



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **139615** (13) **U**

(51) МПК

**C02F 1/46** (2006.01)

**C02F 1/461** (2006.01)

**C25D 21/16** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2019 07069</b>	(72) Винахідник(и): <b>Большаніна Світлана Борисівна (UA), Сердюк Василь Олексійович (UA), Кириченко Ольга Михайлівна (UA), Склябінський Всеволод Іванович (UA), Зайцева Ксенія Олександрівна (UA), Івченко Вікторія Дмитрівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>25.06.2019</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.01.2020</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.01.2020, Бюл.№ 1</b>	(73) Власник(и): <b>СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</b>

## (54) СПОСІБ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ ХРОМОВІСНИХ РОЗЧИНІВ

### (57) Реферат:

Спосіб електролітичної регенерації хромовісних розчинів містять іони шестивалентного та тривалентного хрому, а також іони домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  включає мембранний електроліз, за яким регенований хромовісний розчин піддають обробці в технологічній ванні, в якій розміщено електрохімічний модуль з катіонообмінною мембраною, де виконаний із титану марки ВТ 1-0 катод встановлено всередині модуля, утворюючи катодну камеру, а анод, виконаний із свинцю марки С2, безпосередньо розміщено в робочому регенованому хромовісному розчині в технологічній ванні. При цьому в катодну камеру заливають розчин католіту і через керуючий засіб катод і анод підключають до джерела електричного живлення, в ході обробки регенованого хромовісного розчину іони тривалентного хрому, за рахунок встановленого впритул до катіонообмінної мембрани, що утворює одну із стінок катодної камери зі сторони анода, фільтруючого полотна, виконаного із тканини поліамідного призначення виборчим для проходження іонів тривалентного хрому до катодної камери, утримуються поблизу анода в робочому розчині ванни, забезпечуючи при цьому процес окиснення на аноді тривалентного хрому в шестивалентний хром, який потім повертають у виробництво, одночасно з процесом окиснення на аноді навколо катода. В катодній камері накопичується розчин домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , які мігрують під дією електричного поля і здійснюють перехід в катодну камеру, досягаючи їх регенерації, де відновлюються до металів, які потім видаляють або повертають у виробничий цикл. Додатково застосовують перемішування розчину, що регенується, за допомогою механічної вертикальної мішалки, розміщеної на відстані між катодною камерою та анодом.

UA 139615 U



Корисна модель належить до електрохімічної регенерації промислових відпрацьованих хромовмісних розчинів, утворених в гальванічному виробництві, зокрема до галузі охорони навколишнього середовища та підвищення екологічної безпеки і зниження техногенного навантаження на довкілля під час нанесення гальванічних покриттів та призначається для зменшення вартості та підвищення якості очищення стічних вод і повернення у виробництво цінного компонента шестивалентного хрому та видаленні іонів  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  з ванн пасивації, запобігання їх попадання в стічні води та можливе повернення у виробничий цикл. Може бути використана на підприємствах машинобудівної, електрохімічної, металообробної та інших галузей виробництва.

Відомий аналог 1 - спосіб регенерації хромовмісних пасивуючих розчинів, що містять іони  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  [Turaev, D. Yu. Use of Membrane Electrolysis for Recovery of Heavy Metal Ions. Russian Journal of Applied Chemistry, 2007. - Vol. 80, № 1. - P. 83-86]. Цей спосіб регенерації було застосовано для регенерації ванн пасивації цинкових та кадмієвих електрохімічних покриттів в ванні пасивації із вмістом натрій дихромату 113 г/л та 9,8 г/л сульфатної кислоти. При проходженні 427,1 А/год. електроенергії було відновлено 4,7 г цинку та 2,0 г кадмію в католіт (1,0N розчин  $H_2SO_4$ ) у вигляді іонів. Витрата електроенергії при цьому склала 4,09 кВт/год. При силі струму від 5 до 10 А напруга в установці варіювала в межах 7-16 В. Розраховані транспортні числа цинку та кадмію виявились невеликими і склали відповідно 0,009 та 0,0022, що пояснюється конкуруючою міграцією іонів гідрогену та натрію, та низькими початковими концентраціями іонів  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  в пасивуючому розчині, що відповідно дорівнювали 1,2 г/л та 0,19 г/л. Не дивлячись на порівняно високі витрати електроенергії: 870 та 2045 кВт/год. кг для іонів цинку та кадмію відповідно, відновлення даних іонів з розчинів пасивації виключає їх скидання до стічних вод.

