів цинку і хрому. Накопичення іонів водню відбувається в результаті протікання анодної реакції (I) виділення кисню.

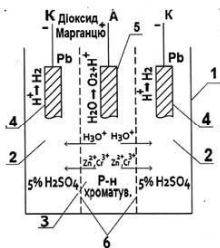


Рис. 14. Схема електролізера для відновлення розчинів хроматування:
1 – корпус; 2 – катодні камери;
3 – анодна камера; 4 – катоди; 5 – анод;
6 – катіоннообмінна мембрана

На відновлення направлявся розчин хроматування у кількості 70 л такого складу: хромовий ангідрид – 8-9 г/л, хром (III) 1-1,2 г/л, Zn^{2+} – 2,6-2,7 г/л, азотна кислота 3-7 мл/л, сірчана кислота – 0,3-0,5 мл/л, рН – 1,4-1,45. Струмове навантаження на електролізер – 50 А. Напряга 9-15 В. У процесі електролізу визначали зміну концентрацій хрому (III), іонів цинку, хромового ангідриду і кислотність розчину. У процесі відновлення відбувається зміна вмісту іонів цинку, хрому (III) і водню.

Через мембрану в катодний простір видаляється менша кількість іонів водню, ніж утворилося в анодній камері, тому що разом з ними виділяються й іони цинку і хрому (III). Кількість накопичених в водному розчині іонів еквівалентно кількості вилучених у катодну камеру іонів Zn^{2+} та Cr^{3+} . Цей процес є зворотним процесом хроматування, при якому утворюються іони цинку і хрому та витрачаються іони водню.

Через низьку електропровідність розчину хроматування (невеликі концентрації компонентів) напруга на електролізі в початковий момент досить висока – 15-16 В. З нагромадженням іонів водню електропровідність розчину збільшується і спадання напруги на електролізері (при постійному струмовому навантаженні), помітно знижується, що підтверджується ще і невеликим розігрівом розчину при

електролізі (до 35°C). У табл. 5 подано порівняльні дані, що стосуються стійкості хроматних плівок, отриманих з регенованих розчинів, і питомої витрати електроенергії, необхідної для відновлення водного відпрацьованого розчину.

Стійкість хромової плівки визначали методом краплі за державним стандартом після обробки цинкового покриття в регенованому розчині хроматування впродовж 30 с і відповідає нормативним документам. Використання електролізера зменшує тиск на навколишнє середовище та підвищує рівень екологічної безпеки в місцях знаходження гальванічних цехів.

Таблиця 5 – Порівняльні дані, що стосуються стійкості хромованих плівок

Параметри		Дослід 1	Дослід 2
Склад регенованого розчину, г/л	C_{CrO_3}	9,16	9,54
	C_{Zn}^{2+}	0,1	0,97
	C_{Cr}^{3+}	0	0,30
	pH	0,78	0,87
Стійкість хроматного покриття, хв		4,0-4,5	3,5-4,0
Питома витрата електроенергії, квт.г/м ³		280-300	120-140

Подано дані металізації плат з відпрацьованих водних розчинів. Розглянуто питання впливу інтенсивності перемішування, анодної поляризації та середньої густини струму на рівномірність і характер розподілу струму на поверхні друкованої плати різної складності друкованого монтажу.

Результати розрахунків розподілу струму за катодом модельної комірки проведені для сірчаноокислого і борофтороводневого електролітів за різної середньої густини струму подано в табл. 6.

Таблиця 6 – Розподіл струму за катодом модельної комірки

Електроліт	Сірчаноокислий				Борофтороводневий					
$I_{cp}, A/dm^2$	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	2,5	3
I_{max}/I_{min}	2,8	3,2	4,0	4,5	5,5	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9

Розроблено математичне моделювання електричного поля в електролізері, представленому у вигляді плоскої моделі. Для цього вибрано метод інтегральних рівнянь для вирішення диференціального рівняння Лапласа з відповідними, граничними умовами. Правомірність математичних моделей і результатів розрахунків підтверджено експериментально для випадку електроосадження міді з розчинів сірчаноокислого, борофтористоводневого, пірофосфатного і етилендіамінового електролітів, що забезпечують усунення скидів стічних вод у навколишнє середовище.

П'ятий розділ присвячено вивченню процесів фільтрування відпрацьованих водних розчинів, які проходячи процес регенерації, повинні направлятись на подальше використання в технологічний процес. Через 1-1,5 місяця безперервної роботи в нижній частині травильного модуля накопичуються різні речовини із плат і бруд, які вели до забруднення розчину. Це веде до погіршення якості плат і, як наслідок, частину розчину доводиться зливати та приймати рішення про його нейтралізацію, тобто йде процес погіршення екологічного стану в районі виробництва. Тому виникла необхідність встановлення фільтрів для очищення

відновлених розчинів. Фільтрування через пористі середовища є одним з ефективних способів вирішення різноманітних проблем, пов'язаних з видаленням з рідин завислих і колоїдних часточок, а також домішок молекулярного й іонного ступеня дисперсності. Для впровадження цього ефективного способу подовження експлуатації розчину та зменшення шкоди, яка наноситься довкіллю, вивчено процеси та особливості фільтрування рідин із змінною концентрацією домішок фільтрами, що функціонують за законами, прийнятими в узагальненій моделі Шехтмана, а також фільтрування через пористі середовища із спадною швидкістю. Для цього процес представлено відповідними схемами (рис. 15 та рис. 16).

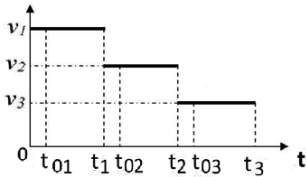


Рис. 15. Ступінчасте спадання швидкості фільтрування $v_i = const$

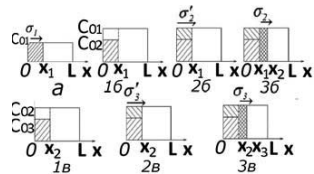


Рис. 16. Схематичне зображення різних фаз заповнення завантаження фільтра осадком під час ступінчастого спадання швидкості

Фільтрування через пористі середовища є одним з найскладніших і поширених технологічних процесів. У загальному випадку домішкові частинки водного розчину, що фільтрується, відрізняються за фізико-хімічними властивостями, можуть взаємодіяти і перетворюватися, їх концентрація на вході фільтра змінюється за детермінованим або стохастичним законом. Завантаження фільтрів неоднорідне, змінної геометрії, з керованими зовнішніми полями властивостями.

З огляду на об'єми та вартість очищення технологічних рідин і промислових вод за допомогою фільтрів, робота яких достатньо адекватно описується моделлю Шехтмана, ясно наскільки великими є матеріальні втрати через неправильний метод визначення параметрів. За зроблених припущень, значення концентрації завислих домішкових частинок на виході фільтра \tilde{C} визначається середнім значенням вхідної концентрації за час τ_1 :

$$\int_0^{\tau_1} \tilde{C}_0(\tau) d\tau = \tau_1 + \frac{T_1}{2\pi} \left(1 - \cos \frac{2\pi\tau_1}{T_1}\right). \quad (11)$$

Незважаючи на значні незручності пов'язані, зокрема, з громіздкістю розрахунків, розглянуто точний метод опису процесів масоперенесення у фільтрах при ступінчастому законі зміни швидкості фільтрування є можливим. Доцільність же застосування ступінчастого закону з відносно великою кількістю сходинок для апроксимації з задовільною точністю неперервних змін швидкості фільтрування, принаймні у випадку прямокутної ізотерми сорбції, проблематична.

