

М. М. ШОРОХОВ, О. В. СУВОРИН, М. А. ОЖЕРЕДОВА

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ПЕРЕМІШУВАННЯ НА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХІМІЧНО УТВОРЮВАНОЇ СУСПЕНЗІЇ PbCrO₄

Наведена доцільність застосування в умовах реального виробництва реагентного методу очищення стічних вод промислових підприємств, що містять Cr⁶⁺, з використанням як реагент-осаджувача водорозчинних солей Pb²⁺ з утворенням малорозчинної солі PbCrO₄. В роботі досліджено вплив температури і інтенсивності перемішування на процес хімічного осадження PbCrO₄ в системі H₂CrO₄-Pb(CH₃COO)₂-H₂O. В якості вихідного речовини використовували водний розчин H₂CrO₄ з концентрацією 100 мг/л (в перерахунок на Cr (IV)), який моделює типову промивну воду першої стадії промивання процесу електрохімічного хромування. Як осаджувач використовували насичений при 20 °C водний розчин оксалату свинцю (30,7 г/100 г води). Розчин осаджувача одноразово дозували до хром (VI) - містного розчину, виходячи з таких мольних співвідношень: стехіометричної кількості (100%) і надлишку 120 і 150% для утворення хрому свинцю. Температуру підтримували на рівні: 20, 30, 40, 50 і 60 °C, а швидкість обертання валу мішалки - на рівнях: 0 (без перемішування), 1,4; 2; 2,5 і 3 об/сек. Після дозування розчину - осаджувача отримані суспензії витримували при перемішуванні і заданій температурі протягом 60 хвилин і відстоювали з паралельним проведенням седиментаційного аналізу. Проведеними дослідженнями встановлено, що при температурі 20 ÷ 30 °C і надлишку розчину реагента-осаджувача на рівні 20 ÷ 50% можна отримати залишкові концентрації Cr⁶⁺ в очищених розчинах близьких до рівня ГДК. Найбільш оптимальна швидкість перемішування суспензій становить 1,5 ÷ 2 об/сек. Дана інтенсивність перемішування сприяє збільшенню швидкості розшарування отримуваної суспензії, дозволяє отримувати осад PbCrO₄ з розмірами частинок на рівні 1,4 ÷ 1,6 мкм, не збільшує залишкову концентрацію Cr⁶⁺ в очищених розчинах. При збільшенні надлишку осаджувача, швидкість росту кристалів PbCrO₄ зменшується в порівнянні зі швидкістю утворення зародків. Таким чином, показана доцільність використання водного розчину Pb(CH₃COO)₂ як реагента-осаджувача для очищення Cr⁶⁺ - вмісних стічних вод електрохімічних виробництв.

Ключеві слова: хромова кислота, оксалат свинцю, осаджувач, технологічні параметри, залишкова концентрація, рівень ГДК.

М. Н. ШОРОХОВ, А. В. СУВОРИН, М. А. ОЖЕРЕДОВА

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКИ ПОЛУЧАЕМОЙ СУСПЕНЗИИ PbCrO₄

