

**С. А. ЛЕЩЕНКО, В. М. АРТЕМЕНКО, С. Г. ДЕРИБО, О. Л. СМІРНОВА, Г. С. ЛУЧНИК,
Н. В. ЗАГОРОДНИХ**

ШЛЯХИ СКОРОЧЕННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯ У ГАЛЬВАНІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Проблема завищеного водоспоживання в гальванічному виробництві пов'язана з низькою точністю визначення витрат води, нераціональним використанням існуючих методів її економії, небажанням або невмінням впроваджувати передові технології промивань. Різноманітність технологій в гальванотехніці не дозволяє встановити єдині норми витрат води для кожного виду покриттів. З метою оптимізації витрат води в конкретному гальванічному виробництві необхідний, аналіз її потоків необхідно проводити з урахуванням усіх факторів. Надмірне водоспоживання є неприпустимим в умовах високих цін на воду та суттєвої собівартості заходів зі знешкодження стічних вод. Тому проблема зменшення витрат води є надзвичайно актуальною. Метою даної роботи є аналіз традиційної методики розрахунку витрат води на промивні операції та обґрунтування пропозицій щодо удосконалення технології промивних операцій. Витрати промивної води, розраховані за традиційною методикою, є завищеними внаслідок неточного визначення деяких факторів. Рекомендовані в літературі значення питомого виносу розчину поверхню деталей є невинновдано завищеними. Тривалість стікання розчину рекомендовано збільшувати з метою суттєвого зменшення питомого виносу розчинів. Продуктивність лінії слід визначати з урахуванням площі поверхні оснастки. Експериментальне визначення загального виносу розчину поверхню деталей є оптимальним рішенням для досягнення високої точності розрахунків. Діапазон значень критерію промивання для ванн уловлювання дощільно суттєво розширити. Числові значення коефіцієнтів, що враховують наявність ванн уловлювання, не можуть бути сталими величинами. Їх значення необхідно розраховувати як залежності від критеріїв промивання відповідних ванн уловлювання. Точність розрахунків суттєво збільшиться, якщо витрати промивної води визначати за допомогою формули, що враховує зміну концентрації компонентів у відповідній ванні промивання. При незначній витраті води на промивання слід відмовитись від встановлення мінімальної витрати води на рівні 50 $\text{дм}^3/\text{год.}$, а рекомендувати використовувати періодично непероточний режим промивання. Надані рекомендації щодо змін у технологічних схемах промивання дозволять зменшити витрати промивної води та енергоносії.

Ключові слова: гальванотехніка, водоспоживання, промивання, винос розчину, уловлювання.

**С. А. ЛЕЩЕНКО, В. М. АРТЕМЕНКО, С. Г. ДЕРИБО, О. Л. СМІРНОВА, А. С. ЛУЧНИК,
Н. В. ЗАГОРОДНИХ ПУТИ
СОКРАЩЕНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Проблема завышенного водопотребления в гальваническом производстве тесно связана с низкой точностью определения расхода воды, нерациональным использованием существующих методов ее экономии, нежеланием и неумением внедрять передовые технологии промывок. Разнообразие технологий в гальванотехнике не позволяет установить единые нормы расхода воды для каждого вида покрытий. С целью оптимизации расхода воды в конкретном гальваническом производстве, анализ потоков воды необходимо осуществлять с учетом всех факторов. Чрезмерное водопотребление является недопустимым в условиях высоких цен на воду и существенной себестоимости мероприятий по обезвреживанию сточных вод. Поэтому проблема уменьшения расхода воды чрезвычайно актуальна. Целью данной работы является анализ традиционной методики расчета расхода воды на промывные операции и обоснование предложенной по усовершенствованию технологии промывных операций. Расход промывной воды, рассчитанный по традиционной методике, является завышенным из-за неточного определения некоторых факторов. Рекомендованные в литературе значения удельного выноса раствора поверхностью деталей являются неоправданно завышенными. Длительность стекания раствора рекомендуется увеличить с целью существенного уменьшения удельного выноса растворов. Производительность линии необходимо определять с учетом площади поверхности оснастки. Экспериментальное определение общего выноса раствора поверхностью деталей является оптимальным решением. Диапазон значений критерия промывки для ванн улавливания следует существенно расширить. Числовые значения коэффициентов, учитывающих наличие ванн улавливания, не могут быть постоянными величинами. Их значения необходимо рассчитывать как зависимость от критериев промывки соответствующих ванн улавливания. Точность расчетов существенно увеличится, если расход промывной воды определять с помощью формулы, учитывающей изменение концентрации компонентов в соответствующей ванне промывки. При незначительном расходе воды на промывку следует отказаться от установления минимального расхода воды на уровне 50 $\text{дм}^3/\text{ч.}$, а рекомендовать использовать периодически непроточный режим промывки. Приведенные рекомендации по изменению технологических схем промывок позволят уменьшить расход промывной воды и энергоносителей.