Час захисної дії фільтра при ступінчатій зміні швидкості фільтрування визначають за формулою:

$$\frac{C_0}{\rho_0(t_3)} \int_{t_0}^{t_3} \left[1 - \frac{dt_0(t)}{dt} \right] v(t) dt = L. \quad (12)$$

Теоретичні дослідження процесів фільтрування підтверджено результатами експериментальних випробувань лінії лужного травлення з підключенням установки відновлення водних розчинів та фільтрувальною установкою. Дослідження впродовж 6 місяців показали необхідність заміни фільтра тільки через 3 місяці. Фільтрування дає змогу значно зменшити скиди відпрацьованих забруднених розчинів травлення, а також інших небезпечних розчинів, що покращує екологічну обстановку в місцях виробництва плат та гальваніки.

З огляду на те, що відходи виробництв, що забруднюють навколишнє природне середовище, можна використати в народному господарстві, дуже актуальна в даний час проблема їх утилізації.

Кадмієві покриття, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям: високої хімічної стійкості, хорошою електропровідністю, широко використовують в радіоелектронній і електронній промисловості. За площею покриттів кадміювання знаходиться на п'ятому місці. Концентрація по металу кадмію в стічних водах може аналогічно досягати 2-3 г/л. Оскільки розчини, що містять кадмій, належать до дуже отруйних, очищення стічних вод від цього елемента є актуальним (ГДК на вміст кадмію в розчині-0,01 мг/л). Для вловлювання цих металів з промивних розчинів найбільш широко використовують цементаційні і реагентні методи, які не задовольняють основним вимогам, що пред'являються до способів, розроблених для цих цілей. Тут слід відзначити такі недоліки:

- 1) неповне уловлювання металів з промивних розчинів і повернення їх у процес;
- 2) негативний вплив на властивості покриттів та виробів на наступних технологічних операціях;
- 3) невисока ефективність та можливість використання для автоматизованих гальванічних ліній.

Для видалення міді та кадмію з промивних вод запропоновано використати регенератор, який має в своїй основі установку з використанням псевдозрідженого шару струмонепровідних частинок. Отримані результати дали змогу розробити промислову установку з використанням псевдозрідженого шару для утилізації кадмію з промивних вод гальванічних виробництв.

Для утилізації кадмію застосовується анод, пластину котрого виготовлено з свинцю марки ДПРНХ, катод – титанова пластина. Висока ефективність процесу утилізації суттєво покращує екологічні характеристики довкілля. Окремі характеристики установки подано в табл. 7.

Встановлено, що витрата електродів з сіток більша, ніж електродів з пластин. У той же час під час роботи з промивними розчинами електроліту важких металів слід рекомендувати пластинчасті електроди за щільності струму не більше 500 А/м². Використання пластинчастих анодів замість плоских збільшує час експлуатації електродів на порядок.

Осади підприємств, які виготовляють друковані плати, належать до суспензій колоїдного типу, що погано фільтруються. А накопичилось їх на кожному підприємстві до сотень тисяч тон. Розрахунки шкоди на одному з підприємств м.

Хмельницького, дали змогу оцінити рівень забруднення та показали реальну небезпеку під час зберігання відходів на території підприємств.

Таблиця 7 – Технологічні режими для видалення кадмію

Концентрація металу, г/л	Катодна щільність струму, А/дм ²	Витрачена потужність, кВт·год	Виділено металу, кг	Питома потужність, кВт·год/кг
3 ÷ 1	0,6 ÷ 0,7	6,5	0,200	32,5
1,0 ÷ 0,5	0,1 ÷ 0,2	4,18	0,050	83,6
0,5 ÷ 0,1	0,1 ÷ 0,2	3,31	0,040	82,75
0,1 ÷ 0,01	0,1 ÷ 0,2	2,28	0,009	253,3
0,01 ÷ 0,001	0,05 ÷ 0,09	2,26	0,0009	2511,1
разом		18,53	0,2999	

На основі виконаних досліджень мулу очисних споруд міста для покращення структури ґрунтів можна рекомендувати наступне:

Норму внесення мулу на запланований урожай необхідно встановлювати на основі результатів аналізу. Рекомендується вносити під зернові культури 30-40 т, кормові і цукрові коренеплоди – 60-70 т на 1 га і більше. Кращим способом використання мулу є його компостування з гноєм або іншими матеріалами, або ж сумісне внесення його навіть без компостування, з невеликими (8-10 т на 1 га) дозами гною. Використання мулу зменшить небезпеку навколишньому середовищу, зменшить площі, відведені під мулові площадки, а значить зменшить рівень забруднення навколишнього середовища.

У шостому розділі описано запропоновані технологічні рішення, еколого-економічний аспект створення обладнання та подано рекомендації для покращення стану екологічної безпеки. Схему зменшення шкідливої дії на навколишнє середовище, здоров'я людини та підвищення екологічної безпеки від застосування розроблених рішень показано на рис. 17.

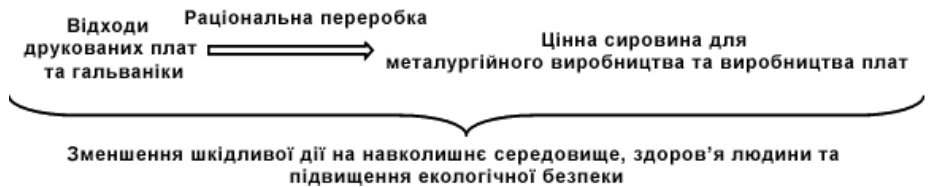


Рис. 17. Схема зменшення шкідливої дії на навколишнє середовище, здоров'я людини та підвищення екологічної безпеки від застосування розроблених рішень

Подано конструктивні та технологічні схеми розроблених апаратів очищення стоків стічних та промивних вод та результати апробації їх в умовах підприємств.

Кожний з розроблених апаратів реалізує собою окремий технологічний процес, що задовільняє вимогам мети даної роботи.

При цьому забезпечується повторне використання води в технологічних процесах та цінних ресурсів, перетворення їх в безпечні для довкілля продукти з метою їх подальшого використання в народному господарстві. Достатньо просто

реалізується схема відновлення промивної води з подальшим поданням в травильну машину (рис. 18). Тут використано процес видалення з промивних вод іонів міді та кадмію. Використання апаратів дає змогу суттєво зменшити кількість важких металів, які скидають в навколишнє середовище, погіршуючи стан довкілля.

Для порівняння: діючі лінії травлення друкованих плат мають витрату води від 4,8 до 6 м³/год, а лінія травлення за розробленою схемою має витрату води 0,6 м³/год, що відповідно в 8-10 раз менше. Видалення міді в залежності від рисунка плати може досягати до 6-8 кг/год.