Наведена цілесобразність застосування в умовах реального виробництва реагентного методу очищення стічних вод промислових підприємств, що містять Cr⁶⁺, з використанням в якості реагента-осаджувача водорозчинних солей Pb²⁺ з утворенням малорозчинної солі PbCrO₄. В роботі досліджено вплив температури і інтенсивності перемішування на процес хімічного осадження PbCrO₄ в системі H₂CrO₄-Pb(CH₃COO)₂-H₂O. В якості вихідного речовини використовували водний розчин H₂CrO₄ з концентрацією 100 мг/л (в перерахунок на Cr (IV)), який моделює типову промивну воду першої стадії промивки процесу електрохімічного хромування. Як осаджувач використовували насичений при 20 °C водний розчин оксалату свинцю (30,7 г/100 г води). Розчин осаджувача одноразово дозували до хром (VI) - містного розчину, виходячи з таких мольних співвідношень: стехіометричного кількості (100%) і надлишку 120 і 150% для утворення хрому свинцю. Температуру підтримували на рівні: 20, 30, 40, 50 і 60 °C, а швидкість обертання валу мішалки - на рівнях: 0 (без перемішування), 1,4; 2; 2,5 і 3 об/сек. Після дозування розчину осаджувача отримані суспензії витримували при перемішуванні і заданій температурі протягом 60 хвилин і відстоювали з паралельним проведенням седиментаційного аналізу. Проведеними дослідженнями встановлено, що при температурі 20 ÷ 30 °C і надлишку розчину реагента-осаджувача на рівні 20 ÷ 50% можна отримати залишкові концентрації Cr⁶⁺ в очищених розчинах близьких до рівня ПДК. Найбільш оптимальна швидкість перемішування суспензій становить 1,5 ÷ 2 об/сек. Дана інтенсивність перемішування сприяє збільшенню швидкості розшарування отримуваної суспензії, дозволяє отримувати осад PbCrO₄ з розмірами частинок на рівні 1,4 ÷ 1,6 мкм, не збільшує залишкову концентрацію Cr⁶⁺ в очищених розчинах. При збільшенні надлишку осаджувача, швидкість росту кристалів PbCrO₄ зменшується по порівнянню со швидкістю утворення зародків. Таким чином, показана цілесобразність застосування водного розчину Pb(CH₃COO)₂ як реагента-осаджувача для очищення Cr⁶⁺-содержащих стічних вод електрохімічних виробництв.

Ключевые слова: хромовая кислота, оксалат свинца, осадитель, технологические параметры, остаточная концентрация, уровень ПДК.

M.N. SHOROKHOV, A.V. SUVORIN, M.A. OZHEREDOVA

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND INTENSITIVITY OF MIXING ON TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE CHEMICALLY RECEIVED SUSPENSION OF PbCrO₄

The expediency of applying the reagent method for wastewater treatment of industrial enterprises containing Cr⁶⁺ under conditions of real production using water-soluble salts of Pb²⁺ with the formation of a poorly soluble salt of PbCrO₄ was used as a precipitating agent. The effect of temperature and mixing intensity on the chemical deposition of PbCrO₄ in the H₂CrO₄-Pb(CH₃COO)₂-H₂O system is studied. A solution of H₂CrO₄ with a concentration of 100 mg/l (in terms of Cr (IV)), which models a typical wash water of the first stage of washing of the process of electrochemical chromium plating, was used as a starting material. An aqueous solution of lead oxalate saturated at 20°C was used as a precipitant (30,7 g/100 g of water). The precipitating solution was dosed once to chromium (VI) - containing solution, based on the following molar ratios: stoichiometric amount (100%) and an excess of 120 and 150% to form lead chromate. The temperature was maintained at the level of: 20, 30, 40, 50, and 60 °C, and the rotation speed of the mixer shaft was maintained at the levels: 0 (without mixing), 1.4; 2; 2.5 and 3 rpm. After dosing the precipitator solution, the resulting suspensions were kept under stirring and at the set temperature for 60 minutes and defended with a parallel sedimentation analysis. Studies have established that at a temperature of 20 ÷ 30 °C and an excess of the precipitating reagent solution of 20 ÷ 50%, it is possible to obtain residual Cr⁶⁺ concentrations in purified solutions close to the MPC level. The most optimal mixing speed of suspensions is 1.5 ÷ 2 rpm. This mixing intensity helps to increase the separation rate of the resulting suspensions, allows one to obtain a PbCrO₄ precipitate with particle sizes of 1.4–1.6 μm, and does not increase the residual Cr⁶⁺ concentration in purified solutions. With increasing excess of precipitant, the growth rate of PbCrO₄ crystals decreases compared to the rate of nucleation. Thus, the feasibility of using an aqueous solution of Pb(CH₃COO)₂ as a precipitating reagent for the purification of Cr⁶⁺-containing wastewater from electrochemical plants has been shown.

Key words: chromic acid, lead oxalate, precipitant, technological parameters, residual concentration, MPC level.