Ключевые слова: гальванотехника, водопотребление, промывка, вынос раствора, улавливание.

**S. A. LESHCHENKO, V. M. ARTEMENKO, S. G. DERIBO, O. L. SMIRNOVA, H. S. LUCHNIK,
N. V. ZAGORODNIKH
WAYS TO REDUCE WATER CONSUMPTION IN ELECTROPLATING**

The issue of excessive water consumption in galvanic industry is closely related to the low accuracy of determining the water consumption, the inefficient use of existing methods of its economy, the reluctance and inability to introduce advanced washing technologies. The numerous electroplating technologies do not allow establishing the common standards of water consumption for each type of coating. In order to optimize the water consumption in a particular galvanic production, water consumption analysis should be implemented taking into account all factors. Excessive water consumption is unacceptable due to the high water prices and significant cost of wastewater treatment. Therefore, the problem of reducing water consumption is extremely relevant. The current work aims at analyze of traditional method of the water consumption calculating for washing operations and justify the proposals on improving the technology of washing operations. The rate of flushing water calculated according to the traditional method is overestimated due to the inaccurate determination of several factors. The recommended amount of solution which is supposed be removed from the surface of parts is unjustifiably overstated. It has been recommended to increase the drainage time of the solution in order to significantly reduce the specific removal of solutions. The line performance must be determined taking into account the surface area of the fixture. The experimental determination of the total removal of the solution by surface of the parts is the optimal solution. The range of criteria values for catching baths should be substantially expanded. The numerical values of the coefficients taking into account the presence of catching baths cannot be constant values. Their values should be calculated as a function of the washing criteria of the relevant catching baths. The accuracy of the calculations will increase significantly if the wash water consumption is determined using a formula which takes into account the change in the concentration of components in the relevant washing bath. If the water consumption is insignificant, it is necessary to renounce the setting of a minimum water flow of 50 $\text{дм}^3/\text{h}$, and to recommend the use of periodical non-rational washing mode. The given recommendations for changing technological schemes of washing will reduce the consumption of washing water and energy.

Keywords: electroplating, water consumption, flushing, removal of solution, catching.

Вступ. Гальванічні виробництва відіграють важливу роль в сучасних технологіях багатьох галузей промисловості. В цих виробництвах використовуються величезні об'єми води, понад 90 % якої витрачається на промивні операції. Головне призначення промивних операцій полягає у зменшенні концентрації розчину, що виносяться з технологічних ванн поверхнею деталей.

Питомі витрати води на промивання складають від 0,2 до 2,3 м³ на 1 м² покриття [1], за даними інших авторів [2] – навіть до 3,3 м³/м², що у багато разів перевищує витрати води на аналогічних підприємствах розвинутих країн. Такі обсяги стічних вод зменшують ефективність очисних споруд. Крім того, недостатньо очищені стоки та шлами, що містять важкі метали й інші шкідливі та небезпечні сполуки, забруднюють навколишнє середовище.