Також відомим аналогом, досить близьким по технічній суті та результату, що досягається, є регенерація хромовмісних гальванічних розчинів (хромування, пасивація, анодування та ін.) [пат. 2075448 РФ, МПК С02F 1/46. Установка для регенерации хромсодержащих растворов [Текст] /Коноплева Г.В., Николаев В.Н., Шишова О.А., Кондаков В.В.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество Завод "Теплообменник". - № 93057800/26; заявл. 23.12.1993; опубл. 20.03.1997].

Даний спосіб дозволяє проводити електролітичну регенерацію шляхом мембранного електролізу із використанням двокамерного електролізера, який містить катодну та анодну камери з відповідними електродами. При цьому відпрацьований регенерований хромовмісний розчин послідовно піддають спочатку аерації для перемішування з потоками кисню, а потім здійснюють його анодну обробку. В ході обробки із регенерованого хромовмісного розчину видаляють іони механічних домішок, а іони тривалентного хрому окиснюють в хромат. Окрім цього для проведення аерації, охолодження розчинів та подачі робочого розчину в анодну камеру, в якій знаходиться анод, використовують не тільки сам електролізер, а й додаткове обладнання, що значно знижує економічний ефект від самої регенерації за рахунок економічних витрат. Стосовно цього способу значна доля катіонів тривалентного хрому не буде приймати участь в реакції окиснення на аноді, тому що катіони  $Cr^{3+}$  при відсутності фільтрувального полотна без перешкод переходять в катодну камеру і таким чином не регенеруються до шестивалентного хрому.

Найближчим аналогом є регенерація хромовмісних гальванічних розчинів [Пат. 109623 Україна, МПК (2006.01) С02F 1/46. Спосіб електролітичної регенерації хромовмісних розчинів /Большанина С.Б., Аблеева І.Ю., Кириченко О.М., Алтуніна Л.Л., Кліманов О.Б., Сердюк В.О.; заявник та патентовласник Сумський державний університет. - № u201602830; заявл. 21.03.2016; опубл. 25.08.2016, бюл. № 16. - 4 с.] Вказаний спосіб прийнятий за найближчий аналог.

Даний спосіб електролітичної регенерації хромовмісних розчинів дозволяє відновлювати розчини, що містять іони шестивалентного та тривалентного хрому, а також іони домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , шляхом мембранного електролізу. Хромовмісний розчин піддають обробці при мембранному електролізі в технологічній ванні, в якій розміщено електрохімічний модуль з катіонообмінною мембраною, виконаний із титану марки ВТ 1-0 катод встановлено всередині модуля, утворюючи катодну камеру, а анод, виконаний із свинцю марки С2, безпосередньо розміщено в робочому хромовмісному розчині, що регенерують, в технологічній ванні. В катодній камері міститься розчин католіту, а катод і анод через керуючий засіб підключають до джерела електричного живлення. Одночасно з процесом окиснення на аноді навколо катода, в катодній камері накопичується розчин домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , які мігрують під дією електричного поля і здійснюють перехід в катодну камеру, де відновлюються до металів або утворюють в католіті малорозчинні сполуки, які потім видаляють.