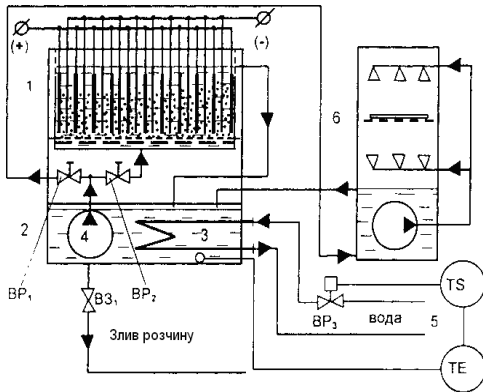


Рис. 18. Схема відновлення промивної води з подальшим поданням у ванну:

- 1 – електролізер,
- 2 – розчинний бак,
- 3 – теплообмінник,
- 4 – насосна станція,
- 5 – сенсори рівня і температури розчину,
- 6 – модуль промивання (технологічний модуль)

Подано схему лінії травлення плат водним лужним розчином з використанням установки мідніння-електрохімічного відтворення (рис. 19), яку призначено для травлення двосторонніх друкованих плат 4-5 кл. точності лужним мідно-аміачним розчином та освітлення припою. Для підтримання концентрації травильного розчину лінію оснащено пристроєм для експрес-аналізу рН і щільності травильного розчину, установкою для електрохімічного відновлення з видаленням міді з водного травильного розчину, або міднінням плат. Технічні характеристики лінії травлення подано в табл. 8.

Таблиця 8 – Технічні характеристики лінії травлення

Продуктивність, м ² /год	12
Швидкість конвейера, регульована, м/хв.	0...2,4
Ширина конвейера: мм повна/ робоча	550/500
Розміри заготовок: мм, мінімальні/ максимальні	150×150/500×600
Товщина, мм	0,2...3
Витрати води, м ³ /год	0,6

Спроектвані установки відновлення водних розчинів можуть працювати в автоматичному й ручному режимах, використовуватись у складі лінії, так і окремо, що дає можливість виробничого маневру.

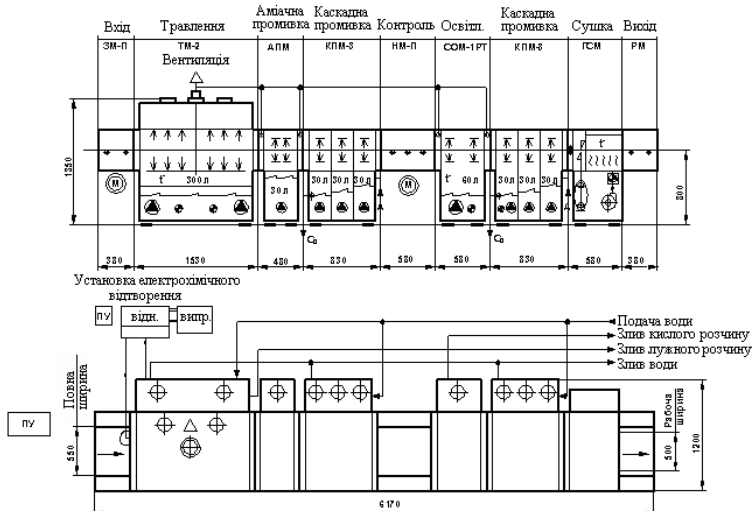


Рис. 19. Схема лінії травлення водним лужним розчином з установкою відновлення

Електролізер-відновник водного розчину є головним функціональним вузлом модуля. Він містить титанові катода, що чергуються, і графітові аноди, поміщені у вінілпластовий корпус. Частково відпрацьований водний розчин з розчинного бака відцентровим насосом подається в електролізер-відновник водного розчину знизу нагору й трубами зливається назад. На катодах виділяється стравлена мідь, а на анодах знову утвориться окислювач, витрачений під час травлення друкованих плат. Додаткове хімічне корегування розчинів виконується періодичним додаванням хлористого амонію, соляної кислоти (для кислих розчинів) і водного розчину аміаку (для лужних розчинів).

Схему лінії травлення з відведенням травильного розчину на регенерацію показано на рис. 20.

Впровадження установок електрохімічного відновлення водних розчинів дає змогу:

- повністю усунути злив відпрацьованих травильних розчинів і витрати на їх нейтралізацію й утилізацію;
- на 80 % скоротити непродуктивні витрати хімікатів;
- повернути стравлену із друкованих плат металеву мідь;
- поліпшити екологічну обстановку на ділянці травлення плат.

Запропонована схема дозволяє проводити регенерацію розчинів в процесі травлення та постійного підтримання концентрації елементів, а значить постійну швидкість травлення плат. Одночасно схема такої лінії дає змогу використовувати стравлену мідь в процесах металізації без скидів стічних вод, не допускаючи забруднення навколишнього середовища.

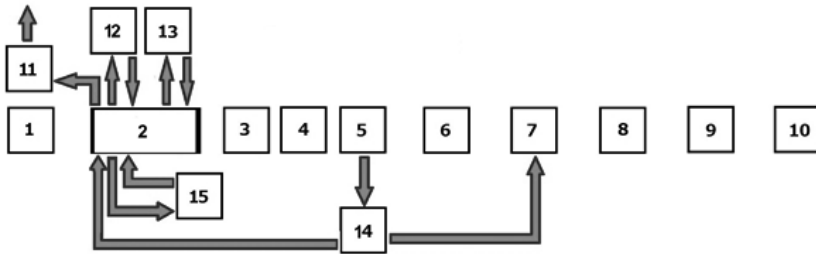


Рис. 20. Схема лінії травлення з відведенням на регенерацію:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1-модуль загрузки | 9-модуль холодної сушки |
| 2-травильний модуль | 10-модуль вигрузки |
| 3-модуль освітлення | 11-очисні споруди підприємства |
| 4-оглядовий модуль | 12-регенератор травильного розчину |
| 5-3-й модуль каскадної промивки | 13-установка нанесення покриттів |
| 6-2-й модуль каскадної промивки | 14-регенератор промивних вод |
| 7-1-й модуль каскадної промивки | 15-фільтраційна установка |
| 8-модуль горячої сушки | |

Використання такої схеми дає можливість усунути накопичення солей в кількості приблизно 1кг з 1 м² підложок друкованих плат та економити за годину роботи лінії за повного завантаження біля 4-5 м³ води, що дає змогу різко підняти рівень екологічної безпеки в місцях виробництва плат.

Розроблено високоефективну технологію та промислову установку з використанням псевдозрідженого шару для утилізації благородних металів, кадмію з промивних вод гальванічних виробництв.

Окремі характеристики установки подано в табл. 9, а фото – на рис. 21 і 22.

Таблиця 9 – Технічні характеристики установки

№ п/п	Технічні характеристики	показники
1	Продуктивність по переробці промивної води	55,0 м ³ /доб
2	Продуктивність по металу	0,2 кг/год
3	Число катодів	4

Виконано оцінювання токсичності та екологічної безпеки територій підприємств виробництва плат та гальваніки до впровадження пропозицій роботи та після використання запропонованих рішень. Для цього враховували міграційну здатність хімічних речовин у поверхневій й підземній воді, нагромадження в ґрунті й рослинах, що виражають через розчинність хімічних сполук у воді. Токсичність відходів характеризується гранично допустимою концентрацією (РМС) речовин у ґрунті і вмісті в загальній масі шламу.



