

Оригинальная статья / Original article

УДК 544.723.2 : 546.766

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-159-164>



Процесс адсорбционного извлечения ионов хрома(VI) из агрессивных водных растворов

© О.В. Рыбарчук, В.И. Дударев, Г.Н. Дударева

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Хром – один из наиболее эффективных металлов, использующихся для защиты и декоративного покрытия разнообразных изделий. Однако процесс хромирования протекает, как правило, в сильноокислой среде, что влечет за собой образований опасных и агрессивных растворов. Для удаления хрома из таких растворов исследована возможность использования углеродного адсорбента, который позволяет осуществлять практически полное извлечение металла из производственных растворов до остаточного содержания не более 0,05 мг/дм³. Одним из значимых преимуществ углеродного адсорбента является его способность извлекать ионы хрома(VI) без стадии его восстановления до трехвалентного состояния. Установлено, что максимальная сорбционная емкость сорбента проявляется в сильноокислой среде при pH = 1,2–2,5. Такая среда обуславливает образование в растворе димера $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, являющегося адсорбируемым ионом. Предложена схема узла адсорбционного извлечения металла из растворов электрохимического производства. В качестве аппарата выбран адсорбер с псевдооживленным слоем, поскольку взаимодействие потока с адсорбентом в данных реакторах является максимальным. Конструкция адсорбера в виде цилиндрической колонны с конусообразными верхней и нижней частями предполагает установку внутри аппарата распределительных решеток. Предлагается отработанный хромсодержащий раствор электрохимического производства после усреднителя направлять напрямую в адсорбер с загрузкой углеродного адсорбента. В целях обеспечения непрерывности режима очистки необходимо применять два параллельно работающих адсорбера. Рассчитаны технические параметры адсорбера: диаметр – 1,2 м; высота – 7,5 м; объем загрузки – 5,9 м³; высота загрузки – 6 м, а также характеристики процесса: линейная скорость потока вдоль стенок адсорбера – 12,75 м/ч; продолжительность работы аппарата до регенерации угля – 21 сутки. Предложенная схема может быть рекомендована для создания оборотного водопользования.

Ключевые слова: ионы хрома(VI), углеродный адсорбент, адсорбер, технологическая схема

Для цитирования: Рыбарчук О.В., Дударев В.И., Дударева Г.Н. Процесс адсорбционного извлечения ионов хрома(VI) из агрессивных водных растворов. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 1. С. 159–164. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-159-164>

Adsorptive extraction of chromium (VI) ions from corrosive aqueous solutions

Olga V. Rybarchuk, Vladimir I. Dudarev, Galina N. Dudareva

Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation

Abstract: Chromium is one of the most effective metals used for protection and decorative coating of various products. However, chrome plating typically occurs in a strongly acid medium, thus involving the formation of dangerous and corrosive solutions. In this article, we investigate the possibility of removing chromium from such solutions using carbon adsorbents, which allow for almost complete extraction of the metal from production solutions up to a residual content of no more than 0.05 mg/dm³. A significant advantage of carbon adsorbents is their ability to extract chromium (VI) ions without chromium reduction to the trivalent state. It was established that the sorbent under study exhibits the maximum sorption capacity in a strongly acidic medium at pH = 1.2–2.5. This medium causes the formation of a $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dimer in the solution, which is an adsorbed ion. A scheme of a production unit for chromium adsorption from solutions of electrochemical production was proposed. The choice of an adsorber with a fluidized bed was determined by the maximal interaction of the flow with the adsorbent in such reactors. The adsorber design in the form of a cylindrical column with tapered upper and lower parts assumes installation of distribution grids inside the apparatus. It is proposed to forward the chromium-containing solution of electrochemical production remained after the avera-

ging tank directly to the adsorber with the loading of the carbon adsorbent. In order to ensure the continuity of the extraction mode, it is necessary to apply two parallel working adsorbers, whose technical parameters were calculated to be as follows: the diameter of 1.2 m; the height of 7.5 m; the loading volume of 5.9 m³; and the loading height of 6 m. The calculated process parameters were determined: the linear flow rate along the walls of the adsorber – 12.75 m/h; the duration of the apparatus operation before coal regeneration – 21 days. The proposed scheme can be recommended for recycling water supply.