В даному способі дослідження проводилися без аналізу процесу відновлення металів на катоді, що не дає можливості встановити механізм процесу регенерації, кінетичні та гідродинамічні параметри ведення електролізу. Окрім цього стаціонарний режим ведення електролізу, без застосування перемішувального пристрою, приводить до перенапруги, концентраційної поляризації і як наслідок гальмується процес транспорту іонів крізь напівпроникну мембрану.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу електролітичної регенерації хромовмісних розчинів шляхом застосування перемішування розчину, що генерується, за допомогою механічної вертикальної мішалки, що сприяє зниженню явища концентраційної поляризації на поверхні мембрани та збільшенню проникної здатності іонів домішкових металів в катодну камеру, що забезпечує інтенсивність технологічного процесу, що значно прискорить і зменшить вартість проведення мембранного електролізу і, як результат, витрати на очищення промислових відпрацьованих хромовмісних розчинів без зниження ефективності самого процесу, сприятиме видаленню із стоків токсичних компонентів та поверненню їх у виробництво, Все це задовольняє екологічним, технічним та економічним вимогам при здійсненні способу електролізу хромовмісних розчинів.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі електролітичної регенерації хромовмісних розчинів, що містять іони шестивалентного та тривалентного хрому, а також іони домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , шляхом мембранного електролізу, за яким регенований хромовмісний розчин піддають обробці в технологічній ванні, в якій розміщено електрохімічний модуль з катіонообмінною мембраною, де виконаний із титану марки ВТ 1-0 катод встановлено всередині модуля, утворюючи катодну камеру, а анод, виконаний із свинцю марки С2, безпосередньо розміщено в робочому регенованому хромовмісному розчині в технологічній ванні. В катодну камеру заливають розчин католіту (1 % розчин сульфатної кислоти), а катод і анод через керуючий засіб підключають до джерела електричного живлення. В ході обробки регенованого хромовмісного розчину іони тривалентного хрому, за рахунок встановленого впритул до катіонообмінної мембрани, що утворює одну із стінок катодної камери зі сторони анода, фільтруючого полотна, виконаного із тканини поліамідного призначення виборчим для проходження іонів тривалентного хрому до катодної камери, утримуються поблизу анода в робочому розчині ванни, забезпечуючи при цьому процесі окиснення на аноді тривалентного хрому в шестивалентний хром, який потім повертають у виробництво. Накопичення іонів  $Cr^{3+}$  між анодом та мембраною з фільтрувальним полотном не відбувається за рахунок постійного механічного перемішування розчину. Одночасно з процесом окиснення на аноді навколо катода, в катодній камері накопичується розчин домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , які мігрують під дією електричного поля і здійснюють перехід в катодну камеру, де відновлюються до металів та можуть повторно повертатись у виробництво або утворюють розчин католіту малорозчинних сполук, які потім видаляють, досягаючи їх регенерації, згідно з корисною моделлю, додатково застосовують перемішування розчину, що генерується, за допомогою механічної вертикальної мішалки, розміщеної на відстані між катодною камерою та анодом.

Механічне перемішування розчину за допомогою мішалки сприяє зниженню явища концентраційної поляризації на поверхні мембрани та збільшенню проникної здатності іонів домішкових металів в катодну камеру, що є інтенсивнішим в 1,5 рази порівняно з найближчим аналогом.

Запропонований спосіб дає можливість довготривалий час використовувати хромовмісні розчини пасивації без заміни ванн. Прилад - модуль електрохімічний з катіонообмінною мембраною та вертикальною дволопатевою механічною мішалкою ( $MEX_{mix}$ ) дозволяє проводити процеси мембранного електролізу безпосередньо у ваннах існуючої гальванічної лінії без додаткових переробок та фільтруючим полотном із тканини поліамідного призначення. Дана перевага забезпечується тим, що анод безпосередньо знаходиться у робочій ванні. Завдяки цьому способу у ванну повертається важливий компонент, який містить  $Cr^{+6}$ . За рахунок цього збільшується строк експлуатації ванн освітлення чи пасивації, зменшуються затрати на приготування нових розчинів. Можливість довготривалий час експлуатувати хромовмісні ванни, не скидаючи в стічні води агресивні та токсичні компоненти із цих ванн, вирішують екологічну задачу - захист навколишнього середовища. І що суттєво, зменшується плата за стоки, їх утилізацію та нейтралізацію. Електрохімічна регенерація технологічних розчинів за допомогою  $MEX_{mix}$  дає значний економічний ефект, тому що знижується споживання хімікатів, які витрачаються при приготуванні розчинів, їх корегування та знешкодження відпрацьованих розчинів та стічних вод. Даний спосіб дозволяє невеликим гальванічним ділянкам обійтися без очисних споруд, а для великомасштабних виробництв суттєво знизити навантаження на очисні споруди за об'ємом стоків і за кількістю видалених із них токсичних компонентів. У результаті,

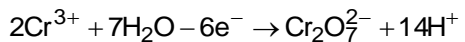
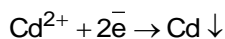
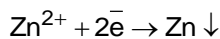
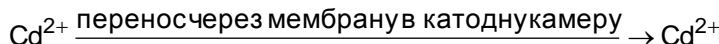
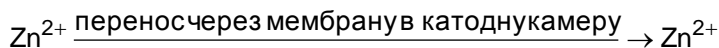
вартість очисних споруд у сумі з додатковими затратами на оснащення цеха зануреними модулями виявляється суттєво нижчими, ніж при відсутності  $MEX_{\text{mix}}$ . Таким чином, запропонований спосіб вирішує поставлену технічну задачу.