© М. М. Шорохов, О. В. Суворін, М. А. Ожередова, 2020

Вступ. Сполуки Cr^{6+} мають широке використання у сучасній промисловості: в органічному синтезі вони застосовуються як окиснювачі, у виробництві антикорозійних фарб як пігменти, в шкіряному виробництві - в якості дубильних речовин, в металургії - для виготовлення ферохрому, але найбільше поширення сполуки шестивалентного хрому набули в гальванічному виробництві. Процеси електрохімічного хромування, окислювання та пасивації металів супроводжуються утворенням стічних вод, які вміщують сполуки високоокисного Cr^{6+} [1]. Без попереднього очищення до норм ГДК, скидання таких вод в водні об'єкти навколишнього середовища заборонено. Разом з тим в виробничих стічних водах хром має значну цінність, а його вилучення та повторне використання у виробництві може дати значний економічний ефект. Універсальних прийомів очищення виробничих стоків, шлаків від хрому не існує. Вміст хрому в різних відпрацьованих розчинах коливається в широких межах. Великі об'єми розчинів, їх видове різноманіття, іноді низький вміст хрому в них, супутні домішки інших елементів і речовин ускладнюють переробку цих розчинів з метою вилучення хрому, а також очищення стоків від небезпечного компонента. Всі існуючі способи знешкодження хромістних відпрацьованих розчинів переслідують одну мету - уникнути безповоротної втрати хрому і забруднення навколишнього середовища своєю токсичною дією. В роботах [2-4] проаналізовані найбільш поширені у світовій практиці методи очищення водних розчинів від сполук Cr^{6+} .

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Кожний з розглянутих методів знешкодження має свої явні переваги та недоліки. В роботі [5] показано, що реагентний метод знешкодження Cr^{6+} -вмісних стічних вод, незважаючи на такі явні недоліки, як необхідність використання товарних реактивів та складність досягнення залишкової концентрації Cr^{6+} на рівні нормативів ГДК (0,1 мг/л [6]), не втратив своєї актуальності. Він дозволяє працювати в великому діапазоні параметрів стоків (якісний і кількісний склад, рН і т.д.), що в умовах реального виробництва вельми зручно.

Одним з найбільш ефективних реагентів-осаджувачів при застосуванні реагентного метода знешкодження можуть бути водорозчинні солі Pb^{2+} , використання яких призводить до утворення малорозчинної солі PbCrO_4 [7]. Так, вже при надлишку реагента-осаджувача у 20 – 50% від стехіометрично необхідної кількості, може бути досягнута залишкова концентрація сполук Cr^{6+} , що близька до рівня ГДК для водних об'єктів.

Однак, не менш важливим є визначення впливу таких технологічних параметрів, як температура осадження та ступінь турбулізації на властивості утворених суспензій, осадів та залишкову концентрацію Cr^{6+} у відфільтрованих розчинах.

Методика експерименту. Як вихідну речовину використовували розчин H_2CrO_4 з концентрацією 100

мг/л (в поррахунок на Cr^{6+}), що моделює типову промивну воду першої стадії промивки після процесу твердого електрохімічного хромування [8]. Як осаджувач використовували насичений при 20°C водний розчин (30,7 г/100 г води [9]) оксалату свинцю ГОСТ 1027-67 «Свинец (II) уксуснокислий 3-водный. Технические условия». Розчин-осаджувач одноразово дозували до хром(VI)- вмісного розчину, виходячи з таких мольних співвідношень: стехіометричної кількості (100%) та надлишку 120 й 150% для утворення хрому свинцю за реакцією:



Температуру підтримували на рівні ($\pm 0,5^\circ\text{C}$): 20, 30, 40, 50 та 60 °C. Швидкість обертання валу мішалки підтримували на рівнях: 0 (без перемішування); 1,4; 2; 2,5 та 3 об/сек. та контролювали за допомогою тахометру. Після дозування розчину осаджувача утворювані суспензії витримували при перемішуванні та заданій температурі протягом 60 хвилин та відстоювали з паралельним проведенням седиментаційного аналізу за методикою, що запропонована в роботі [10]. В освітлених частинах суспензій визначали залишкову концентрацію Cr^{6+} за відомими методиками [11].

Результати дослідження та їх обговорення. Результати виміру залишкових концентрацій Cr^{6+} (середнє значення з 3-х паралельних експериментів) в залежності від мольного співвідношення $\text{Cr}^{6+} : \text{Pb}^{2+}$ при різних температурах проведення експериментів наведені на рис. 1.