Надмірні витрати води гальванічними виробництвами невід'ємно пов'язані з нераціональним використанням хімічних сполук: коефіцієнт використання сполук важких металів в гальванотехніці складає від 30 до 80 %, а кислот, лугів та інших хімічних сполук – від 5 до 20 % [3]. Невикористана частка хімікатів потрапляє до стічних вод, і ця проблема залишається актуальною щонайменше протягом кількох десятиліть.

Проблема надмірного водоспоживання в гальванічному виробництві пов'язана з низькою точністю визначення витрат води, нераціональним використанням існуючих методів її економії, небажанням або невмінням впроваджувати передові технології промивань. Різноманітність технологій в гальванотехніці не дозволяє встановити єдині норми витрат води для кожного виду покриттів. Для оптимізації витрат води в конкретному гальванічному виробництві необхідний аналіз її потоків з урахуванням максимальної кількості чинників.

Актуальність проблеми. При дотриманні загальноприйнятої методики розрахунку витрат води на промивні операції виявляється, що такі витрати часто є надмірними, бо враховують в собі багато специфічних факторів, в тому числі є наслідком небажання або невміння дотримуватись рекомендованої методики промивання. В умовах високих цін на воду та суттєвої собівартості заходів зі знешкодження стічних вод, надмірне водоспоживання є неприпустимою розкішшю, отже проблема його зменшення є надзвичайно актуальною.

Обов'язковою умовою якісного промивання є забезпечення вирівнювання концентрації компонентів технологічного розчину на поверхні деталей і в глибині промивної ванни. Прискорення переносу компонентів розчину з поверхні деталей в об'єм промивної ванни можна досягти за рахунок інтенсивного перемішування ванни промивання (стислим повітрям чи іншими способами), або збільшенням тривалості промивання щонайменше до 100 с.

Мета роботи. Аналіз традиційної методики розрахунку витрат води на промивні операції та надання обґрунтованих пропозицій щодо удосконалення технології промивних операцій та зменшення водоспоживання.

Традиційна методика розрахунку. Методика [4–6], основи якої були закладені у ГОСТ 9.314–90, до цього часу майже в незмінному вигляді використовується як у навчальному процесі при виконанні курсових та дипломних проектів, так і для визначення орієнтовних витрат води на попередній стадії проектування дільниць нанесення гальванічних покриттів. Ця методика передбачає розрахунок витрат води на промивання згідно з формулою:

$$Q = n \cdot q \cdot F \cdot a \cdot K^{1/N}, \quad (1)$$

де Q – витрати води на промивання, дм³/год.; n – кількість одинарних ванн промивання, прямоочних ступенів промивання або ванн (у тому числі каскадних) з автономною подачею води; q – питомий винос розчину, дм³/м²; F – годинна продуктивність лінії, м²/год.; a – коефіцієнт, що враховує наявність ванн уловлювання (0,4 при одній, 0,15 при двох і 0,06 при трьох ваннах уловлювання); N – кількість ступенів промивання; K – критерій промивання.

Критерій промивання K за своїм фізичним змістом є показником кратності розбавлення розчину в результаті промивання і визначається як співвідношення концентрації основного компонента в технологічній ванні C_0 (г/дм³) до гранично допустимої концентрації цього компонента після промивання C_n (г/дм³):

$$K = C_0 / C_n.$$

Аналіз традиційної методики визначення витрат води. Щоб виявити причини завищеного водоспоживання, проаналізуємо деякі множники рівняння, за яким визначають годинні витрати води на промивання Q .

Значення питомого виносу розчину q залежить від багатьох факторів, таких як конфігурація і шорсткість поверхні деталей та оснастки, в'язкість технологічного розчину, тривалість стікання розчину, використання струсу або повітряного обдуву при стіканні розчину та ін. Через неможливість чіткого визначення залежності q від усіх цих факторів, питомий винос розчину може бути визначений лише експериментально, в іншому випадку його значення є лише орієнтовним.