5 Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 зображено блок-схему запропонованої установки для електролітичної регенерації хромовмісних розчинів; на фіг. 2 наведені РЕМ-фотографії зразків осадів на катоді при роботі модуля; на фіг. 3 наведені спектрограми зразків катодних осадів, представлених на фіг. 2 та результати їх мікроаналізу (%).

10 Установка містить ванну 5 з регенованим хромовмісним розчином, в якій розміщено  $MEX_{\text{mix}}$  з катіонообмінною мембраною 3, яка виконана з вдосконаленими характеристиками, порівняно з відомими МК-40. В середині корпусу  $MEX$ , розміри якого складають  $100 \times 100 \times 100$  мм, розміщений електрод-катод 2, утворюючи катодну камеру 1. В робочому регенованому хромовмісному розчині розміщений електрод-анод 4 та з боку між мембраною та анодом розміщується вертикальна дволопатева механічна мішалка 7. В анодному просторі впритул до катіонообмінної мембрани 3, яка установлена таким чином, що утворює одну із стінок катодної камери 1 зі сторони анода 4, з боку якого встановлене фільтруюче полотно 6, яке не перешкоджає проходженню іонів домішкових металів і захищає катіонообмінну мембрану 3 від зайвого забруднення. Фільтруюче полотно 6 кріпиться до катіонообмінної мембрани 3 ізольованими болтами з гайками, виготовленими із капролону, і виконане із тканини поліаміду спеціального призначення. Розміри катіонообмінної мембрани 3 виконані більшими на 5-10 мм, ніж розмір виїмки у стінці катодної камери 1, тобто що за площиною відповідає площині анода 4. Анод 4 та катод 2 підключені до джерела постійного струму через керуючий засіб, який забезпечує можливість їх періодичного відключення. Вихідним розчином (анолітом) є робочий регенований хромовмісний розчин, який знаходиться у ванні. Анод 4 виконаний із свинцю марки С2, розміром  $3 \times 50 \times 50$  мм, площиною  $S_A = 0,5 \text{ дм}^2$ . Катод 2 виконаний із титану ВТІ-0 розміром  $2 \times 20 \times 60$  мм,  $S_K = 0,24 \text{ дм}^2$ . Відстань між електродами становить 30-38 мм. В катодній камері 1 знаходиться католіт - 1 % розчин сульфатної кислоти, при цьому об'єм католіту складає 0,5 л, електроліз проводять при катодній густині струму  $\rho_A = 5-10 \text{ А/дм}^2$ .

Спосіб здійснюють таким чином.

30 Відпрацьований регенований хромовмісний розчин подають у технологічну ванну 5, в якій розміщено  $MEX_{\text{mix}}$  з катіонообмінною мембраною 3. Катодну камеру 1, в якій розміщено катод 2, заливають розчином католіту. Анод 4 безпосередньо розміщують в ванні 5 і на анод 4 та катод 2 подають постійний струм. Після ввімкнення електричного струму запускають механічну вертикальну дволопатева мішалку 7. Починається процес регенерації хромового ангідриду, первинний склад ванни відповідає ТУ і складає (г/л):  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  50;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (98 %) 10. Іони  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  та будуть переходити в катодну камеру 1 та відновлюватися до металів на катоді 2, а йони  $\text{Cr}^{3+}$  будуть окиснюватися на аноді 4 в  $\text{Cr}^{6+}$  з одночасним підкисленням розчину.



