

# Гальваническое производство в России: оценочный подход, задачи повышения ресурсной и экологической эффективности

Е.Г. ВИНОКУРОВ<sup>1, 2, 3\*</sup>, д-р хим. наук, проф., Т.Ф. БУРУХИНА<sup>1</sup>, канд. пед. наук, доц., Т.В. ГУСЕВА<sup>4</sup>, д-р техн. наук, проф.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», Москва, 125047, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, 127368, Российская Федерация

<sup>3</sup>Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва, 125190, Российская Федерация

<sup>4</sup>Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», Москва, 115054, Российская Федерация

\*E-mail: vin-62@mail.ru

DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-7-2-6

Статья поступила в редакцию 05.02.2020

Принята после доработки 26.03.2020

Принята к публикации 01.04.2020

Выполнен анализ масштабов, внутренней структуры гальванического производства в России и определены факторы технологического отставания, проявляющегося, в том числе, в относительно более низкой ресурсной и экологической эффективности производственных процессов. Сформулированы научно-технологические принципы повышения эффективности с учетом экологических рисков.

**Ключевые слова:** металлические покрытия, обработка поверхности, ресурсоэффективность, электроосаждение.

## Введение

Одним из широко распространенных приложений современных электрохимических и химических технологий является гальванохимическое нанесение защитно-функциональных покрытий.

Согласно данным журнала *Plating and Surface Finishing* [1] в структуре производства

гальванических покрытий в США за 2002 г 16,8% приходится на цинкование, 22,7% — на никелирование, 18,6% — на меднение, 19,9% — на хромирование, 7,4% — на кадмирование, 14,6% — на оловянирование.

В России по данным [2, 3] на 1998 г. доля цинкования составляла 58,8%, никелирования — 10,0%, меднения — 8,4%, хромирова-

ния — 8,4%, кадмирования — 4,6%, оловянирования — 2,7%.

Ранжирование процессов в соответствии с количеством предлагаемых субподрядчиками услуг по нанесению покрытий в каждой стране Европейского союза (ЕС) позволило получить рейтинговый список [4], который дал в среднем следующее представление о номенклатуре покрытий: Ni > Zn > Cr > Cu > анодирование > Ag ~ Au ~ твердый Cr > химическое никелирование > фосфатирование > Pt и другие платиноиды >> Cd. В Южной Африке подобный ряд выглядит следующим образом: Zn ~ Ni > Cu > Cr [4].

В России, несмотря на то что гальваническое производство включено в перечень объектов I категории негативного воздействия на окружающую среду, нормируемых на основе принципов наилучших доступных технологий, технологические показатели ресурсной и экологической эффективности для такого производства не установлены [3].

Социально-экономическая и научная актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена необходимостью создания методики сбора и систематизации разнообразных данных о гальванических производствах. Это: мощность, показатели ресурсо- и металлоемкости; разработка методик снижения ресурсоемкости и минимизации рисков, управления рисками для окружающей среды, обусловленными трансформацией традиционных составов технологических растворов при обработке поверхности, подходы к созданию базы данных о составах растворов для электроосаждения металлических покрытий.

В настоящей работе предпринята попытка оценить масштабы и внутреннюю структуру гальванического производства в России, а также выявить основные триггеры технологического отставания в этой области от зарубежных стран и сформулировать рекомендации по повышению эффективности гальванического производства с учетом экологических факторов.

В статье проведен анализ масштабов, определены факторы их технологического и экологического отставания, сформулированы на-

учно-технологические основы повышения эффективности с учетом экологических рисков.

### Методология анализа

Методология оценки объемов нанесения гальванических покрытий допускает два варианта, что дает возможность проверить корректность полученных количественных показателей.

*Технологико-экономический анализ* (метод А) предполагает расчет по суммарному потреблению какого-либо металла, умноженному на долю его потребления при нанесении металлических покрытий в гальванике и деленному на известную долю покрытий этим металлом в общей номенклатуре гальванических металлических покрытий. Таким образом может быть вычислен общий объем всех металлических гальванических покрытий в мире или России.