Рис. 21. Установка відновлення кислих водних розчинів

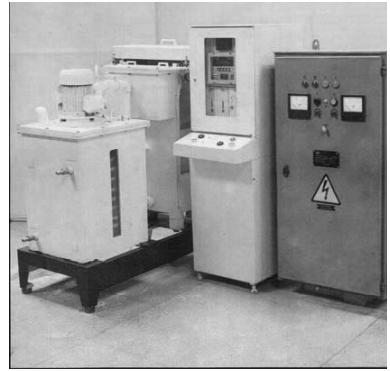


Рис. 22. Установка регенерації кольорових металів з промивних вод

Індекс безпеки окремої хімічної речовини визначали за формулою:

$$K_i = \frac{PMC_i}{(S + C_e)_i}, \quad (13)$$

де, K_i – індекс безпеки; i – порядковий номер даної речовини;

PMC_i – гранично допустима концентрація в ґрунті небезпечної хімічної речовини, що утримується у відходах, мг/кг ґрунту;

S – коефіцієнт розчинності хімічної речовини у воді;

C_e – вміст хімічної речовини в загальній масі відходів, мг/кг;

За результатами проведеного аналізу досліджуваного шламу серед рухливих форм важких металів виявлено хром, залізо, нікель, мідь і цинк. Сумарний індекс безпеки визначали за формулою:

$$K = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (14)$$

де n – кількість небезпечних хімічних речовин, які утримуються в шламів виробництва плат та гальваніки (табл. 10).

Після впровадження устаткування, запропонованих в роботі, значно знижується кількість сполук міді, що виділялась у вигляді шламів (табл. 11). Кількість виділених шламів, що буде створюватись на очисних спорудах сягне мінімальних значень, величину яких можна визначити з таких положень:

– розчин буде працювати без змін 2-3 місяці і при заміні буде злито біля 300 л відпрацьованого розчину;

– розчин утримує 25-30 кг міді, що менш 0,5 кг/добу, а в масі шламів складе 1 кг, що при загальній кількості шламів може не прийматись в розрахунок.

Таблиця 10 – Сумарний індекс безпеки шламу до впровадження пропозицій

Група речовин	PMC_i , мг/кг	$(S + C_e)_i$, мг/кг	K_i	K
Сполуки міді, до впровадження	3	73,98	0,0405	0,7575
		21,15	0,141	

Після впровадження обладнання, запропонованих в роботі, різко падає кількість сполук міді, що виділялась на території підприємств у вигляді шламів.

Таблиця 11 – Сумарний індекс небезпеки шламу після впровадження міроприємств

Група речовин	PMC_i , мг/кг	$(S + C_b)_i$, мг/кг	K_i	K
Сполуки міді, після впровадження	3	0,01	300,0	100
		0,03	100,0	

Встановлено, що сумарний індекс небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки для ДП “Новатор” склали значення 0,012, а після впровадження досягли значень 0,061 внаслідок того, що при місячній однозмінній роботі на склад попаде 2000-2100 кг шламів, а після впровадження менше 1 кг шламів в день.

Показано зростання сумарного індексу небезпеки, про що свідчить проведений в роботі розрахунок та досягнуто значення 0,061<2.

Отже, підприємства повинні розробляти комплекси заходів щодо управління відходами, серед яких можуть бути екологічно безпечними і економічно ефективними використання шламів з одержанням будівельних матеріалів, удобрення сільськогосподарських угідь під суворим контролем відповідних екологічних служб підприємств та державних органів.

Технологічні рішення, запропоновані в роботі, забезпечать усунення зберігання на території підприємств небезпечних шламів, що в свою чергу призведе до покращення екологічної ситуації.

Економічний ефект від впровадження нового обладнання вартістю 450000 грн складе $E_p = (C_1 - C_2) = C_1 - (C_1 - C_m - C_b + K_3 \cdot E_n) = 2847159$ грн, та дасть можливість покращити стан навколишнього середовища в місцях дії підприємств.

У додатках до роботи подано: рекомендований розрахунок окремих елементів установки мідніння-відновлення стічних вод, визначення розміру шкоди від забруднення важкими металами земельної ділянки при виготовленні друкованих плат та гальваніки, документи впровадження, копії патентів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему розвитку теоретичних основ нового екологічно безпечного устаткування для гальванічних технологічних процесів, що забезпечують раціональне використання природних ресурсів і дотримання норм безпечних впливів на довкілля природоохоронними системами постійного очищення, повторного використання металовмісних стічних вод гальванічного виробництва та друкованих плат.

1. Виконано аналіз існуючих проблем гальванічного виробництва, систем управління, накопичення відходів на територіях підприємств. Відзначено, що стан управління екологічною безпекою територій, поведженням з промисловими відходами вимагає вдосконалення контролю і розроблення дієвих заходів для виправлення існуючого стану. Виявлено шляхи зменшення шкідливого екологічного

впливу на довкілля та життєдіяльність людей.

2. Встановлено вплив забруднення ґрунтів на території складування відходів гальванічного виробництва та друкованих плат на основі аналітичного рішення Карслоу-Егера, і показано, що за один рік верхній шар ґрунту товщиною в 0,5 м перейде в категорію слабо засолених, а через 10 років сольовий профіль досягне глибини 1,5 м, що призведе до знищення живих ґрунтових організмів упродовж довгих років і після ліквідації складів зберігання шламів.

3. Розроблено теоретичні засади створення екологічно безпечної технології отримання міді зі стічних вод оптимізацією параметрів технологічного процесу підтриманням комплексу характеристик, зокрема, водневого показника рН, окисно-відновного потенціалу E_h та нових конструкцій титанових електродів з полірованою поверхнею для стабільності технологічного процесу. Це забезпечує отримання до 1000 кг мідної сировини на одній установці для переплавки та використання як провідникового матеріалу та покращення сумарного індексу небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки більше ніж в 5 разів (з 0,012 до 0,061) без скидів стічних вод у навколишнє середовище, що при місячній однозмінній роботі на склад попаде 2000-2100 кг шламів, а після впровадження менше 1 кг шламів в день.

4. Оптимізовано методами факторного експерименту склад компонентів травильного розчину, який за своїми характеристиками дає змогу забезпечити збалансовані показники швидкості процесу та одночасного відновлення відпрацьованого розчину без скидів у довкілля.

5. Встановлено, що використання нової запропонованої технології обробки стічних вод призводить до зростання сумарного індексу небезпеки шламу з вмістом міді від травлення друкованих плат, відповідно, з 0,7575 до 100, а зменшення складування шламів на території підприємства досягає 2000-2100 кг на місяць для окремого підприємства, що створює умови до покращення екологічної обстановки в районі розміщення гальванічного виробництва.

6. Теоретично обґрунтовано можливість використання екологічно безпечної технології виділеної зі стічних вод міді для металізації підложок друкованих плат, що дало можливість запропонувати конкретні технічні рішення для управління екологічною безпекою, стабілізувати та поліпшити стан довкілля.

7. Удосконалено теоретичні підходи до використання установок з використанням псевдозрідженого шару струмонепровідних частин та запропоновано конструкцію установки для очищення промивних стічних вод з малими концентраціями шкідливих речовин при остаточній концентрації металу в промивній воді в межах 0,002-0,005 г/л, використання яких запобігає формуванню високотоксичних речовин і сприяє забезпеченню екологічної безпеки.

8. Теоретично обґрунтовано можливість використання електрохімічних методів для визначення товщини покриттів оловом на мідній основі, що дає змогу автоматизувати процес виготовлення плат і забезпечує його інтегрування у загальну систему забезпечення екологічної безпеки.