Орієнтовний питомий винос розчинів приймають згідно з рекомендаціями ГОСТ 9.314–90, які до цього часу дублюються у навчальних посібниках з проектування гальванічних виробництв [4–6]. Питомий винос розчину приймають рівним від 0,2–0,3 дм³/м² (при обробці на підвісках, з мінімальним часом стікання 6 с) до 0,7 дм³/м² (у разі промивання після агресивних розчинів, де тривалість стікання не регламентується, тобто повинна бути мінімальною).

Тривалість стікання розчину в значній мірі впливає на питомий винос розчину. Збільшення тривалості розчину – це найпростіший спосіб зменшити питомий винос розчину, бо не потребує жодних додаткових витрат. Однак слід обмежувати тривалість промивки та стікання розчину в таких випадках:

– після технологічних операцій з агресивними розчинами, щоб зменшити контакт робітника зі шкідливими випарами;

– після травління (активації) безпосередньо перед нанесенням покриття, щоб не допустити пасивації активованої поверхні основного металу.

В літературі [1] є дані, що свідчать про можливість скоротити винос розчину втричі за рахунок збільшення тривалості витримки деталей над ваннами для стікання розчину з 4 до 16 с. За даними інших дослідників [7], експериментально визначений питомий винос розчину пластинами 21x21,4 см при тривалості стікання 10 с складає від 0,018 дм³/м² для електроліту хромування до 0,16 дм³/м² для досить густого та в'язкого електроліту полірування в суміші фосфатної та сульфатної кислот. На підставі цих даних можна побачити можливість суттєвого зменшення питомого виносу розчинів за рахунок збільшення тривалості стікання.

Зворотнім чином на орієнтовний питомий винос розчину впливає інший множник рівняння (1) – годинна продуктивність лінії F . Цей множник не враховує площу поверхні оснастки (підвісок або барабанів), що занурюється у ванну промивки і своєю поверхнею виносить розчин нарівні з поверхнею деталей. Реальне співвідношення площі поверхні деталей $S_{дет}$ та оснастки $S_{осн}$ може бути різним, тому для підвищення точності розрахунку було б доцільно ввести коефіцієнт, що враховує це співвідношення, і годинну продуктивність лінії приймати з його урахуванням:

$$F' = F \frac{S_{дет} + S_{осн}}{S_{дет}}$$

Вважаємо, що найбільш продуктивний шлях, направлений на збільшення точності розрахунку витрат води на промивні операції, це експериментальне визначення загального виносу розчину $q \cdot F$ у кожній промивній ванні кожного технологічного процесу. При визначенні загального виносу розчину експериментальним шляхом вже немає потреби враховувати винос розчину поверхнею оснастки. Зрозуміло, що експериментальне визначення виносу розчину доцільне лише для сталого технологічного процесу, в якому впродовж тривалого часу обробляються однакові деталі з використанням тієї ж оснастки.

Непроточне промивання (уловлювання). Ванни уловлювання доцільно використовувати після технологічних операцій, в яких використовуються цінні або небезпечні компоненти, потрапляння яких в стічні води може призвести до економічних втрат або екологічних проблем.

В традиційній методиці розрахунків [4–6] використовують коефіцієнт, що враховує наявність ванн уловлювання a . Він має значення 0,4, 0,15 та 0,06 при одній, двох та трьох ваннах уловлювання відповідно. Ми не знайшли пояснення, чому саме такі значення коефіцієнту a були прийняті, тому вирішили проаналізувати ці коефіцієнти і виявили деяке протиріччя в рекомендаціях.