*Анализ данных экспертов* (метод Б) опирается на эмпирические данные по отдельным регионам России. Опрос представителей предприятий различных областей России включал для конкретного предприятия сведения о толщинах различных видов покрытий, площади обрабатываемой поверхности, составах растворов, технологических режимах. Массу электроосажденных покрытий относили на одного жителя соответствующего населенного пункта или района в год. Полученные значения усредняли и затем пересчитывали на население России.

### Результаты и их обсуждение

В 2002 г. в Европе насчитывалось более 18300 установок обработки поверхности (именно такой термин используется при отнесении предприятий к различным категориям с точки зрения ресурсопотребления и негативного воздействия на окружающую среду).

Помимо распределения покрытий при обработке поверхности, важным аспектом является объем производства по нанесению покрытий и связанные с ним оборот цветных металлов и реактивов, и, соответственно, эмиссия этих соединений в окружающую среду, и оценка рисков. Используя информацию баз данных

*Eurostat* и *UK Office for National Statistics* (Национального статистического бюро Великобритании), можно оценить общий объем производства в денежном выражении в секторе обработки поверхности и нанесения покрытий: в ЕС этот показатель составляет 40 млрд евро [6], в Великобритании — 13,5 млрд фунтов стерлингов [7], в Японии — 12 млрд долларов США [8]. Такая оценка возможна благодаря наличию в данных *Eurostat* специального кода *SIC 2561 — Treatment and Coating of Metals*, отражающего консолидированную информацию по всему сектору нанесения покрытий и обработки поверхности металлов.

По имеющимся данным, основным отличием российского сегмента гальванохимического осаждения покрытий является децентрализованный характер этой производственной сферы. Нанесение покрытий реализуется в России в рамках предприятий, относящихся к разным ведомствам. На предприятиях имеются встроенные цеха (*captive shops*), между которыми нет налаженной информационной координации в отличие от зарубежных аналогов (США, Германия, Великобритания), где нанесение покрытий производят на специальных заводах (*job shops*), что способствует консолидации информации по всем аспектам нанесения широкого спектра покрытий. В 2002 г. в Европе доля *job shops* (от общего числа установок) составляла 55%.

В России не существует единой базы данных, которая содержала бы подобную информацию. Тем самым затрудняется обмен опытом и осложняется определение уровня, который мог бы считаться уровнем наилучших доступных технологий, и замедляется применение инновационных технологий по нанесению гальванических покрытий. В этом состоит принципиальное отличие от зарубежных стран, где производство гальванических покрытий централизовано в формате предприятий (заводов) по обработке поверхностей (*job shops*), а консолидированная информация по данной теме интегрирована в единую систему [3].

Эти принципиальные отличия и различная ведомственная принадлежность не дают возможности контролировать объемы произ-

водства по нанесению покрытий и связанные с ним оборот цветных металлов и реактивов, а также эмиссию этих соединений в окружающую среду и оценивать риски.

Как известно, объем производства определяет объем потребляемых ресурсов и эмиссию загрязнений, в связи с чем оценка количественных параметров производства гальванических покрытий и расхода материалов в мире и РФ представляет несомненный интерес.

В качестве показательного примера разберем подробнее ситуацию с нанесением никелевых покрытий, так как именно этот вид покрытий занимает лидирующие позиции в ассортименте гальванических покрытий.

Производство и потребление никеля в мире согласно данным *World Bureau of Metal Statistics* [9] неуклонно растет (табл. 1).

Как следует из данных табл. 1, мировое производство и потребление никеля в целом сопоставимы по масштабу. Первичное потребление никеля наблюдается в таких областях, как производство нержавеющей стали — 67,4%, никелевых сплавов — 13,3%, гальванических покрытий — 9,0%, литья — 2,9%, медных сплавов — 1,6% и др. — 5,0% [9, 10].