Keywords: chromium (VI) ions, carbon adsorbent, adsorber, technological scheme

For citation: Rybarchuk OV, Dudarev VI, Dudareva GN. Adsorptive extraction of chromium (VI) ions from corrosive aqueous solutions. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(1):159–164. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-159-164>

ВВЕДЕНИЕ

Хром является одним из наиболее эффективных металлов, использующихся для защиты поверхности разнообразных изделий промышленного и бытового назначения [1–9]. Декоративные и прочностные свойства хромового покрытия, несмотря на технологические сложности нанесения его на поверхность, позволяют электрохимическому производству сохранять и развивать технологию в широком промышленном и географическом диапазоне¹ [10–14]. Процесс покрытия изделий хромом осуществляется, как правило, в сильноокислой среде [15], что влечет за собой образование опасных агрессивных водных растворов. По сложившейся практике концентрированные растворы хрома нейтрализуются и осаждаются большим количеством стандартных реагентов, например, бисульфитом натрия, и затем хранятся длительное время в высокотоксичных шламохранилищах [16].

Ранее авторами настоящей статьи был разработан адсорбционный процесс извлечения ионов хрома(VI) из отработанных электрохимических растворов с использованием углеродного адсорбента [17]. Процесс позволяет осуществлять практически полное извлечение металла из производственных растворов до остаточного содержания не более 0,05 мг/дм³, что соответствует требованиям ГН 2.1.5.1305-03². Цель данной работы – расчет и аппаратное оформление этого процесса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Углеродный адсорбент представляет собой черные гранулы неправильной формы со средним размером частиц от 0,5 до 2 мм. Удельная поверхность определена по адсорбции йода и составляет 550 м²/г. Суммарный объем пор (по воде) составил 0,61 см³/г, сорбционная активность по йоду – 84%. Механическая прочность

адсорбента – 82%, насыпная плотность – 550 г/дм³. Сорбционная емкость адсорбента по отношению к ионам хрома(VI) была определена в статическом режиме и составила 1,21 ммоль/г (при температуре 294 К). В динамическом режиме обменная емкость составила около 60% от статической (при температуре 294 К равна 0,7 ммоль/г) [18].

Концентрацию ионов хрома(VI) в исследуемых растворах определяли спектрофотометрическим методом (прибор КФК-3, Россия)³. Периодически концентрацию ионов металла контролировали атомно-абсорбционным методом (прибор Квант-2А, Россия) и ICP-методом количественного анализа (прибор ICPE-9000, Shimadzu, Япония). Контрольный анализ катионного состава сточных вод проводили с применением ионного хроматографа фирмы Shimadzu (Япония) с кондуктометрическим детектором CDD-10 AVP.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одно из значимых качеств адсорбента – способность извлекать ионы хрома(VI) без стадии его восстановления до трехвалентного состояния. Установлено, что максимальная сорбционная емкость наблюдается в кислой среде при pH = 1,2–2,5 [18]. Такая среда обуславливает образование в растворе димера Cr₂O₇²⁻, являющегося адсорбируемым ионом. Возможности применения углеродного адсорбента исследованы с целью использования в производственной схеме действующего машиностроительного предприятия.

В предлагаемом варианте отработанный хромсодержащий раствор электрохимического производства после усреднителя направляется напрямую в адсорбер с загрузкой углеродного адсорбента. Разработанная схема узла извлечения ионов хрома(VI) адсорбционным методом представлена на рисунке.

¹Joung J.P. Codeposition of particulate matter with chromium // *Plating Surf. Finish*. 1975. No. 62 (4). P. 348–349.

²ГН 2.1.5.1305-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: постановл. Министерства здравоохранения РФ от 30.04.2003 г. № 78.

³Лаврухина А.К., Юкина Л.В. Аналитическая химия хрома. М.: Наука. 1979. 218 с.

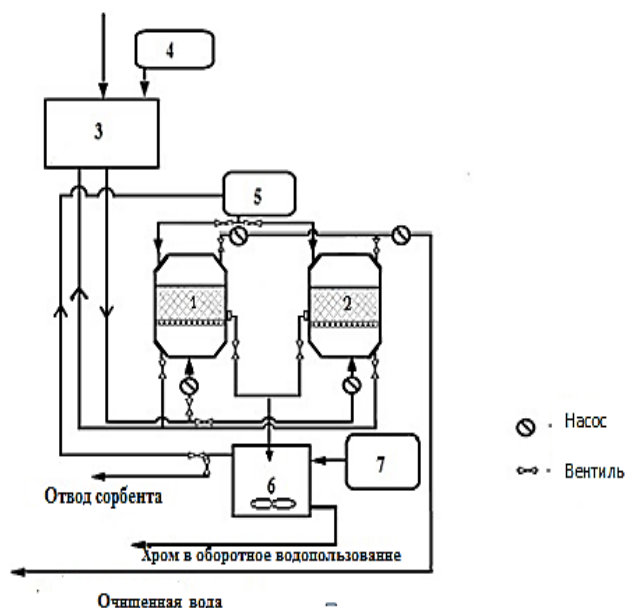


Схема узла извлечения ионов хрома(VI) адсорбционным методом:

1, 2 – адсорберы с псевдоожиженным слоем;
 3 – усреднитель хромосодержащих растворов;
 4 – емкость с кислотой; 5 – емкость с адсорбентом;
 6 – десорбер; 7 – емкость с NaOH

Scheme of unit for chromium (VI) ions absorption extraction:

1, 2 – fluidized bed adsorbers;
 3 – chromium solution tank;
 4 – acid tank; 5 – container with adsorbent;
 6 – desorber; 7 – NaOH tank

Отработанные хромсодержащие растворы на производстве выделяются отдельной линией, поэтому на извлечение ионов хрома(VI) не оказывают влияния ионы других металлов. Растворы проходят через усреднитель 3 для корректировки pH, где оптимальную кислотность среды ($\text{pH} = 1-2$) поддерживают добавлением раствора серной кислоты из емкости 4. Затем хромовый раствор насосом подается в нижнюю корпусную часть адсорбера 1 (2), далее происходит процесс сорбции на углеродном адсорбенте. В качестве реакторов выбраны адсорберы с псевдоожиженным слоем. Данные аппараты имеют ряд преимуществ по сравнению с другими конструкциями адсорберов: большая площадь контакта фаз при том же объеме загрузки, большее время контакта фаз. Взаимодействие потока с адсорбентом в таких реакторах является максимальным. Бак 5 служит емкостью для хранения адсорбента перед подачей его в аппарат. Очищенный раствор выводится из адсорбера через отверстие в верхней части аппарата. Концентрация хрома(VI) на выходе из аппарата не превышает предельно допустимую (ПДК) и составляет

$0,05 \text{ мг/дм}^3$ (как для водоемов рыбохозяйственного назначения). Для организации непрерывного процесса предложено использовать два адсорбера: после насыщения углеродного адсорбента в первом аппарате его переключают на перезагрузку, а второй включают на сорбцию. Во время перезагрузки адсорбент направляется в десорбер 6, оснащенный мешалкой, куда подается 1%-й раствор гидроксида натрия 7. Концентрированный раствор хрома после десорбции предлагается возвращать в электрохимическое производство для дальнейшего использования хрома. Регенерированный адсорбент направляется в бак 5. Сорбционные возможности адсорбента позволяют использовать его в пяти полных циклах сорбционно-десорбционного процесса. Отработанный адсорбент из адсорбера отводится в смеситель. После десорбции элюат обрабатывается гидроксидом кальция. Полученный осадок отфильтровывается, а затем хром переводится в концентрированный раствор бихромата калия и может использоваться повторно в электрохимическом процессе.

Разработанные на сегодняшний день модели адсорберов позволяют применять их в качестве основных аппаратов, однако они должны быть адаптированы под конкретное производство. Нами выполнен расчет параметров адсорбера с псевдоожиженным слоем для извлечения металла с применением углеродного адсорбента. Конструкция адсорбера в виде цилиндрической колонны с конусообразными верхней и нижней частями предполагает установку внутри аппарата распределительных решеток. Для загрузки фильтрующего материала в верхней части колонны предусмотрен штуцер. Для выгрузки адсорбента штуцер установлен на уровне распределительной решетки. Расчет основных параметров адсорбера производили согласно СНиП 2.04.03-85⁴ с учетом данных, полученных в ходе опытных исследований. Содержание ионов хрома в данных растворах находится в пределах $0,2-29,7 \text{ мг/дм}^3$ (табл. 1).