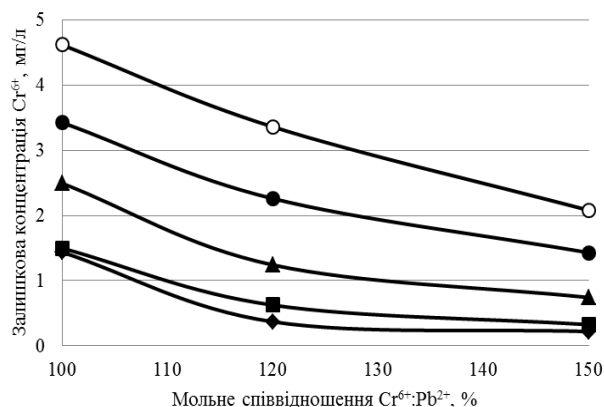


Рисунок 1 – Залежність залишкової концентрації Cr^{6+} від мольного співвідношення $\text{Cr}^{6+} : \text{Pb}^{2+}$ при різних температурах (°C): ◆ – 20; ■ – 30; ▲ – 40; ● – 50; ○ – 60

Приведені дані свідчать, що при температурах 20÷30°C збільшення надлишку розчину оксалату свинцю від стехіометричної кількості до 50%-го надлишку дозволяє знизити залишкову концентрацію Cr^{6+} з 1,44 мг/л до 0,22÷0,32 мг/л, тобто у $\approx 6,5$ разів. Однак подальше поступове підвищення температури до 60°C призводить до збільшення залишкової концентрації до 4,61 мг/л при стехіометричній кількості осаджувача й до 2,1 мг/л при надлишку 60%. Такий характер збільшення залишкової концентрації Cr^{6+} в очищених

розчинах, принципово, відповідає загальній тенденції щодо зростання розчинності хроматів при збільшенні температури [12]. Ці дані також свідчать, що для досягнення залишкових концентрацій Cr^{6+} в очищених розчинах близьких до значень ГДК, осадження необхідно проводити при температурах не більше 30°C . Тому подальші дослідження впливу перемішування реакційного середовища на залишкову концентрацію Cr^{6+} та на властивості отриманих суспензій проводили при температурі $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

На рис. 2 показаний вплив збільшення інтенсивності перемішування на залишкову концентрацію Cr^{6+} в освітлених суспензіях.

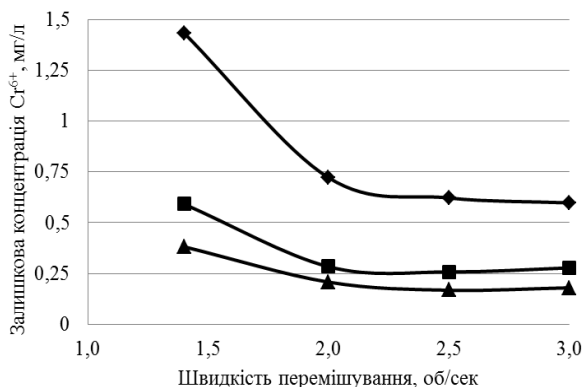


Рисунок 2 – Залежність залишкової концентрації Cr^{6+} від інтенсивності перемішування при різних мольних співвідношеннях $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$ (%): ◆ – 100; ■ – 120; ▲ – 150

Якщо прийняти до уваги результати експериментів, проведених без перемішування, що представлені на рис. 1 для відповідних значень температури та стехіометричного співвідношення $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$, то збільшення швидкості перемішування суспензій від 0 до 1,5 об/сек. не призводить до помітного зменшення залишкової концентрації Cr^{6+} . Найбільше зниження залишкової концентрації Cr^{6+} (у середньому в 2,3 рази) в освітлених частинах всіх досліджуваних суспензій спостерігається при збільшенні швидкості перемішування до 1,5 ÷ 2 об/сек. При збільшенні швидкості перемішування від 2,5 до 3 об/сек. для суспензій, отриманих з надлишком осаджувача, навпаки, спостерігається збільшення залишкової концентрації Cr^{6+} приблизно на 6%. Це можна пояснити, що при такій швидкості перемішування відбувається подрібнення кристалів осаду, що утворились в процесі осадження. Це призводить до подальшого зменшення дифузійного опору та підвищення швидкості дифузії і, як кінцевий результат, - збільшення розчинності дрібних кристалів осаду [13].

