

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.357.77/533.69.046

doi: 10.30987/2782-5957-2025-12-31-38

## УВЕЛИЧЕНИЕ ТОКОПРОВОДИМОСТИ КОНТАКТНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ ПУТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ШЛИФОВАНИЕМ

Денис Александрович Дербуш<sup>✉</sup>

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия  
denderbush@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0831-5557>

### Аннотация

Рассмотрен технологический процесс гальванического никелирования с использованием электрохимического шлифования и последующего повторного нанесения покрытия. Выполнен сравнительный анализ шероховатости покрытий на разъемных электрических контактных соединителях, произведенных заводом-изготовителем и тех, которые были обработаны с применением технологии электрохимического шлифования и повторного никелирования. Приведены трехмерные модели и профилограммы исследуемых образцов как производства завода-изготовителя, так и контактных электрических соединителей, обработанных с применением данной технологии. Показаны возникающие проблемы, при нанесении покрытий на завод-изготовитель, а также преимущества технологического процесса гальванического никелирования с помощью электролиза, применяя при этом электрохимическое шлифование поверхности, которое представляет собой обратный процесс гальванического осаждения металлов. Он включает частичное электрохимическое шлифование поверхности с последующим повторным нанесением никелирова-

ния, что способствует увеличению площади фактического контакта между электрическими соединителями, улучшению электропроводимости и повышению коэффициента трения в состоянии покоя, а также увеличивает ресурс работы неразъемных соединителей, подверженных вибрации, и разъемных соединителей в целом. Также проведен анализ полученных значений среднего арифметического отклонения профиля, максимального расстояния между линией выступов и линией впадин профиля, параметра асимметрии, среднего шага неровностей и среднего шага местных выступов профиля. Представленная поверхность по исследуемым параметрам шероховатости, покажет наименьшее количество трещин, глубоких царапин и вмятин на изделии. Это, в свою очередь, способствует повышению электрической проводимости, улучшению поверхностного соединения контактных электрических соединителей, снижению сопротивления при соединении контактов и выглаживанию микронеровностей.

**Ключевые слова:** трибология, гальваника, покрытие, соединитель, шлифование.

Ссылка для цитирования:

Дербуш Д.А. Увеличение токопроводимости контактного соединителя путем уменьшения высотных параметров шероховатости электрохимическим шлифованием / Д.А. Дербуш // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 12. – С. 31-38. doi: 10.30987/2782-5957-2025-12-31-38.

Original article

Open Access Article

## INCREASING THE CURRENT CARRYING CAPACITY OF THE CONTACT CONNECTOR BY REDUCING THE HEIGHT PARAMETERS OF ROUGHNESS USING ELECTROCHEMICAL GRINDING

Denis Aleksandrovich Derbush,

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia  
denderbush@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0831-5557>

## Abstract

The technological process of galvanic nickel plating using electrochemical grinding and subsequent re-coating is considered. A comparative analysis of the roughness of coatings on detachable electrical contact connectors manufactured at the enterprise and those treated using electrochemical grinding and re-nickel plating technology is performed. Three-dimensional models and profile diagrams of the studied samples of both the manufacturer's production and contact electrical connectors treated using this technology are presented. The problems that arise when applying coatings at the manufacturing plant are shown, as well as the advantages of the galvanic nickel plating using electrolysis, while applying electrochemical surface grinding, which is the reverse process of electroplating metals. It includes partial electrochemical surface grinding followed by re-nickel plating, which helps to increase the actual contact area between electrical connectors,

improve electrical conductivity and increase the coefficient of friction at rest, and also increases the service life of vibration-prone all-in-one connectors and detachable connectors in general. The analysis of the obtained values of the arithmetic mean deviation of the profile, the maximum distance between the line of protrusions and the line of profile depressions, the parameter of asymmetry, the average step of the irregularities and the average step of the local protrusions of the profile was also carried out. The presented surface, according to the studied roughness parameters shows the least number of cracks, deep scratches and dents on the product. This, in turn, helps to increase electrical conductivity, improve the surface connection of electrical contact connectors, reduce the resistance when connecting contacts and smooth out micro-dimensions.