По полученным результатам остаточная концентрация ионов хрома(VI) в исследуемых растворах составила $0,03-0,04 \text{ мг/дм}^3$. В качестве исходных данных для расчета адсорбционного извлечения металла принимали следующие: начальная концентрация ионов хрома(VI) $C_n - 10 \text{ мг/л}$; требуемая степень извлечения $C_k - 0,03 \text{ мг/дм}^3$; производительность $q_w - 12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$; изотерма сорбции соответствует уравнению Фрейндлиха: a_{sb} в мг/г ; C в мг/дм^3 ; $a_{sb}^{\text{max}} = 4,52 \cdot C_k^{1/1,94}$; углеродный адсорбент имеет истинную плотность $\rho_r - 1700 \text{ кг/м}^3$, насыпную $\rho_r^{\text{нас}} - 550 \text{ кг/м}^3$, диаметр гранул адсорбента $d = 0,5-2 \text{ мм}$; заданная степень исчерпания

⁴СНиП 2.04.03-85. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения (с Изменениями № 1); утв. постановл. Госкомитета СССР по делам строительства от 21.05.1985 г. № 71. М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. 70 с.

емкости адсорбента $K_{sb} = 0,7$; порозность неподвижного слоя $\varepsilon_n = 0,5$.

В сутки аппарат может пропускать 300 м^3 отработанных растворов. За это время загрузка из углеродного адсорбента способна поглотить до 3000 г хрома. Время контакта фаз в псевдоожиженном слое составит 20 мин. Переключение адсорберов обычно производится раньше полного насыщения загрузки, поскольку при времени, граничащем со временем полного насыщения адсорбента, концентрация металлов в растворе близка к равновесной и скорость сорбции снижается.

Результаты расчетов параметров адсорбера представлены в табл. 2.

Выполнено технико-экономическое обоснование и сравнение предложенного способа извлечения хрома с существующими технологиями с учетом требований, предъявляемых к качеству очищенной воды, на примере машиностроительного завода. На реализацию реагентного способа извлечения на действующем предприятии расходы на материалы составляют 5909,77 тыс. руб. в год, а эксплуатационные затраты в целом достигают 6648,96 тыс. руб. в год [15]. При использовании же адсорбционного метода затраты на материалы составят 4216,98 тыс. руб. в год, что почти на 30% ниже текущих затрат. Представленная схема позволит сократить затраты производства на 1482,37 тыс. руб. в год.

Таблица 1. Усредненный химический состав хромосодержащих растворов электрохимического производства

Table 1. Average chemical composition of chromium solutions of electrochemical industry

Источник загрязнения отработанной воды	Концентрация ионов металлов, мг/дм ³			
	Медь(II)	Цинк(II)	Железо(III)	Хром(VI)
После меднения и цинкования	73,1	25,0	111,9	29,7
После нейтрализации стоков	6,8	4,1	24,9	2,4
После хромирования	46,0	12,6	58,0	14,1
После нейтрализации хромово-кислых стоков	6,9	2,4	8,2	0,3
После промывки алюминиевых плат	0,7	3,4	10,0	0,2

Таблица 2. Характеристики адсорбера с псевдоожиженным слоем адсорбента для извлечения ионов хрома(VI)

Table 2. Characteristics of fluidized adsorbent bed plant for chromium (VI) ions extraction

Показатель	Значение
Размер частиц адсорбента, мм	0,5–2,0
Общая площадь работающих адсорберов, м ²	0,98
Высота загрузки одного адсорбера, м	6
Линейная скорость потока, м/ч	12,75
Высота адсорбера, м	7,5
Диаметр адсорбера, м	1,2
Продолжительность работы одного адсорбера до регенерации адсорбента, сут.	21
Продолжительность работы одного адсорбера до перезагрузки адсорбента, сут.	57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана схема узла извлечения ионов хрома(VI) из агрессивных водных промышленных растворов с применением углеродных адсорбентов. В качестве реакторов выбраны адсорберы с псевдоожиженным слоем, поскольку взаимодействие потока с адсорбентом в данных реакторах является максимальным. Рассчитаны

основные параметры адсорбера. Адсорбционный метод извлечения металла с применением углеродного адсорбента является весьма эффективным и позволяет производить извлечение хрома до ПДК водных растворов. Экономический эффект от внедрения адсорбционной схемы существенно сократит сверхнормативные затраты производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. Электрохимическое хромирование. М.: Глобус, 2007. 191 с.
2. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2016–2017 годы // Гальванопластика и обработка поверхности. 2018. Т. 26. N 1. С. 4–10. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_1_4
3. Железнов Е.В., Кузнецов В.В. Композиционные хромовые покрытия с ультрадисперсными частицами BN в юрце и WC, получаемые из электролитов на основе Cr(VI) // Гальванотехника и обработка поверхности. 2017. Т. 25. N 1. С. 34–40. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2017_25_1_34
4. Bakanov V.I., Nesterova N.V., Yakupov A.A.