45 Таким чином, у процесі регенерації разом з іонами домішкових металів ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ) в напрямку катода 2 захоплюються йони  $\text{Cr}^{3+}$ , але фільтруюче полотно 6 та катіонообмінна мембрана 3 пропускають в катодну камеру 1 тільки йони домішкових металів, утримуючи йони  $\text{Cr}^{3+}$  поблизу анода 4 в робочому хромовмісному розчині ванни 5, що сприяє участі іонів  $\text{Cr}^{3+}$  в процесі окиснення на аноді 4, переходячи в  $\text{Cr}^{6+}$ , які потім повертають у виробництво. Між катодною камерою 1 та анодом 4, на деякій відстані з боку, розміщується дволопатева вертикальна механічна мішалка 7, яка перемішує розчин, що регенерується, створюючи при цьому потік електроліту між мембраною, вкритою фільтрувальним волокном 6, та анодом 4, що сприяє інтенсифікації процесу окиснення іонів  $\text{Cr}^{3+}$  внаслідок зниження концентрації в прианодній зоні та відведення продукту реакції. Механічне перемішування розчину сприяє зниженню явища концентраційної поляризації на поверхні мембрани та збільшенню проникної здатності іонів домішкових металів в катодну камеру 1. Домішкові йони металів  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  в катодній камері 1 на катоді 2 відновлюються до металів, які потім видаляють, або якщо

технологічні лінії кадмування та цинкування розділені, то утворені на катоді метали застосовують вторинно, використовуючи їх як аноди в ваннах відповідного електрохімічного покриття.

Для встановлення елементарного складу продуктів, що виділяються на катоді 2, використовували метод електронної мікроскопії. Зразки досліджуваних катодних осадів розміщували на двосторонню вуглецеву липку стрічку. Підготовані зразки поміщували в електронний мікроскоп "РЭМ-106-и" (виробництво ВАТ "SELMI", Україна) та досліджували при прискорюючій напрузі 20 Kv в режимі вторинних електронів в діапазоні електронно-оптичного збільшення від 600 до 6000 крат. Програмне забезпечення мікроскопа дозволило провести встановлення складу зразків рентгенофазовим аналізом на рентгенівському дифрактометрі ДРОН - 1- УМ в кобальтовому  $K\alpha$  - випромінення зі швидкістю 1 град/хв. Масову частку елементів в локальних ділянках зразків та усереднену з поля огляду визначали на "РЭМ-106-и" методом рентгенівського мікроаналізу за величинами енергій характеристичних рентгенівських піків кожного хімічного елемента. Результати представлені на Фіг. 2, 3. Проведений аналіз катодних осадів, що утворилися при роботі модуля, за допомогою методів електронної мікроскопії показав, що в складі осадів присутні атоми металів, яких на початку процесу в складі католіту не було. На Фіг. 2 наведені РЕМ-фотографії зразків осадів на катоді при роботі модуля: а) - аноліт містить іони  $Gd^{2+}$  (2,5 г/л),  $\times 3930$ ; б) - аноліт містить іони  $Zn^{2+}$  (2,5 г/л) і  $Cd^{2+}$  (2,5 г/л),  $\times 1880$ . На Фіг. 3 наведені спектрограми зразків катодних осадів та результати їх мікроаналізу: а) - аноліт містить іони  $Cd^{2+}$  (2,5 г/л); б) - аноліт містить іони  $Zn^{2+}$  (2,5 г/л) та  $Cd^{2+}$  (2,5 г/л). Спектрограми містять дані про усереднений відсотковий вміст елементів в зразках катодних осадів. Як випливає з даних спектрограм в зразках катодних осадів присутні метали, які були добавлені в розчин аноліту, а саме кадмій та цинк. Їх відсотковий вміст в осаді досягає 95-98 %. Присутність хрому в складі осаду можна вважати несуттєвим (менше 1 %).

Приклад.