9. Розроблено математичні моделі металізації плат з відпрацьованих розчинів з використанням методу інтегральних рівнянь для процесу електроосадження міді з розчинів сірчанокислового, борофтористоводневого, пірофосфатного і етилендіамінового електролітів, що забезпечують усунення скидів стічних вод у навколишнє середовище.

10. Удосконалено теоретично та підтверджено експериментально можливості використання електродів з нержавіючої сталі І2ХІ8НТ під час видалення важких металів, що дає можливість запропонувати конкретні технічні рішення для управління екологічною безпекою.

11. Розроблено математичну модель процесу фільтрування стічних вод з постійною і змінною концентрацією домішок через пористі середовища із спадною швидкістю, що дає змогу забезпечити додержання встановлених нормативів у воді та мінімізувати негативний вплив рідких скидів у водні об'єкти.

12. Запропоновано методи використання осадів вод очисних каналізаційних споруд міст для збагачення родючості ґрунтів, що дозволяє вирішити окремі питання системи забезпечення екологічної безпеки довкілля.

Розроблено технологію використання виділених важких металів та зменшення складування за цей рахунок шламів на 2000 кг в місяць, яку апробовано та впроваджено на ПАТ “Новатор”, ПП “Рематоменерго”, “ПАТ Завод Темп”, що забезпечить суттєве підвищення екологічної безпеки об'єкта та дає до 1000 кг мідної сировини.

Дані дисертаційних досліджень захищено 3 патентами України, використано при розробленні конструкторської документації установок відновлення стічних вод та в навчальному процесі Хмельницького національного університету в нормативних дисциплінах “Основи екології та промекології”, “Охорона праці та утилізація відходів”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Монографії:

1. **Нестер А. А.**, “Очистка стічних вод виробництва друкованих плат”, Монографія, Хмельницький, ХНУ, 219 с., 2016.

2. **Нестер А. А.**, Корчик Н.М., Баран Б.А. “Стічні води підприємств та їх очищення”. Монографія. Хмельницький, ХНУ171 с., 2008.

Статті, які належать до наукометричних баз даних та фахових видань України:

3. **Nester A.A.**, Nikitin O.O., Romanishina O.V., Mitiuk L.O., Polukarov Yu.O. “Achieving environmental security with economic impact,” *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020, № 6. С.115-120. <https://doi.org/10.33271/nyngu/2020-6/115>. (SciVerse Scopus).

4. **Nester A. A.**, Tretyakova L.D., Mitiuk L.O., Prakhovnik N.A., Husiev A.M. “Remediation of Soil Containing Sludge Generated by Printed Circuit Board Production and Electroplating,” *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 2020, №4, pp. 68-75, <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ere.m.76.4.25460>. (SciVerse Scopus).

5. **Нестер А.А.**, Никитин А.А., Романишина О.В., Мыслиборский В.В., Атаев С.В., Тютюнник О.С., Гордий Н.М. “Экономический эффект экологической безопасности гальванического производства,” *Теоретическая и прикладная экология*, 2020, №4, pp. 86-92. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-086-092. (Web of Science Core Collection – Emerging Sources Citation Index (ESCI), Scopus)

6. Погребенник В.Д. та **Нестер А.А.**, “Оцінювання ризику від аварійних ситуацій під час зберігання відходів гальваніки,” *Екологічна безпека та природокористування*, №1 (33), с. 75-86, 2020. (Index Copernicus, Google Scholar)

7. Погребенник В.Д. та **Нестер А.А.**, “Очищення стічних вод гальванічних

виробництв: екологічні та економічні аспекти,” *Енергетика: економіка, технології, екологія*, № 4, с. 108-113, 2019. (Index Copernicus, Ulrich's Web Global Serials Directory, Research Bib, Google Scholar)

8. **Нестер А.А.**, “Обґрунтування видобутку міді з стічних вод,” *Металургійна та гірничорудна промисловість*, №5 (314), с. 94-98, 2018. DOI: 10.33101/S005-4968296.

9. **Нестер А.А.**, “Оцінка екологічної безпеки територій підприємств виробництва плат та гальваніки,” *Екологічна безпека та природокористування*, № 3-4(24), с. 39-43, 2017. (Index Copernicus, Ulrich's Web Global Serials Directory, Research Bib, Google Scholar)

10. **Нестер А.А.**, “Наслідки забруднення ґрунтів шламами цехів друкованих плат та гальваніки,” *Екологічна безпека*, № 1 (23), с. 54-57, 2017. (Index Copernicus, Ulrich's Web Global Serials Directory, Google Scholar)

11. **Нестер А.А.**, “Екологічні аспекти ризику виробництва плат та гальваніки,” *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, №1(15), с. 160-167, 2017.

12. **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Модель фільтрування,” *Вісник національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Нові рішення в сучасних технологіях,”* №18, с. 103-107, 2012.

13. **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Фільтрування через пористі середовища із спадною швидкістю,” *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №2, с. 41-45, 2012.

14. **Нестер А.А.**, Демчик С.П. “Масоперенос у фільтрах з неоднорідним завантаженням,” *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*, №2(8), с. 59-64, 2012.

15. **Нестер А.А.**, Білик А. П., Демчик С. П., “Масоперенос водних розчинів у двошарових фільтрах,” *Вісник ХНУ*, №6, с. 57-60, 2012.

16. **Нестер А.А.**, “Дослідження електродів,” *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*. Випуск №3 (20), с. 145-149, 2012.

17. Корчик Н.М., **Нестер А.А.**, Белікова С.В., “Накопичення та формування стоку при очищенні стічних вод гальванічного виробництва,” *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1, с. 152-156, 2012.

18. **Нестер А.А.**, Демчик С.П. “Фільтрування відпрацьованих водних розчинів”. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1, с. 84-88, 2011.

19. **Нестер А.А.** “Підвищення екологічної безпеки відпрацьованих вод”. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №2, с. 60-63, 2011.

20. **Нестер А.А.**, Рогов В.М. “Очищення стічних вод з використанням цеолітів,” *Проблеми екології*, № 1_2, Донецьк, с. 62-67, 2010.

21. **Нестер А.А.**, “Використання осадів водних розчинів,” *Наук.-техн. збірник “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки” Київського національного університету будівництва і архітектури*, Випуск 12, с. 89-93, 2009.

22. **Нестер А.А.**, Стрельбицький В.В., “Розрахунок замкнених систем водного господарства,” *Наукові праці. Серія “Техногенна безпека,” Миколаїв*, Випуск 64, Том 77, с. 80-

82, 2008.

23. **Нестер А.А.**, “Коригування складу водних розчинів автоматизованих ліній травління друкованих плат,” *Наук.-техн. збірник “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки” Київського національного університету будівництва і архітектури*, Випуск 10, с. 95-101, 2008.

24. **Нестер А.А.**, Романішина О.В., “Дослідження процесу міднення в установках регенерації,” *Вісник ХНУ. Технічні науки*, №1. с. 79-83, 2007.

25. **Нестер А.А.**, Стрельбицький В.В. “Питання розрахунку апаратів в установках відновлення води”. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2007. №1(29). С. 24-27.

26. **Нестер А.А.**, “Коректування мідно-лужних розчинів в процесі відновлення,” *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1(27), с. 26-29, 2006.

27. **Нестер А.А.**, Романішина О.В., “Визначення характеристик розчинів для повторного використання,” *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №1. с. 37-41, 2005.