- Features of electroplating of nanocrystalline chromium coatings from electrolytes based on Cr(III) // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2017. Vol. 53. Issue 3. P. 426–432. <https://doi.org/10.1134/S2070205117030054>
5. Tseluikin V.N. On the structure and properties of composite electrochemical coatings. A review // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2016. Vol. 52. Issue 2. P. 254–266. <https://doi.org/10.1134/S2070205116010251>
6. Isakov V.P., Lyamkin A.I., Nikitin D.N., Shalimova A.S., Solntsev A.V. Structure and properties of chromium-nanodiamond composite electrochemical coatings // Protection of Metals and Physical Chemi-

stry of Surfaces. 2010. Vol. 46. Issue 5. P. 578–581. <https://doi.org/10.1134/S2070205110050138>

7. Vinokurov E.G., Arsenkin A.M., Grigorovich K.V., Bondar' V.V. Electrodeposition and physico-mechanical properties of chromium coatings modified with disperse particles // *Protection of Metals*. 2006. Vol. 42. Issue 3. P. 290–294. <https://doi.org/10.1134/S0033173206030131>

8. Поляков Н.А., Абрашов А.А., Паутов Д.В., Данилов А.И. Защитная способность композиционных хромовых покрытий из сульфатнооксалатных растворов-суспензий Cr(III) с добавками наночастиц SiC, Al₂O₃, SiO₂ и MoS // *Практика противокоррозионной защиты*. 2013. N 4 (70). С. 63–65.

9. Бородин И.П., Шатов Ю.С., Ширяев В.Ю., Щеренкова И.С. Структура и свойства хромовых покрытий с нанодiamondными упрочняющими частицами // *Наноиндустрия*. 2011. N 2 (26). С. 40–43.

10. Rekha M.Y., Punith Kumar M.K., Srivastava C. Electrochemical behaviour of chromium-graphene composite coatings // *RSC Advances*. 2016. Vol. 6. Issue 67. P. 62083–62090. <https://doi.org/10.1039/C6RA06509K>

11. Narayan R., Narayana B.H. Electrodeposited chromium-graphite composite coatings // *Journal of the Electrochemical Science and Technology*. 1981. Vol. 128. Issue 8. P. 1704–1708.

12. Графушин Р.В., Винокуров Е.Г., Махина В.С., Бурхуша Т.Ф. Электроосаждение и физико-механические свойства композиционных покрытий на основе хрома с различными модификациями углерода // *Гальванотехника и обработка поверх-*

ности. 2018. Т. 26. N 2. С. 26–32. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_2_26

13. Перельгин Ю.П. Некоторые вопросы экологии гальванического производства // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2018. Т. 26. N 2. С. 57–61. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_2_57

14. Перельгин Ю.П., Зорькина О.В., Безбородова О.Е., Зуева Т.В., Флягин А.А. Новый подход к очистке сточных вод и отработанных электролитов гальванических производств // *Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение*. 2010. N 2 (26). С. 54–57.

15. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Глобус, 2002. 352 с.

16. Фазлутдинов К.К., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н. Утилизация хромсодержащих стоков. Часть 1. Структура и состав осадков при восстановлении хрома(VI) железной стружкой в сернокислых растворах // *Бутлеровские сообщения*. 2014. Т. 37. N 2. С. 10–17.

17. Пат. № 2547756, Российская Федерация. Способ очистки сточных вод от ионов хрома(VI) / О.В. Климова, В.И. Дударев, Е.Г. Филатова; патентообладатель Иркутский государственный технический университет; заявл. 13.11.2013; опубл. 10.04.2015. Бюл. № 10.

18. Климова О.В., Дударев В.И., Филатова Е.Г. Изучение процессов сорбции ионов хрома(VI) на углеродном сорбенте // *Водоочистка*. 2013. N 10. С. 6–14.