Значення коефіцієнтів a є слушними, якщо концентрація основного компоненту у трьох послідовно встановлених ваннах уловлювання має такі значення:

$$C_{y1} = 0,4 \cdot C_0;$$

$$C_{y2} = 0,15 \cdot C_0;$$

$$C_{y3} = 0,06 \cdot C_0.$$

В цьому разі критерії промивання відповідних ванн уловлювання дорівнюють:

$$K_{y1} = \frac{1}{0,4} = 2,5;$$

$$K_{y2} = \frac{0,4}{0,15} = 2,67 \approx 2,5;$$

$$K_{y3} = \frac{0,15}{0,06} = 2,5.$$

Протиріччя полягає у невідповідності між цими значеннями та рекомендацією [4] приймати критерій промивання у ваннах уловлювання у межах $K_y = 5 \dots 7$. На відміну від цієї рекомендації, автори [5] вказують на можливість досягнення концентрації основного компоненту до $0,4 \cdot C_0$, що знімає таке протиріччя. Але такий низький градієнт концентрації у ванні уловлювання відносно попередньої технологічної ванни або попередньої ванни уловлювання значно зменшує ефективність самого уловлювання.

Ми вважаємо, що критерій промивання для ванн уловлювання доцільно приймати у діапазоні значень $K_y \approx 5 \dots 20$. Щоб встановити значення критерію промивання, слід визначитись, якого максимального значення може досягати концентрація основного компоненту у i -й ванні уловлювання C_{yi} . Критеріями промивання для трьох послідовно встановлених ванн уловлювання будуть співвідношення:

$$K_{y1} = C_0 / C_{y1}, \quad K_{y2} = C_{y1} / C_{y2}, \quad K_{y3} = C_{y2} / C_{y3},$$

а відповідні коефіцієнти a повинні визначатися як:

$$a_i = C_{yi} / C_0.$$

Врахування зміни концентрації у промивній ванні. Як було показано в статті [8], визначення витрат води на промивання за традиційною методикою має досить велику відносну похибку, пов'язану з тим, що така методика не враховує зміну концентрації компонентів у ванні проточної промивки. В цій роботі [8] було запропоновано формулу, яка від цієї похибки позбавляє:

$$Q' = \frac{C_0 \cdot q \cdot F}{C_{II} - \frac{C_0 \cdot q \cdot F \cdot t_p}{120 \cdot V}} \quad (2)$$

де t_p – такт роботи лінії, хв.; V – об'єм промивної ванни, дм³.

Якщо для визначення витрат води користуватись цією формулою, а загальний винос розчину $q \cdot F$ визначати експериментально, то точність розрахунків суттєво підвищиться.

Однак, не слід забувати про можливість нестабільного водопостачання (зміни тиску у водопроводі), тому згідно з рекомендаціями С.С.Виноградова [1], на практиці не бажано допускати гранично допустимої концентрації компонентів, тому розраховані витрати води слід збільшити на 10–20 %.

У навчальних посібниках з проектування

гальванічних дільниць [4–5] зазначається, що при витратах води менших, ніж $50 \text{ дм}^3/\text{год.}$, і відсутності засобів, що забезпечують стабільність подачі води, мінімальні витрати води слід прийняти рівними $50 \text{ дм}^3/\text{год.}$ Ми вважаємо таке рішення надзвичайно затратним і в умовах високих цін на воду неприйнятним. Доцільніше організувати роботу системи промивань в періодично непроточному режимі.

Періодично непроточний режим промивання.

Цей режим використовується, як правило, для дрібносерійного виробництва з великими інтервалами часу між промиваннями, а також при малих нерегульованих витратах води (менше $50 \text{ дм}^3/\text{год.}$). При використанні періодично непроточного режиму промивання (див. рис. 1) після технологічної ванни T усі промивні ванни працюють у непроточному режимі (як ванни уловлювання U_1 , U_2 та U_3) до тих пір, доки концентрація основного компоненту в останній ванні уловлювання не досягне гранично допустимої концентрації. Після цього вміст першої ванни уловлювання зливають у допоміжну ванну, звідки розчин частково використовується для поповнення технологічної ванни T , а решта підлягає упарюванню, регенерації або знешкодженню. Усі ванни уловлювання, крім останньої, заповнюються розчином з наступної ванни уловлювання (розчином з ванни U_2 заповнюють ванну U_1 , розчином з ванни U_3 заповнюють ванну U_2), а остання ванна уловлювання U_3 заповнюється чистою водою.