Штучно створені хромовмісні розчини об'ємом 4,5 л, які вміщували (г/л):  $Na_2Cr_2O_7$  50;  $H_2SO_4$  (98 %) 10, а також іони  $Zn^{2+}$  1,755 та 5,8,  $Cd^{2+}$  3 та 10, тобто за молярними концентраціями 0,027 моль/л та 0,089 моль/л. Під час подання постійного струму силою 1,5 А, катодною густиною струму 8,3 А на електроди 2 та 4 в ємності 5 електролізера починається процес виділення кисню та очищення розчину від іонів домішкових металів. У процесі електролізу разом з йонами  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  проходять в катодну камеру 1 через мембрану 3 йони натрію та гідроксонію. Між мембраною 3, фільтрувальним полотном 6 та анодом 4 завдяки роботі вертикальної дволопатевої механічної мішалки 7 створюється потік рідини, який інтенсифікує процеси переносу домішкових йонів через мембрану до катодної камери. В катодній камері 1 католітом є 1 % розчин сульфатної кислоти, в процесі електролізу рН підтримують в межах 1-1,8. При таких значеннях рН на катоді виділяються метали цинк та кадмій та не відбувається залуговування при катодній зоні. Результати проведених досліджень зображено в таблиці 1.

Таблиця 1

Динаміка виділення металів на катоді за різних концентраціях їх в аноліті та наявності або відсутності механічного перемішування

№ дослід-ду	вміст $Zn^{2+}$ , г/л	вміст $Zn^{+2}$ моль /л	вміст $Cd^{2+}$ г/л	вміст $Cd^{2+}$ , моль/л	час електролізу, год.	Маса металу, що виділилася на катоді	швидкість виділення металу, г/год.	швидкість виділення металу, моль/год.	наявність перемішування аноліту
1	1,755	0,027			6	0,538	0,09867	$13,8 \cdot 10^{-4}$	-
2	1,755	0,027			6	0,529	0,08817	$13,6 \cdot 10^{-4}$	+
3	5,8	0,089			6	0,696	0,1093	$16,8 \cdot 10^{-4}$	-
4	5,8	0,089			6	0,968	0,1613	$24,8 \cdot 10^{-4}$	+
5			3	0,027	6	0,538	0,08967	$8,0 \cdot 10^{-4}$	-
6			3	0,027	6	0,821	0,1368	$12,2 \cdot 10^{-4}$	+
7			10	0,089	6	1,323	0,2205	$19,7 \cdot 10^{-4}$	-
8			10	0,089	6	1,932	0,322	$28,8 \cdot 10^{-4}$	+

Аналізуючи результати таблиці 1, можна зробити висновок: перемішування аноліту не дає результату при концентрації іонів  $Zn^{2+}$  0,027 моль/л;

перемішування аноліту з концентрацією іонів  $Zn^{2+}$  0,089 моль/л збільшує процес виділення цинку на катоді на 47,6 %;

перемішування аноліту з концентрацією іонів  $Cd^{2+}$  0,027 моль/л збільшує процес виділення кадмію на катоді на 52,5 %;

5 перемішування аноліту з концентрацією іонів  $Cd^{2+}$  0,089 моль/л збільшує процес виділення кадмію на катоді на 46,2 %. Для перемішування використовували механічну вертикальну дволопатеvu мішалку з приводом від електричного двигуна, що працював під напругою 220 В та використовував струм силою 0,3 5 А. Робочу силу струму визначали за допомогою мультиметру DT-339 В. При електролізі постійно підтримували струм силою 1,5 А, тобто сумарно  
10 електролізер разом з мішалкою споживав 1,85 А/год. При регенерації хромовмісних розчинів - аналог 1 ([Turaev, D. Yu. Use of Membrane Electrolysis for Recovery of Heavy Metal Ions. Russian Journal of Applied Chemistry, 2007. - Vol. 80, № 1. - P. 83-86.] для виділення 4,6 г цинку та 2,0 г кадмію було витрачено 427 А/год. електроенергії, тому порівнюємо в таблиці 2 з власними результатами в перерахунку на 1 г утвореного металу у вигляді простої речовини на катоді чи в  
15 католіті у вигляді іонів.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика витрат ампер-годин на виділення домішкових металів в катодній камері та на катоді в модулях, що пропонуються в даній корисній моделі та в моделях аналога 1