REFERENCES

1. Solodkova LN, Kudryavtsev VN. *Electrochemical chrome plating*. Moscow: Globus; 2007. 191 p. (in Russian).

2. Jelinek TW. Advances in metal finishing – an assessment of the international literature 2016–2017. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2018;26(1):4–10. (In Russian) https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_1_4

3. Zheleznov EV, Kuznetsov VV. Chromium-based composite coatings deposited from Cr (VI) baths containing ultradispersed particles of BNwuerzie and WC. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2017;25(1):34–40. (In Russian) https://doi.org/10.47188/0869-5326_2017_25_1_34

4. Bakanov VI, Nesterova NV, Yakupov AA. Features of electroplating of nanocrystalline chromium coatings from electrolytes based on Cr(III). *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2017;53(3):426–432. <https://doi.org/10.1134/S2070205117030054>

5. Tseluikin VN. On the structure and properties of composite electrochemical coatings. A review. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2016;52(2):254–266. <https://doi.org/10.1134/S2070205116010251>

6. Isakov VP, Lyamkin AI, Nikitin DN, Shalimova AS, Solntsev AV. Structure and properties of

chromium-nanodiamond composite electrochemical coatings. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2010;46(5):578–581. <https://doi.org/10.1134/S2070205110050138>

7. Vinokurov EG, Arsenkin AM, Grigorovich KV, Bondar' VV. Electrodeposition and physico-mechanical properties of chromium coatings modified with disperse particles. *Protection of Metals*. 2006;42(3):290–294. <https://doi.org/10.1134/S0033173206030131>

8. Polyakov NA, Abrashov AA, Pautov DV, Danilov AI. Protective ability of composite chromium coatings from sulfate-oxalate suspension Cr (III) solutions with additives of SiC, Al₂O₃, SiO₂ and MoS₂ nanoparticles. *Praktika protivokorroziionnoi zashchity*. 2013;4:63–65. (In Russian)

9. Borodin IP, Shatov US, Shiryaev VU, Scherenkova IS. Structure and properties of chromic coatings with nanodiamond strengthening particles. *Nanoindustriya = Nanoindustry*. 2011;2:40–43. (In Russian)

10. Rekha MY, Punith Kumar MK, Srivastava C. Electrochemical behaviour of chromium-graphene composite coatings. *RSC Advances*. 2016;6(67):62083–62090. <https://doi.org/10.1039/C6RA06509K>

11. Narayan R, Narayana BH. Electrodeposited

chromium-graphite composite coatings. *Journal of the Electrochemical Science and Technology*. 1981; 128(8):1704–1708.

12. Grafushin RV, Vinokurov EG, Makhina VS, Burukhina TF. Electrodeposition and physic-mechanical properties of composite coatings based on chrome with various carbon modifications. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2018;26(2):26–32. (In Russian) https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_2_26

13. Pereygin YuP. Some Environmental Problems in Electroplating Industry. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2018;26(2):57–61. (In Russian) https://doi.org/10.47188/0869-5326_2018_26_2_57

14. Pereygin YuP, Zorkina OV, Bezborodova OYe, Zueva TV, Flyagin AA. The new approach to sewage treatment and the fulfilled electrolytes. *Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie*.

2010;2:54–57. (In Russian)

15. Vinogradov SS. *Environmentally safe galvanic production*. Moscow: Globus; 2002. 352 p. (In Russian)

16. Fazlutdinov KK, Markov VPh, Maskayeva LN. Disposal of waste chromium. Part 1. The structure and composition of precipitation during recovery of chromium (VI) iron shavings in sulfuric acid solutions. *Butlerovskie soobshcheniya = Butlerov Communications*. 2014;37(2):10–17. (In Russian)

17. Klimova OV, Dudarev VI, Filatova EG. *Method of purifying waste water from chromium (VI)*. Patent RF, no. 2547756; 2013. (In Russian)

18. Dudarev VI, Filatova EG, Klimova OV. Study of the processes of sorption of chrome (VI) ions at carbonic sorbent. *Vodoochistka*. 2013;10:6–14. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Рыбарчук Ольга Владилиновна,

к.т.н., доцент

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
✉ e-mail: Oklim89@mail.ru

Дударев Владимир Иванович,

д.т.н., профессор,

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: vdudarev@mail.ru

Дударева Галина Николаевна,

к.х.н., доцент

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: gndudareva@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 13.05.2020.

Одобрена после рецензирования 28.06.2020.

Принята к публикации 28.02.2021.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Rybarchuk,

Cand. Sci. (Engineering),

Associate Professor,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
✉ e-mail: Oklim89@mail.ru

Vladimir I. Dudarev,

Dr. Sci. (Engineering), Professor

Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: vdudarev@mail.ru

Galina N. Dudareva,

Cand. Sci. (Chemistry)

Associate Professor,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: gndudareva@mail.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 13.05.2020.

Approved after reviewing 28.06.2020.

Accepted for publication 28.02.2021.