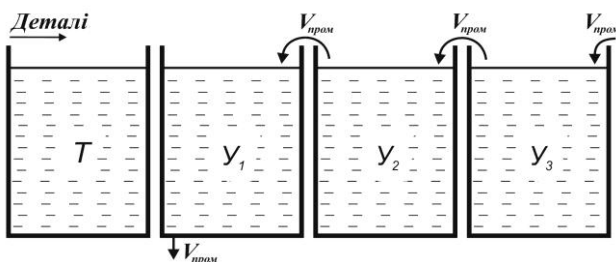


Рис. 1 – Схема періодично непроточного режиму промивання

Організація періодично непроточної схеми промивання дозволяє отримати крім екологічного ще й економічний ефект, який полягає у збереженні хімікатів, скороченні витрат води на промивання деталей, скороченні виробничих площ, устаткування й витрат на знешкодження стічних вод, зменшенні штрафів за забруднення навколишнього середовища.

Використання періодично непроточного режиму роботи промивних ванн може здійснюватись не тільки постійно, але й тимчасово на початковому етапі використання проточних ванн. Від початку роботи дільниці, коли всі ванни промивань заповнені чистою водою, і до моменту наближення до гранично допустимої концентрації компонентів в останній ванні багатоступеневого промивання припиняють подачу і злив промивної води з ванн проточних промивань. Тривалість цього періоду може бути розрахована або визначена експрес-аналізом розчину в останній ванні уловлювання.

Переваги періодично непроточного режиму промивання:

– цей спосіб навіть у порівнянні з протиструминою системою промивання дозволяє скоротити витрати води на 30–50 %;

– немає необхідності у використанні витратомірів, необхідно лише скласти графік зміни розчинів у ваннах уловлювання та дотримуватися його.

Для визначення витрат води при періодично непроточному режимі роботи ванн створено алгоритм та програму розрахунку, побудованого з використанням рівнянь матеріального балансу промивних ванн.

При заданих вихідних даних програма дозволяє визначити:

– кількість промивань, після яких концентрація компоненту досягне заданої (гранично припустимої) при використанні від 1 до 5 ванн уловлювання;

– необхідну кількість ванн уловлювання;

– порівняти концентрації компоненту у кожній з ванн уловлювання;

– об'єм та концентрацію (по основному компоненту) розчину, що має бути відправлений на переробку;

– масу основного компоненту в цьому розчині;

– масу компоненту, що потрапить в стічні води.

При обраній кількості ванн уловлювання програма видає рекомендації щодо періодичності зливу розчину на переробку.

Внесення змін у схеми промивань. В технологічних схемах процесів нанесення гальванічних покриттів традиційно використовуються деякі схеми промивань, які не є оптимальними з економічної точки зору. В табл. 1 представлено рекомендації, які сприяють зменшенню витрат промивної води або енергоносіїв.

Висновки. Аналіз традиційної методики розрахунку витрат води на промивання виявив:

– однією з причин надмірного споживання води є завищені значення питомого виносу розчину поверхнею деталей;

– рекомендація щодо збільшення мінімальної тривалості стікання розчину дозволить суттєво зменшити витрати води;

– годинну продуктивність лінії слід визначати з урахуванням площі поверхні оснастки;

– для досягнення високої точності розрахунків необхідно експериментально визначати загальний винос розчину поверхнею деталей для кожної ванни промивання;

– значення критерію промивання ванн уловлювання доцільно приймати у межах $K_y \approx 5 \dots 20$;

– коефіцієнти a , що враховують наявність ванн уловлювання, не є сталими величинами, а повинні визначатись в залежності від критеріїв промивання відповідних ванн уловлювання за формулою $a_i = C_{y_i} / C_0$;

– витрати промивної води слід визначати за формулою (2), що враховує зміну концентрації основного компоненту у відповідній ванні промивання;

– від рекомендації щодо встановлення мінімальної витрати води на рівні $50 \text{ дм}^3/\text{год.}$ слід відмовитись, а у відповідних випадках рекомендувати ви-

користання періодично непроточного режиму промивання;

– рекомендувати внесення змін у технологічних

схемах промивання, наведених у табл. 1, для зменшення витрат промивної води та енергоносіїв.