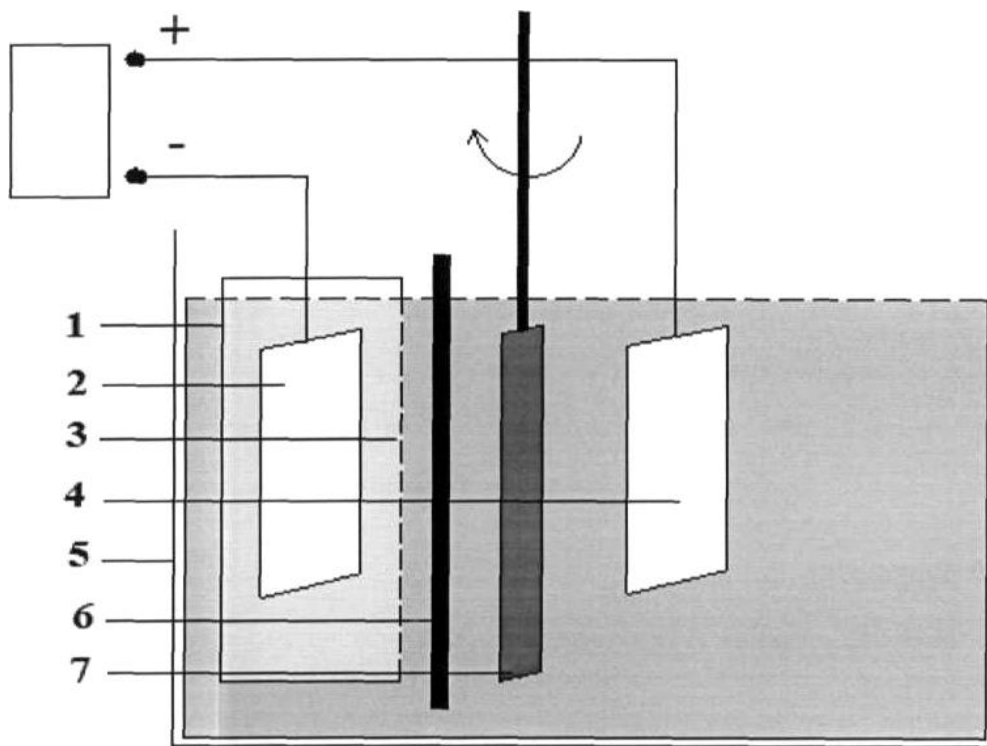
Спосіб регенерації	вміст $Zn^{2+}$ , г/л в аноліті	вміст $Cd^{2+}$ , г/л в аноліті	кількість А/год., витрачених на електроліз в розрахунку на 1 г металу	кількість А/год., витрачених на перемішування в розрахунку на 1 г металу
Модель аналог 1	1,2	0,19	63,73	0
Разом модель аналог 1	1,2	0,19	63,73	
Модель, що пропонується	1,755		17,01	3,97
Модель, що пропонується		3	10,95	2,55
Разом для моделі, що пропонується	1,755	3	27,96	6,52
			34,48	

Порівнюючи модель, що пропонується, з моделлю аналога 1 можна стверджувати: відбувається зменшення витрат електрики в 1,8 разів (див. табл. 2) на електроліз для  
20 вилучення 1 г металу при регенерації розчину пасивації, що є економічно вигідним; можливість вторинного використання металів, що виділяються на катоді в гальванічній лінії - за умови роздільних технологічних процесів ліній кадмування і цинкування.