28. Корчик Н.М., **Нестер А.А.**, Романішина О.В., “Відновлення водних хлоридних травильних розчинів,” *Вісник ХНУ*, №1(65), с. 178-182, 2005.

Статті в закордонних спеціалізованих періодичних виданнях:

29. **Нестер А.А.**, “Решения электрохимической технологии для извлечения меди из сточных вод,” *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, №2(235), с. 176-182, 2020.

30. **Нестер А.А.**, “Медь со сточных вод,” *Вестник Гродзенскага Дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы*, Серыя 6, Том 8, №2, с.17-22, 2018.

31. **Нестер А.А.**, “Эколого-экономические аспекты регенерации отработанных растворов травления гальванических производств,” *Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*, №3, с. 52-59, 2018. (eLIBRARY.RU, РИНЦ)

32. **Нестер А.А.**, “Влияние меди из сточных вод машиностроительного предприятия,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Випуск 4, с. 295-301, 2018. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

33. **Нестер А.А.**, Евграшкина Г.П., Никитин А.А., “Прогноз загрязнения водоносного горизонта на участке сброса отработанного раствора, содержащего медь,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. Випуск 12, часть 2, с. 151-156, 2017. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

34. Лукьянова В.В., **Нестер А.А.**, “Статистическая оценка деятельности машиностроительного предприятия в условиях экологического риска,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Випуск 7, с. 190-191, 2017. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

35. **Нестер А.А.**, Евграшкина Г.П., “Прогноз загрязнения машиностроительного предприятия шламами при производстве плат и гальваники,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Випуск 6, с. 199-200, 2017. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

36. Лукьянова В.В., **Нестер А.А.**, “Оценка экологического риска

машиностроительного предприятия при производстве плат и гальваники,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Выпуск 5, с. 141-151, 2017. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

37. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Оценка сложности задач теории фильтрации и применение математических методов анализа,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Выпуск 5, с. 254-260, 2016. (eLIBRARY.RU, РИНЦ)

38. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, “Обработка сточных вод участков печатных плат,” *Вестник ЯрГУ им. П.Г. Демидова. Серия Естественные и технические науки*, №3, с. 64-70, 2015. (eLIBRARY.RU, Перечень ВАК РФ)

39. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Фильтрация водных растворов и обобщения,” *Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы*, Серия 6, Том 6, №1, С.41-49, 2016.

40. **Нестер А.А.**, Рогов В.М., “Регенерация сточных вод производства печатных плат,” *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия*, Том 2(60), Выпуск 1, с. 72-79, 2015. (Chemical Abstracts Service, РИНЦ, EBSCO, EastView.).

41. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, “Определение параметров обработки технологических вод участков печатных плат,” *Вестник науки Сибири. Томский политехнический университет*, Спецвыпуск (15), с. 28-36, 2015.

42. **Нестер А.А.**, Рогов В.М., “Фильтрация вод участков печатных плат. Региональная архитектура и строительство,” *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*, №4(21), с. 127-131, 2014.

43. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, Мыслиборский В.В., “Очистка растворов, содержащих краситель метиловый фиолетовый,” *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности*, №4, с. 114-117, 2014.

44. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, Мыслиборский В.В., “Очистка отработанных водных растворов гальванических цехов,” *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*, №3(15), с. 96-110, 2014.

45. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, “Регенерация отработанных растворов производства плат,” *Вести высших учебных заведений Черноземья. Липецкий государственный технический университет*, №2, с. 36-44, 2014.

46. **Нестер А.А.**, Рогов В.М., “Очищение вод участков печатных плат,” *Вестник Калужского университета*, №1, с. 26-30, 2014.

47. Рогов В.М., **Нестер А.А.**, “Восстановление сточных вод печатных плат,” *Вестник Тверского государственного технического университета*, №1, (25), с. 64-72, 2014.

48. **Нестер А.А.**, “Контроль покрытия печатных плат,” *Вестник Витебского государственного технологического университета*, №25, с. 99-103, 2013.

49. **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Модель фильтра постоянного сечения с однородной отработкой загрузки,” *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей*

среди, транспорт, безопасность жизнедеятельности, №1, с.105-112, 2013. (РИНЦ).

50. Рогов В.М., Корчик Н.М., **Нестер А.А.**, “Восстановление травильных растворов в четырехкамерном электролизере,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Выпуск 6, Часть 1. с. 75-83, 2013. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

51. **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Фильтрование отработанных водных растворов в гальваническом производстве,” *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*, №18(44), с. 79-82, 2013. (РИНЦ).

52. **Нестер А.А.**, Демчик С.П., “Повышение производительности фильтров с нисходящей скоростью,” *Веснік Гродзенскага Дзяржаўнага Універсітэта імя Янкі Купалы*, Серыя 3 (137), с.87-92, 2012.

53. **Нестер А.А.**, “Восстановление меднохлоридных травильных растворов,” *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, Выпуск 12, Часть 2, с. 145-151, 2012. (eLIBRARY.RU, РИНЦ).

54. **Nester A.A.**, Drapak G.M., Kovtun I.I., “The Coat Control in Automatic Manufacturing Printed Circuit Boards,” *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol.18, No. 3A, Olsztyn, pp. 281-284, 2009.

55. **Nester A.A.**, Drapak G.M., “Microstructure research and recovery copper technology, released from restored water solutions,” *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol.17, No. 3A, Olsztyn. pp. 423-426, 2008. (Chemical Abstracts, Ulrich's International Periodicals Directory, CAB International, Environmental Abstracts).

56. Kalda G., **Nester A.**, Sokolan K., “Analysis of solutions polluting water from etching printed circuit boards,” *Zeszyty naukowe politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i inzynieria srodowiska. Aktualne problemy budownictwa i inzynierii srodowiska. Czesc 2– inzynieria srodowiska*, Rzeszow, №211, z.37, pp. 159-163, 2004. (BazTech, Google Scholar)

Публікації в матеріалах конференцій:

57. Придолоба А.В., **Нестер А.А.**, “Безпека територій підприємств гальванічного виробництва,” на *XII наук.-техн. конф. Інституту енергозбереження та енергоменеджменту “Енергетика. Екологія. Людина”*. НТУУ КПІ ім. І.Сікорського, Київ, 7-8 травня 2020 р., с. 340-346.

58. **Нестер А.А.**, “Екологічні проблеми України в сучасних умовах,” на *XVIII Всеукр. наук.-техн. онлайн-конф. “Актуальні проблеми енергетики та екології”*, Одеса, 29-30 вересня 2020 р., ФОП Бондаренко М.О., с. 228-233.

59. **Нестер А.А.**, “Стан екологічних проблем України та задачі освіти,” на *X Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції “Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку”*, ТЕБ-2020, УДФСУ, Ірпінь, 20-29 жовтня 2020 р., с. 225-231.

60. **Нестер А.А.**, “Сучасні екологічні проблеми України умовах децентралізації,” на *наук.-практ. інтерн.-конф. фак.-ту інженерів землевпорядкування “Управління земельними ресурсами в умовах проведення децентралізації та диджиталізації”*, ХНАУ ім.Докучаєва, Харків, 23 вересня 2020 р. с. 28-33.