Залежність швидкості розшарування суспензій від швидкості перемішування суспензій при різних мольних співвідношеннях $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$ та температурі 20°C приведений на рис. 3.

Дані показують, що при проведенні експериментів без витримки суспензій при перемішуванні, швидкість розшарування суспензій не залежить від мольного співвідношення $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$ й становить, в середньому, 10,1 мл/год. Суттєве зменшення швидко-

сті розшарування суспензій відбувається в інтервалі швидкості перемішування 1,4 ÷ 2 об/сек. При цьому збільшення мольного співвідношення $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$ від 100 до 150% приводить до зменшення швидкості розшарування суспензій з 1,3 до 1,7 разів. Цей факт свідчить про утворення більш дрібних частинок твердої фази утворених суспензій.

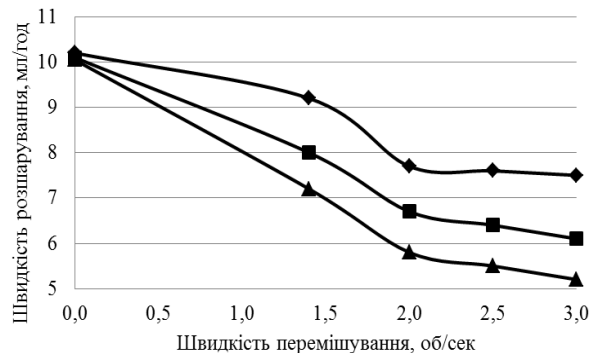


Рисунок 3 – Вплив швидкості перемішування суспензій на швидкість їх розшарування при різних мольних співвідношеннях $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$ (%): ◆ – 100; ■ – 120; ▲ – 150

Подальше збільшення швидкості перемішування від 2 до 3 об/сек практично не впливає на швидкість розшарування суспензій, яка отримана при додаванні до розчину Cr(VI) стехіометричній кількості розчину осаджувача й зменшується ще в 1,1 разів для суспензій, отриманих при надлишку розчину осаджувача 20 та 50 %.

Розрахунок середніх розмірів частинок твердої фази суспензій показав (рис. 4), що у відсутності перемішування, не залежно від кількості подаваного осаджувача, середній розмір частинок утворюваного осаду PbCrO_4 становить 1,61 ÷ 1,62 мкм. При швидкості перемішування суспензій 1,4 об/сек та збільшенні кількості розчину осаджувача в досліджених інтервалах відбувається зменшення середнього розміру осаду PbCrO_4 з 1,54 до 1,36 мкм.

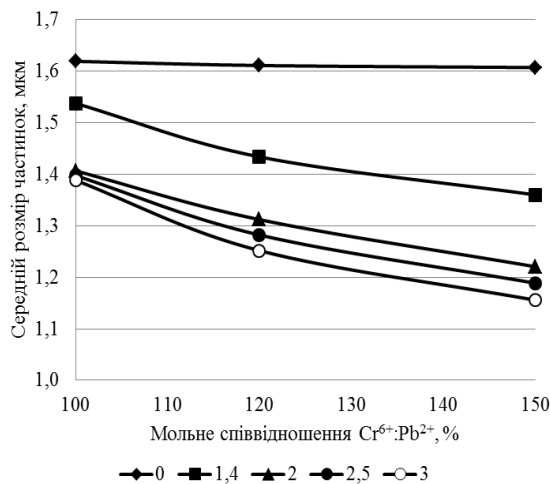


Рисунок 4 – Залежність середнього розміру частинок твердої фази суспензій від мольного співвідношення $\text{Cr}^{6+}:\text{Pb}^{2+}$ при різних швидкостях перемішування (об/сек.): ◆ – 0; ■ – 1,4; ▲ – 2; ● – 2,5; ○ – 3

Подальше збільшення інтенсивності перемішування при стехіометричній кількості подаваного розчину осаджувача призводить до зменшення розмірів частинок осаду до 1,41 мкм. А подальше збільшення кількості осаджувача призводить до поступового зменшення розміру частинок утвореного осаду $PbCrO_4$ з 1,41 до $1,22 \div 1,16$ мкм.