Таблиця 1 – Рекомендації щодо змін до традиційних схем промивань

Традиційна схема промивання	Рекомендовані зміни
Гаряче (тепле) + холодне промивання (між останнім знежиренням та активацією/травленням).	
При розрахунку витрати води рівномірно розподіляють між гарячим та холодним промиваннями (критерій промивання $K_{\text{гар}} = K_{\text{хол}}$)	Через значну різницю у собівартості гарячої та холодної води слід перерозподілити витрати так, щоб зменшити витрати гарячої води за рахунок збільшення холодної ($K_{\text{гар}} < K_{\text{хол}}$)
Холодне + гаряче промивання (перед сушкою деталей).	
При розрахунку витрати води рівномірно розподіляють між гарячим та холодним промиваннями ($K_{\text{гар}} = K_{\text{хол}}$)	Витрати води розраховувати таким чином, щоб досягти гранично допустимої концентрації C_n вже після холодного промивання. Тоді гаряче промивання буде використовуватись тільки для нагріву деталей перед сушкою, воно буде непроточним. Витрати на підтримання температури залишаться, але на нагрів проточної води витрат не буде.
Уловлювання благородних та інших цінних металів	
Рекомендується 2–3 ванни уловлювання, при цьому критерій промивання приймають в межах $K = 5 \dots 7$	Концентрація іонів благородного металу в останній ванні уловлювання не повинна перевищувати гранично допустиму концентрацію (C_n). Від кількості ванн уловлювання буде залежати періодичність зливу розчину з першої ванни уловлювання на переробку та концентрація цього розчину. Критерій промивання у кожній з ванн уловлювання визначається як $K_i = \sqrt[n]{K}$, де n – кількість ванн уловлювання; $K = C_0 / C_n$
Проточне промивання зі значною витратою води ($Q > 100 \text{ дм}^3/\text{год.}$)	
Рекомендується використовувати струминний або комбінований метод промивання, що зменшить витрати на 30–50 %.	1) поєднанням струминного та заглибного промивання можна досягти ще більшої економії води; 2) якщо розмір промивної ванни дозволяє розділити її навпіл, щоб з одноступеневого промивання зробити двоступеневе протиструминне, витрати води зменшаться в десятки разів.
Проточне промивання з незначною витратою води ($Q < 50 \text{ дм}^3/\text{год.}$)	
Рекомендується прийняти $Q = 50 \text{ дм}^3/\text{год.}$	Використовувати безстічний або періодично непроточний режим промивання

Список літератури

1. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. М., 1998.
2. Домрачев Р. А. Разработка материальных балансов гальванических производств и мер по снижению их материалоемкости и экологической опасности: дисс. канд. техн. наук. Киров, 2004.
3. Гинберг А. М., Будрейко Е. Н. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии в гальванотехнике. Материалы семинара. М., 1988. С. 17.
4. Якименко Г. Я., Харченко Е. П. Алгоритми і програми розрахунків в технічній електрохімії. Ч. 1. Гальванічні виробництва, Харків: НТУ «ХПІ», 2002.
5. Донченко М. І., Фроленкова С. В. Екологічна безпека гальванотехніки. Ч.1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка. К.: НТУУ «КПІ», 2016. 202 с.
6. Султанова В. И., Бородкина В. А. Проектирование гальванических производств. Ангарск: АГТА, 2007.
7. Suss M. Bestimmung elektrolyt spezifischer Ausschleppverluste. Galvanotechnik. 1992. V. 83, № 2. S. 462.
8. Лещенко С. А., Герасимова В. Н. Рационализация промывки в гальванических производствах. Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: збірник наукових праць. Темат. вип. Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків: НТУ «ХПІ». 2005. № 15. С. 95–98.