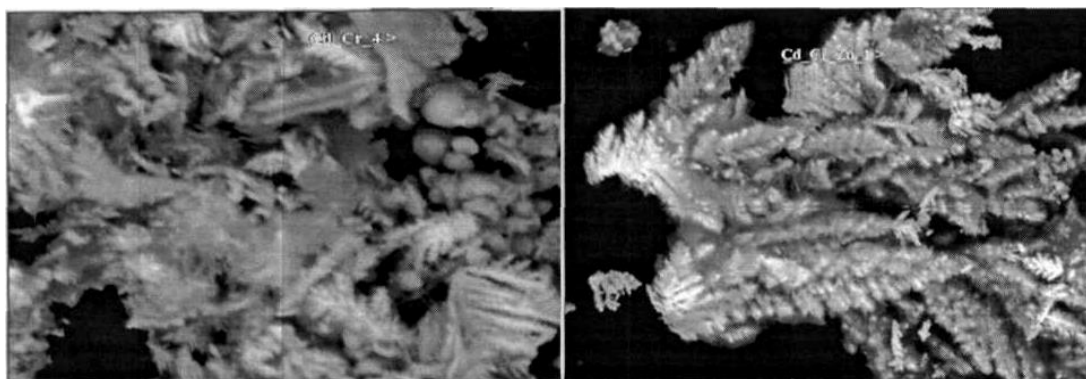
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25 Спосіб електролітичної регенерації хромовмісних розчинів, що містять іони шестивалентного та тривалентного хрому, а також іони домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , що включає мембранний електроліз, за яким регенований хромовмісний розчин піддають обробці в технологічній ванні, в якій розміщено електрохімічний модуль з катіонообмінною мембраною, де виконаний із титану  
30 марки ВТ 1-0 катод встановлено всередині модуля, утворюючи катодну камеру, а анод, виконаний із свинцю марки С2, безпосередньо розміщено в робочому регенованому хромовмісному розчині в технологічній ванні, при цьому в катодну камеру заливають розчин католіту і через керуючий засіб катод і анод підключають до джерела електричного живлення, в ході обробки регенованого хромовмісного розчину іони тривалентного хрому, за рахунок  
35 встановленого впритул до катіонообмінної мембрани, що утворює одну із стінок катодної камери зі сторони анода, фільтруючого полотна, виконаного із тканини поліамідного призначення виборчим для проходження іонів тривалентного хрому до катодної камери, утримуються поблизу анода в робочому розчині ванни, забезпечуючи при цьому процес окиснення на аноді тривалентного хрому в шестивалентний хром, який потім повертають у  
40 виробництво, одночасно з процесом окиснення на аноді навколо катода, в катодній камері

накопичується розчин домішкових металів  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , які мігрують під дією електричного поля і здійснюють перехід в катодну камеру, досягаючи їх регенерації, де відновлюються до металів, які потім видаляють або повертають у виробничий цикл, який **відрізняється** тим, що додатково застосовують перемішування розчину, що регенерується, за допомогою механічної вертикальної мішалки, розміщеної на відстані між катодною камерою та анодом.



Фиг. 1

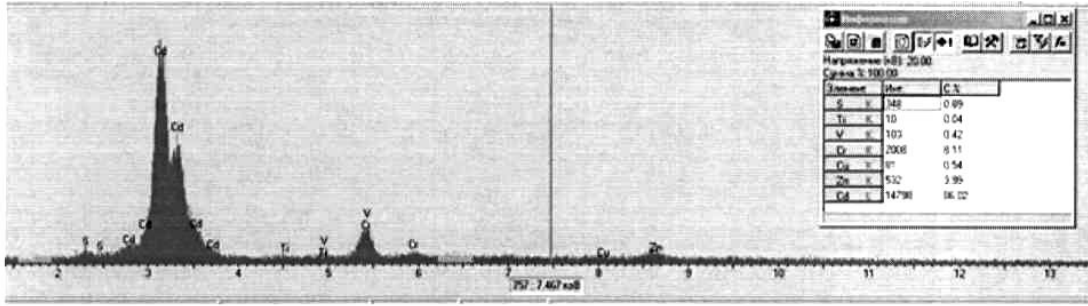


а

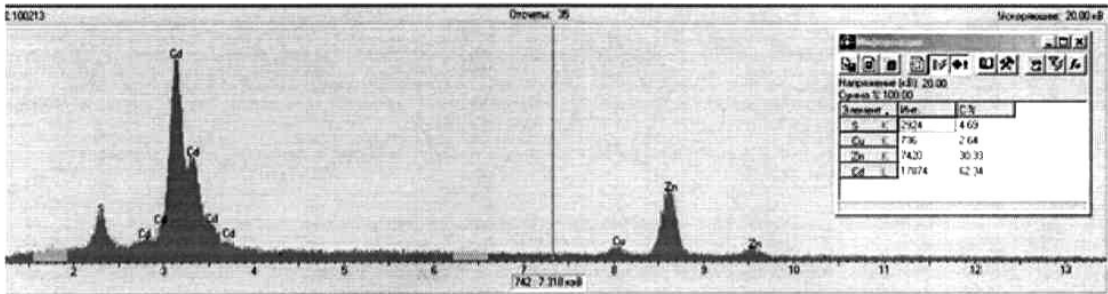
Фиг. 2

б





a



б

Fig. 3

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601