Однчасне збільшення залишкових концентрацій Cr^{6+} в освітлених частинах суспензій при збільшенні інтенсивності перемішування утворених суспензій від 2 до 3 об/сек та зменшення середніх розмірів частинок утвореного осаду на $17 \div 20\%$, відбуваються тільки при додаванні надлишку розчину осаджувача. Це свідчить про те, що при збільшенні надлишку осаджувача, швидкість росту кристалів $PbCrO_4$ зменшується порівняно зі швидкістю утворення зародків, що є характерним для більшості процесів хімічного осадження [14].

Висновки.

Таким чином, проведеними дослідженнями процесів хімічного осадження $PbCrO_4$, які протікають в системі $H_2CrO_4 - Pb(CH_3COO)_2 - H_2O$, показано, що:

1) в інтервалі температур від 20 до 30°C та надлишках розчинів реагенту-осаджувача від 20 до 50% можливо отримати залишкові концентрації Cr^{6+} в очищених розчинах, які всього у $2 \div 4$ рази перевищують ГДК для вод рибогосподарського призначення.

2) підвищення температури процесу хімічного осадження хромату свинцю в дослідженій системі від 20 до 60°C призводить до збільшення залишкової концентрації Cr^{6+} в освітлених частинах суспензій від 7 до 10 разів.

3) найбільш оптимальна швидкість перемішування суспензій складає $1,5 \div 2$ об/сек., що перешкоджає збільшенню залишкової концентрації Cr^{6+} в очищених розчинах понад 0,2 мг/л та тримувати осад $PbCrO_4$ з розмірами частинок на рівні $1,4 \div 1,6$ мкм, що сприяє збільшенню швидкості розшарування суспензій.

Список литературы

1. Мамырбаев А.А. Токсикология хрома и его соединений. Актобе: Кокжиек, 2012. 284 с.
2. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. ред. проф. В. Н. Кудрявцева; 2-е изд. перераб. и доп. Москва: Глобус, 2002. 352 с.
3. Виноградов С. С., Кругликов С.С. О положительных и отрицательных сторонах электро- и гальванокоагуляционных методов очистки сточных вод. Гальванотехника и обработка поверхности. 2008. Т. 16, № 1. С. 46 - 47.
4. Пляцук Л.Д., Мельник О.С. Анализ технологий очистки гальванических стоков в Украине. Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. 2008, № 2. С. 51 - 56.
5. Григоренко Ю.Ю., Шорохов М.М., Суворін О.В., Заїка Р.Г. Оцінка ефективності технологій утилізації Cr^{6+} вмісних стічних вод промислових підприємств на основі SWOT-аналізу. Матеріали XXI міжнар. наук.-техн. конф. «Технологія 2018». Ч. 1. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2018. С. 83 - 85.
6. Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справоч-

ник. Ленинград: Химия, 1985. 528 с.

7. Шорохов М.М., Суворін О.В., Казаков В.В., Ожередова М.А. Вплив надлишку осаджувача на очищення Cr^{6+} вмісних стічних вод промислових підприємств. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2018, № 3 (244). С. 109 - 112.
8. Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. Электролитическое хромирование. Москва: Глобус, 2007. 191 с.
9. Никольский Б.П., Григоров О.Н., Позин М.Е., Порай-Кошиц Б.А., Рабинович В.А., Рачинский Ф.Ю., Романков П.Г., Фридрихсберг Д.А. Справочник химика / гл. ред. Б.П. Никольский. Москва: Химия, 1964. Т.3. 1008 с.
10. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии. Москва: Химия, 1975. 512 с.
11. Клещев Н.Ф., Костыркина Т. Д., Бескова Г.С., Моргунова Е.Т. Аналитический контроль в основной химической промышленности. Москва: Химия, 1992. 272 с.
12. Позин М.Е. Технология минеральных солей. Ленинград: Химия, 1974. 792 с.
13. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.Н. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. Ленинград: Химия, 1984. 336 с.
14. Вассерман И. М. Химическое осаждение из растворов. Ленинград: Химия, 1980. 208 с.