61. **Нестер А.А.**, Oliynyk Nadine, Мітюк Л.О., Луц Т.Е., “Способи покращення екологічного стану територій під час зберігання токсичних відходів,” на *III Міжн. наук.-практ. конф. “Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи,”* ТОВ Основа, Київ, 2–3 червня 2020 р., с. 255-263.

62. Pohrebennyk V.D., **Nester A.A.**, Prydoloba A.V., “Pollution of the territories of board’s production,” на *IV Міжн. наук.-практ. конф. “Прикладні науково-технічні дослідження,”* ФОП Семко Я.Ю., Івано-Франківськ, 1-3 квітня 2020 р., с. 90-92.

63. **Нестер А.А.**, Янушевська Т.Б., “Ризик зберігання гальванічних відходів на землях підприємств,” на 73-й наук. інтерн.-конф. асп., маг. та здобувачів. Харків, Харківський нац. аграрн. ун-тет ім. В.В. Докучаєва, 21 квітня 2020 р., с. 38-42.

64. **Нестер А.А.**, “Очистка сточных вод операций травления печатных плат,” на *межд. научн.-практ. конф. “Передовые технологии в системах водоотведения населенных мест,”* УО БГТУ, Минск-Водоканал, 12-13.02.2020 г., с. 210-213.

65. **Нестер А.А.**, “Зменшення забруднення територій під будівництво та сільськогосподарське виробництво,” на *Всеукр. наук.-практ. конф., присв. 75-річчю факультету інженерів землевпорядкування “Геодезія та землеустрій: Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку,”* ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, Харків, 25 вересня 2019 р., с. 22-27.

66. **Нестер А.А.**, “Утилізація відходів травлення друкованих плат та гальваніки,” на *XVII Міжн. наук.-техн. конф. “Проблеми екологічної безпеки,”* КНУ ім. М.Остроградського, Кременчук, 02-04 жовтня 2019 р., с. 35-39.

67. **Нестер А.А.**, “Екологічна безпека територій підприємств виробництва плат та гальваніки,” на *XIII Міжн. наук.-техн. конф. “Проблеми екології та енергозбереження,”* Видавець Торубара В.В., Миколаїв, 20-22 вересня 2019 р., с. 97-101.

68. **Нестер А.А.**, Мітюк Л.О., Зацарний В.В. Луц Т.Є., “Проблеми охорони праці та екології на підприємствах з гальванічними відходами,” на *II Міжн. наук.-практ. конф. “Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи,”* ТОВ Основа, Київ, 4–5 червня 2019 р., с. 222-228.

69. **Нестер А.А.**, “Екологічний ризик виробництва плат,” на *XVI Міжн. наук.-техн. конф. “Проблеми екологічної безпеки,”* КНУ ім. М.Остроградського, Кременчук, 04-06 жовтня 2018 р., с.103-106.

70. **Нестер А.А.**, “Забруднення ґрунтів шламами цехів друкованих плат та гальваніки,” на *XII міжн. наук.-техн. конф. “Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні,”* НУК, Миколаїв, 22-24.09.2017 р., с. 105-108.

71. **Нестер А.А.** та Демчик С.П., “Завдання фільтрування водних розчинів та застосування математичних методів аналізу,” на *X межд. научн.-практ. конф., посвященной 90-летию Днепропетровского гос. аграрн. ун-та “Вода: проблемы и решения,”* ВТЦ Гамалія, Днепропетровск, 20.09.2012 г., с. 133-138.

72. **Нестер А.А.**, Демчик С.П., Смирнов А. Г., “Статистическая интерпретация модели фильтрования,” на *Третья Всерос. научн.-техн. конф.*

“Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология,” КНИТУ, Казань, 23-25 мая 2012 г., с. 121-124.

73. **Нестер А.А.** та Білик А.П., “Очищення стічних вод кадмієвих покрить,” на *Всеукр. наук.-практ. конф. “Екологічна безпека держави,”* КНАУ, Київ, 17-18.04.2012 р., с. 226-227.

74. **Нестер А.А.** та Мітюк Л.О., “Обработка технологических растворов производства друкованих плат,” на *IX Всеукраїнська науково-практична конф. “Вода: проблемы и решения,”* ВТЦ Гамалія, Дніпропетровськ, 10.12.2009 р., с. 238-242.

75. **Нестер А.А.** “Створення автоматизованих ліній травлення плат з установками відновлення води,” на *11 Всеукр. наук.-практ. конф. “Географія та екологія: наука і освіта,”* УДПУ, Умань, 17-18 квітня 2008 р., с. 157-159.

76. **Нестер А.А.,** Рогов В.М. “Розрахунок замкнених систем водного господарства,” на *наук.-практ. конф. Полігони твердих побутових відходів. Проблеми управління та екологічного регулювання,* НПЦ Екологія, Наука, Техніка, Ярмеч, Івано-Франківська обл., 25-29 лютого 2008 р., с. 76-79.

Патенти:

77. Деклараційний патент №30791А. Спосіб регенерації хлоридних травильних розчинів. Н.М.Корчик, **А.А.Нестер**, заявл. 02.06.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. №7-11.

78. Деклараційний патент №48450А. Спосіб видалення міді з розчинів аміакатних комплексів. Н.М.Корчик, **А.А.Нестер**, В.С.Шугайлов заявл. 06.08.2001; опубл. 15.08.2002. Бюл. №8.

79. Деклараційний патент №48449А Спосіб відновлення міднохлоридного травильного розчину в діафрагмовому електролізері. Н.М.Корчик, **А.А.Нестер**, В.С.Шугайлов заявл. 06.08.2001; опубл. 15.08.2002. Бюл. №8.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві полягає в наступному: [2] – розробив розділ “Очищення стічних вод”; [3-5] – огляд літератури та проведення досліджень, висновки за отриманими результатами; [6, 7, 57, 61-63, 73] – розроблення методики проведення досліджень та пропозицій поліпшення екологічного стану територій; [12-15, 18, 37, 39, 42, 49, 51, 52, 72] – постановка проблеми та визначення основних напрямків досліджень, математична обробка; [17, 22, 27, 28] – обґрунтування небезпеки від накопичення відходів, постановка та проведення досліджень; [24, 25] – визначення напрямків досліджень, проведення досліджень, висновки; [33, 35] – визначення екологічної небезпеки, проведення математичних розрахунків, визначення напрямків робіт після отримання результатів; [34, 36] – оцінка ризиків та загроз навколишньому середовищу, визначення напрямків досліджень; [38, 40, 41, 43-47, 50, 54-56, 74] – визначення напрямків досліджень, узагальнення отриманих результатів; [77-79] – запропоновано технічну ідею патентів, узагальнення результатів; [68, 76] – визначення кількісних показників викидів в навколишнє середовище та проаналізовано накопичення гальванічних відходів та техногенний вплив на працівників різних галузей.

АНОТАЦІЯ

Нестер А.А. Наукові основи підвищення рівня екологічної безпеки гальванічного виробництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

Розроблено наукові засади та визначено параметри для створення автоматизованого обладнання очищення водних розчинів, повторного використання стічних вод, обґрунтовано теоретичні основи підвищення екологічної безпеки місць виготовлення плат. Виконано оцінювання рівня ризиків забруднення навколишнього середовища в місцях розташування гальванічних цехів та виробництва плат. Виконано прогноз забруднення ґрунтів та порід на території складування шламів. Встановлено вплив техногенних елементів на якість навколишнього середовища та намічені інженерні шляхи підвищення екобезпеки довкілля.