References (transliterated)

1. Vinogradov S. S. Ekologicheski bezopasnoe gal'vanicheskoe proizvodstvo [Ecologically safe galvanic production], M., 1998.
2. Domrachev R. A. Razrabotka material'nykh balansov gal'vanicheskikh proizvodstv i mer po snizheniyu ikh materialoemkosti i ekologicheskoy opasnosti: Diss. kand. tekhn. nauk [The de-

- velopment of material balances of galvanic production and measures to reduce their material consumption and environmental hazards. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kirov, 2004.
3. Ginberg A. M., Budreyko E. N. Malootkhodnye i resursosberegayushchie tekhnologii v gal'vanotekhnike [Low-waste and resource-saving technologies in electroplating]. Materialy seminarov [Workshop materials]. M., 1988. S. 17.
 4. Yakymenko H. Ya., Kharchenko E. P. Alhorytmy i prohramy rozrakhunkiv v tekhnichnii elektrokhemii. Ch. 1. Halvanichni vyrobnytstva [Algorithms and programs of calculations in technical electrochemistry. Part 1. Galvanic production], Kharkiv: NTU "KhPI". 2002.
 5. Donchenko M. I., Frolenkova S. V. Ekolohichna bezpeka halvanotekhniki. Chastyna 1. Stichni vody. Mekhanichna ta sorbtssiina ochystka [Ecological safety of electroplating. Part 1. Sewage. Mechanical and sorption cleaning]. K.: NTUU «KPI», 2016. 202 s.
 6. Sultanova V. I., Borodkina V. A. Proektirovanie gal'vanicheskikh proizvodstv [Design of electroplating industry]. Angarsk: AGTA, 2007.
 7. Suss M. Bestimmung elektrolyt spezifischer Ausschleppverluste. Galvanotechnik. 1992, V. 83, № 2. S. 462.
 8. Leshchenko S. A., Gerasimova V. N. Ratsionalizatsiya promyvkiv v gal'vanicheskikh proizvodstvakh [Rationalization of washing in electroplating]. Visnik Nats. tekhn. un-tu "Khark. politekhn. in-t": Zbimik naukovikh prats'. Tematichnyi vipusk «Khimiya, khimichna tekhnologiya ta ekologiya» [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: Chemistry, chemical technology and ecology]. Kharkiv: NTU «KhPI». 2005. № 15. С. 95–98.

Надійшла (received) 01.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лещенко Сергій Анатолійович (Лещенко Сергей Анатольевич, Leshchenko Serhii Anatoliiovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор, Харків, Україна, e-mail: tnr.khpi@gmail.com

Артеменко Валентина Мефодіївна (Артеменко Валентина Мефодиевна, Artemenko Vaventyana Mevodiiivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент, Харків, Україна, e-mail: tnr.khpi@gmail.com

Дерибо Світлана Германівна (Дерибо Светлана Германовна, Deribo Svitlana Hermanivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент, Харків, Україна, e-mail: sgd2408@gmail.com

Смірнова Ольга Леонідівна (Смирнова Ольга Леонидовна, Smirnova Olha Leonidivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент, Харків, Україна, e-mail: oleleo1970@gmail.com

Лучник Ганна Сергіївна (Лучник Анна Сергеевна, Luchnik Hanna Serhiivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент, Харків, Україна, e-mail: luchnik.anna@gmail.com

Загородніх Наталія Володимирівна (Загородних Наталья Владимировна, Zagorodnikh Nataliia Volodymyrivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент, Харків, Україна, e-mail: tzl@malyshev.kharkov.ua.