References (transliterated)

1. Mamyrbayev A.A. Toksikologiya hroma i ego soedinenij. Aktobe: Kokzhiek, 2012. 284 p.
2. Vinogradov S. S. Jekologicheski bezopasnoe gal'vanicheskoe proizvodstv. red. prof. V. N. Kudryavceva; 2-e izd. pererab. i dop. Moskva: Globus, 2002. 352 p.
3. Vinogradov S. S., Kruglikov S.S. O polozhitel'nyh i otricatel'nyh storonah jelektro- i gal'vanokoagulyacionnyh metodov oчитki stochnyh vod. Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti. 2008. T. 16, № 1. P. 46 - 47.
4. Plyatsuk L.D., Mel'nyk O.S. Analiz tekhnologiy ochystky hal'vanichnykh stokiv v Ukraini. Visnyk SumDu. Seriya Tekhnichni nauky. 2008, № 2. P. 51 - 56.
5. Hryhorenko Yu.Yu., Shorokhov M.M., Suvorin O.V., Zaika R.H. Otsinka efektyvnosti tekhnologiy utylizatsiyi Cr^{6+} vmisnykh stichnykh vod promyslovykh pidpryyemstv na osnovi SWOT-analizu. Materialy XXI mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Tekhnologiya 2018». Ch. 1. Syevyerodons'k: SNU im. V. Dallya, 2018. P. 83–85.
6. Bespamyatnov G.P., Krotov Yu.A. Predelno dopustimyie kontsentratsii himicheskikh veschestv v okruzhayushey srede. Spravochnik. Leningrad: Himiya, 1985. 528 p.
7. Shorokhov M.M., Suvorin O.V., Kazakov V.V., Ozheredova M.A. Vplyv nadlyshku osadzhuвача na ochyshchennya Cr^{6+} vmisnykh stichnykh vod promyslovykh pidpryyemstv. Visnyk Skhidnoukrayyn's'koho natsional'noho universytetu im. V. Dallya, 2018, № 3 (244). P. 109 - 112.
8. Solodkova L.N., Kudryavcev V.N. Jelektroliticheskoe hromirovanie. Moskva: Globus, 2007. 191 p.
9. Nikolskiy B.P., Grigorov O.N., Pozin M.E., Poray-Koshits B.A., Rabinovich V.A., Rachinskiy F.Yu., Romankov P.G., Fridrihsberg D.A. Spravochnik himika / gl. red. B.P. Nikolskiy. Moskva: Himiya, 1964. T.3. 1008 p.
10. Vojuckiy S. S. Kurs kolloidnoj himii. Moskva: Himija, 1975. 512 p.
11. Kleshhev N.F., Kostyrkina T. D., Beskova G.S., Morgunova E.T. Analiticheskij kontrol' v osnovnoj himicheskoy promyshlennosti. Moskva: Himija, 1992. 272 p.
12. Pozin M.E. Tehnologija mineral'nyh solej. Leningrad: Himija, 1974. 792 p.
13. Braginskiy L.N., Begachev V.I., Barabash V.N. Peremeshivanie v zhidkikh sredakh: Fizicheskie osnovy i inzhenernye metody rascheta. Leningrad: Khimiya, 1984. 336 p.
14. Vasserman I. M. Himicheskoe osazhdenie iz rastvorov. Leningrad: Himija, 1980. 208 p.

Поступила (received) 30.01.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шорохов Михайло Миколайович (Шорохов Михаил Николаевич, Shorokhov Mikhail Nikolayevich) – Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, аспірант кафедри хімічної інженерії та екології; м. Северодонецьк, Україна; e-mail: teplopribors@i.ua.

Суворін Олександр Вікторович (Суворин Александр Викторович, Suvorin Alexander Viktorovich) – доктор технічних наук, професор, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, завідувач кафедри хімічної інженерії та екології; м. Северодонецьк, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9251-5017>; e-mail: avsuvorin@ukr.net.

Ожередова Марина Анатоліївна (Ожередова Марина Анатольевна, Ozheredova Marina Anatolievna) – кандидат технічних наук, доцент, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, доцент кафедри хімічної інженерії та екології; м. Северодонецьк, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3862-1964>; e-mail: ozheredovama@ukr.net.