Основываясь на этих данных и структуре ассортимента гальванических покрытий по их видам [1, 2], мы можем приблизительно оценить суммарные объемы производства гальванических покрытий в мире и в России (тыс. т/год) за исключением производства драгоценных металлов.

Методология оценки допускает два варианта. По методу А общий объем всех металлических гальванических покрытий для России составляет 25 тыс. т/год, а общемировая оценка колеблется в диапазоне от 740 до 1700 тыс. т/год (табл. 2).

Метод Б опирается на эмпирические данные по отдельным регионам России. Опрос представителей предприятий Тульской

#### 1. Производство и потребление никеля в мире (тыс. т/год) \*

Год	2008	2010	2012	2015
Производство	1396	1433	1790	<b>1980</b>
Потребление	1278	1424	1750	<b>1890</b>
* Данные World Bureau of Metal Statistics				

**2. Оценка (метод А) объема производства гальванических покрытий в мире и в России (тыс. т/год) \***

Показатели и единицы измерения	Мир	РФ
Потребление никеля [9], тыс. т/год	1890	28
Доля потребления произведенного металлического никеля при нанесении металлических покрытий (в гальванике) [10], %	9	9
Металлический никель в виде гальванического покрытия, тыс. т/год	170	2,5
Доля никелевых покрытий в общей номенклатуре гальванических металлических покрытий, %	10—23	10
<b>Все металлические гальванические покрытия, тыс. т/год</b>	<b>740—1700</b>	<b>25</b>

\* Без драгоценных металлов

и Кемеровской областей показал, что отношение массы электроосажденных покрытий на одного жителя соответствующего населенного пункта или района в год изменяется от 0,06 до 0,56 кг/(чел. год) и в среднем составляет 0,3 кг/(чел. год). Пересчет на население РФ (~143,6 млн чел.) приводит к следующей оценочной величине: объем производства всех гальванических покрытий составляет 44 тыс. т/год.

Таким образом, получен оценочный диапазон общего объема производства гальванических покрытий в РФ в размере от 25 до 44 тыс. т/год.

Это позволяет нам произвести оценку площади обрабатываемой поверхности, объема используемых растворов и образующихся загрязняющих веществ в РФ (табл. 3).

Действительно, определив общий объем производства гальванических покрытий

(25—44 тыс. т/год) и зная их среднюю толщину (15 мкм) и плотность (8 т/м<sup>3</sup> для наиболее типичных покрытий — Cr, Ni, Cu, Zn), легко подсчитать совокупную площадь обрабатываемой покрытиями поверхности за год: 200—370 млн м<sup>2</sup>.

На основе анализа расчетных данных можно сформулировать некоторые рекомендации по совершенствованию технологии нанесения гальванических покрытий, в т. ч. с целью оптимизации расхода электроосаждаемых металлов и снижения экологических рисков, связанных с эмиссиями тяжелых металлов в сточные воды, атмосферу и т.п. [14].

**Выводы**

Как в Европейском союзе, так и в Российской Федерации гальванохимическое нанесение защитно-функциональных покрытий отнесено к категории производственных про-

**3. Оценка площади обрабатываемой поверхности, объема используемых растворов и загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду в РФ**

Показатели и единицы измерения	Количественная характеристика
Металлические гальванические покрытия, тыс. т/год	25—44
Средняя толщина гальванических покрытий, мкм	15
Плотность типичных (Cr, Ni, Cu, Zn) гальванических покрытий, т/м <sup>3</sup>	8
<b>Площадь обрабатываемой поверхности, млн м<sup>2</sup>/год</b>	<b>200—370</b>
Удельная загрузка технологической ванны, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	0,8
<b>Объем технологических растворов, млн м<sup>3</sup></b>	<b>250—460</b>
Средняя концентрация электроосаждаемых металлов в технологических растворах [11, 12], (моль/л) кг/м <sup>3</sup>	(0,9) 54
<b>Риски</b>	
<b>Масса тяжелых металлов в технологических растворах, млн т</b>	<b>14—25</b>
Удельный унос раствора поверхностью [13], м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,0002
<b>Экологические аспекты</b>	
<b>Масса тяжелых металлов, уносимых в сточные воды, тыс. т/год</b>	<b>2,2—4,0</b>