Створено методи та технології обробки води, травильних розчинів, промивних вод для забезпечення впровадження систем різкого зменшення використання води в процесах обробки друкованих плат, гальваніки, утилізації, повторного використання вловленої міді для металізації. Знайдено умови для контролю процесу покриття оловом в лініях з водними розчинами хроновольтамперометричним та хронопотенціометричним методом для автоматизації процесу травлення плат.

Запропоновано схеми, випробувано процеси очищення промивних стічних вод процесів кадміювання та інших важких металів в установці з використанням псевдозрідженого шару струмонепровідних частин для очищення промивних стічних вод з малими концентраціями. Розроблено математичну модель процесу фільтрування стічних вод з постійною і змінною концентрацією домішок через пористі середовища із спадною швидкістю, що направляються на відновлення початкових якостей травильного розчину та отримано рівняння для визначення часу захисної дії фільтра. Запропоновано спосіб зміни редокс-потенціалу, який дозволяє інтенсифікувати процес відновлення водного розчину внаслідок підвищення виходу міді на катоді за струмом і зменшення кількості водного травильного розчину, який подається на відновлення, здешевити процес обробки водних міднохлоридних розчинів.

На базі запропонованих рішень розроблено екологічно безпечні, енергоощадні технології системи оборотного водопостачання

Ключові слова: екологічна безпека, промислові стічні води, відходи, гальванічне виробництво, важкі метали, регенерація, друковані плати, утилізація, металізація.

АННОТАЦИЯ

Нестер А.А. Научные основы повышения уровня экологической безопасности гальванического производства. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Государственная

экологическая академия последипломного образования и управления, Киев. –2021.

Диссертация посвящена разработке нового подхода к процессам повышения экологической безопасности мест, где производятся печатные платы, имеются цехи гальваники и которые являются источниками загрязнения внешней среды.

Проведена диагностика и оценка уровня рисков загрязнения окружающей среды в местах расположения гальванических цехов и производства плат. Выполнен прогноз загрязнения почв и пород на территории складирования шламов. Определено влияние техногенных элементов на качество окружающей среды и намечены инженерные пути повышения экобезопасности окружающей среды.

Разработаны новые подходы к очистке сточных вод, повторного их использования в технологическом процессе для металлизации плат. Обоснованы теоретические основы повышения экологической безопасности мест изготовления плат. Предусмотрено, что все работы будут выполняться в автоматизированном производстве, позволяющем удерживать высокое качество плат и других изделий, а также обеспечат отсутствие ручного труда. Для обеспечения автоматизированного производства выполнен ряд испытаний, который позволил спроектировать соответствующие процессы. Для поддержания рН раствора сточных вод предложены схемы, удобные для применения в реальном производстве-физическая десорбция, противоточная бесконечная десорбция, простая перегонка, ректификация.

Для интенсификации процесса восстановления водного травильного раствора предложено проводить процес восстановления водного травильного раствора путем осаждения металлической меди в замкнутой катодной камере при регулировании редокс-потенциала.

Найдены условия для контроля процесса покрытия оловом в линиях с водными растворами, разработан и освоен процесс измерения толщины покрытия оловом, способами, дающими возможность их применения в автоматизированном производстве и расширяющим возможности их применения по сравнению с капельным.

Исследованы, созданы варианты, методы и технологии обработки воды, травильных растворов, промывных вод для обеспечения резкого уменьшения использования воды в процессах обработки печатных плат, гальваники, утилизации, повторного использования выделенной меди для металлизации. Предложена схема постоянного корректирования травильных свойств раствора без сброса сточных вод, которая показала надежность в эксплуатации.

Исследованы свойства выделенной из сточных вод меди, ее основные характеристики-микроструктура, усилия отрыва в зависимости от чистоты электрода, характеристики в зависимости от режимов электролиза, осаждения, скорости протока сточных вод. Определены и предложены рекомендации по использованию выделенной меди в качестве метала для металлизации подложек плат или для самостоятельной и независимой утилизации.

Созданы схемы, испытаны процессы очищения промывных сточных вод процессов кадмирования и других тяжелых металлов в установке с использованием псевдооживленного слоя токонепроводящих частей для очищения промывных сточных вод с малыми концентрациями. Определены материалы для

использования в качестве электродов применительно к различным конструктивным особенностям. Изучено и разработана математическая модель процесса фильтрации сточных вод с постоянной и сменной концентрацией примесей через пористые среды с нисходящей скоростью, которые направляются на восстановление начальных качеств травильного раствора и получено уравнение для определения времени защитного действия фильтра.

Разработано оборудование с применением экологически безопасных, энергосберегающих технологий системы оборотного водоснабжения на базе предложенных решений, использование которого позволит повысить уровень экологической безопасности мест производства плат и предприятий, использующих гальванические цехи.

Ключевые слова: экологическая безопасность, промышленные сточные воды, отходы, гальваническое производство, тяжелые металлы, регенерация, печатные платы, утилизация, металлизация.

SUMMARY

Nester A.A. Scientific bases of level of galvanic production ecological safety elevation. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Doctor's Degree in Technical Sciences. Speciality 21.06.01 - ecological Safety. - State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021.

Scientific bases have been developed and parameters for creation of the automated equipment of clearing of water solutions, reuse of sewage have been defined. The theoretical bases of ecological safety elevation of places of boards manufacturing have been substantiated. The assessment of the level of risks of environmental pollution in the locations of galvanic shops and board production has been performed. The forecast of soil and rock contamination in the territory of sludge storage has been fulfilled. The influence of technogenic elements on the quality of the environment has been established. The engineering ways of environment ecological safety elevation have been planned.

Methods and technologies of water treatment, pickling solutions, washing waters have been developed to ensure the introduction of systems of sharp reduction of water use in the processes of printed circuit board processing, electroplating, utilization, reuse of captured copper for metallization. Conditions of tin coating process check-up in lines with aqueous solutions by chronovoltammetric and chronopotentiometric methods for automation of board etching process have been found.

Schemes have been offered. Processes of cessation of washing sewage of processes of cadmium and other heavy metals in installation with use of a fluidized layer of current-carrying parts for treatment of washing sewage with small concentrations have been tested. A mathematical model of the wastewater filtration process with constant and variable concentrations of impurities through porous media with decreasing velocity, which are sent to restore the initial qualities of the pickling solution, and an equation for determining the time of protective action of the filter have been created. A method of changing the redox potential has been proposed, which allows intensifying the process of reduction of aqueous solution due to increasing the yield of copper at the

cathode current and reducing the amount of aqueous etching solution supplied for reduction, to reduce the cost of processing aqueous copper chloride solutions.

On the basis of the offered decisions ecologically safe, energy saving technologies of system of circulating water supply have been developed

Key words: ecological safety, industrial sewage, waste, galvanic production, heavy metals, regeneration, printed circuit boards, utilization, metallization.

Підписано до друку: 21.01.2021 р.
Формат: 29,7x42¼ Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.
Ум.друк.арк. 1,83. Зам. №56. Наклад: 100 прим.

Друк: ФОП Горенюк Ю. І. «Polylux design & print»
29017 Україна, м. Хмельницький, вул. Зарічанська 22/3
Тел.: (067) 30-70-976, e-mail: polylux.ua@gmail.com