цессов, требующих особого внимания в связи с применением широкого спектра химических веществ (в том числе опасных) и потенциально значимым негативным воздействием на окружающую среду. В России ежегодно наносится 25—44 тыс. тонн металлических гальванических покрытий; при этом масса тяжелых металлов, уносимых со сточными водами, может достигать 4 тыс. тонн в год. Переход к технологическому нормированию должен стимулировать эколого-технологическую модернизацию отрасли, но для постановки четких целей в области повышения ресурсной и экологической эффективности необходимо установить технологические показатели наилучших доступных технологий. Эти показатели целесообразно устанавливать не только в форме требований к эмиссиям (сбросам тяжелых металлов со сточными водами), но и в форме диапазонов оптимальных значений технологических характеристик гальванохимических процессов. Оценка масштабов и внутренней структуры гальванического производства в России — необходимый первый шаг на пути научного обоснования целей и задач технологической модернизации отрасли в направлении повышения ресурсной и экологической эффективности производства.

#### Список литературы

1. Кудрявцев В.Н. Некоторые сведения о гальваническом производстве в США // Гальванотехника и обработка поверхности. 2003. Т. 11. № 4. С. 21.
2. Колесников В.А., Кокарев Г.А., Камынина Л.Л., Капустин Ю.И. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1998. 54 с.
3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 36—2017 «Обработка поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических или химических процессов».
4. Larson C. Global comparisons of metal finishing sectors: Part 2, some technology and operational variations // Transactions of the Institute of Metal Finishing. 2012. V. 90. No 5. P. 232—236. DOI: 10.1179/0020296712Z.00000000054.
5. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. 2006. URL: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/stm\\_bref\\_0806.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/stm_bref_0806.pdf) [Retrieved 04.03.2019].
6. Larson C. Comparisons of metal finishing sectors revisited: variations in some economic and structural factors // Transactions of the Institute of Metal Finishing. 2019. V. 97. No 3. P. 109—111. DOI: 10.1080/00202967.2019.1608711.
7. Larson C. Surface finishing industry — where is it all being done? // Transactions of the Institute of Metal Finishing. 2017. V. 95. No 5. P. 233—234. DOI: 10.1080/00202967.2017.1351642.
8. Larson C. Global comparisons of metal finishing sectors: Part 3, estimate of world output // Transactions of the Institute of Metal Finishing, 2012. V. 90. No 6. P. 285—287. DOI: 10.1179/0020296712Z.00000000068.
9. Мировой рынок никеля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.cmmarket.ru/markets/niworld.htm> (Дата обращения: 19.03.2020).
10. Мировой рынок никеля: добыча, производство и потребление. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.ereport.ru/articles/commod/nickel.htm> (Дата обращения: 19.03.2020).
11. Бурухина Т.Ф., Винокуров Е.Г., Напеденина Е.Ю. Анализ распределения и критерии ресурсоемкости электролитов по суммарной концентрации компонентов // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. Т. 27. № 1. С. 43—48.
12. Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Kolesnikov V.A., Fadina S.V. Concentration criterion for classifying resource-saving compositions of solutions for metal electroplating // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2012. T. 46. No 5. С. 486—491. DOI: 10.1134/S004057951205020X.
13. Фаина С.В., Бурухина Т.Ф., Винокуров Е.Г. Физико-химические свойства растворов и уменьшение их потерь при захвате поверхностью деталей // Гальванотехника и обработка поверхности. 2015. Т. 23. № 3. С. 47—52.
14. Гусева Т.В., Санжаровский А.Ю., Гревцов О.В. Поверхностная обработка металлов и пластмасс как область применения наилучших доступных технологий // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. Т. 27. № 1. С. 25—31.