**Keywords:** tribology, electroplating, coating, connector, grinding.

## Reference for citing:

*Derbush DA. Increasing the current carrying capacity of the contact connector by reducing the height parameters of roughness using electrochemical grinding. Transport Engineering. 2025;12:31-38. doi: 10.30987/2782-5957-2025-12-31-38.*

## Введение

Электрические соединители имеют важное значение для обеспечения надежности и эффективности электрических и электронных систем, используемых в таких областях, как автомобилестроение, авиация, телекоммуникации и бытовая электроника [1]. Разъемные электрические соединители позволяют оперативно подключать и отключать электрические цепи, что делает их незаменимыми в ситуациях, когда требуется частая замена или обслуживание оборудования [2]. Никелирование широко используется в качестве защитно-декоративного покрытия для компонентов, работающих в легких и средних условиях эксплуатации, и применяется в различных секторах, включая автомобильную промышленность, аэрокосмическую отрасль, электронику и производство контактных электрических соединений [3]. Современные технологии никелирования значительно продлевают срок службы электрических соединителей, работающих с низкими токами, благодаря нанесению защитного слоя, который обеспечивает защиту от неблагоприятных факторов окружающей среды [4]. Тем не менее, многие аспекты производства разъемных электрических соединителей остаются без должного внимания, такие как шероховатость поверхно-

сти, площадь контактного соединения и коэффициент трения покоя. Эти элементы, при эксплуатации в условиях вибрации, могут вызывать неисправности разъемных электрических соединителей и препятствовать достижению заявленного производителем срока службы [5]. Процесс гальванического никелирования осуществляется за счет осаждения никеля на основу с применением электролиза [6].

Основные проблемы, связанные с увеличением контактной площади разъемных электрических соединителей, является проведение зачистки или шлифования поверхностного слоя перед нанесением покрытия. Однако для небольших разъемных электрических соединителей возникают трудности из-за их компактных размеров, что делает шлифовку поверхности контакта невозможной [7]. Важно отметить, что при гальваническом нанесении покрытия нанесенный слой точно повторяет рельеф подложки, это приводит к тому, что фактическая площадь контакта между вилкой и розеткой значительно меньше номинальной [8]. Это, в свою очередь, вызывает увеличение сопротивления и снижение токопроводимости. В том числе и по этим причинам возникают проблемы при эксплуатации разъемных электрических со-

единителей следующего характера: при частом сочленении – расчленении вилки, возникает питтинг по причине механической деформации и воздействия агрессивной окружающей среды; наносимый поверхностный слой не способствует выглаживанию поверхности заготовки [9].

Цель работы заключается в апробации технологии электрохимического шлифования никелированного покрытия электрического соединителя способствующей выглаживанию никелированной поверхности и увеличению фактической площади контакта в соединении.

### Материалы, модели, эксперименты и методы исследований

Каждая операция включает три этапа: гальваническое нанесение покрытия, электрохимическое шлифование и повторное никелирование, которые выполняются в отдельных ваннах, каждая из которых имеет индивидуально рассчитанное соотношение объема, размеров никелевых анодов и мощности подаваемого электрического тока. Разъемные электрические соединители помещаются в специализированный барабан для гальванической обработки, где устанавливается катод, что га-

рантирует надежный контакт деталей во время вращения барабана.

Технологический процесс никелирования с применением электрохимического шлифования и повторного никелирования состоит из следующих операций (рис. 1).

Анализ топографии поверхности разъемного прямоугольного электрического соединителя был проведен на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ) «ФемтоСкан» после каждого этапа обработки разъемного электрического соединителя. Характеристики СЗМ приведены в табл. 1.

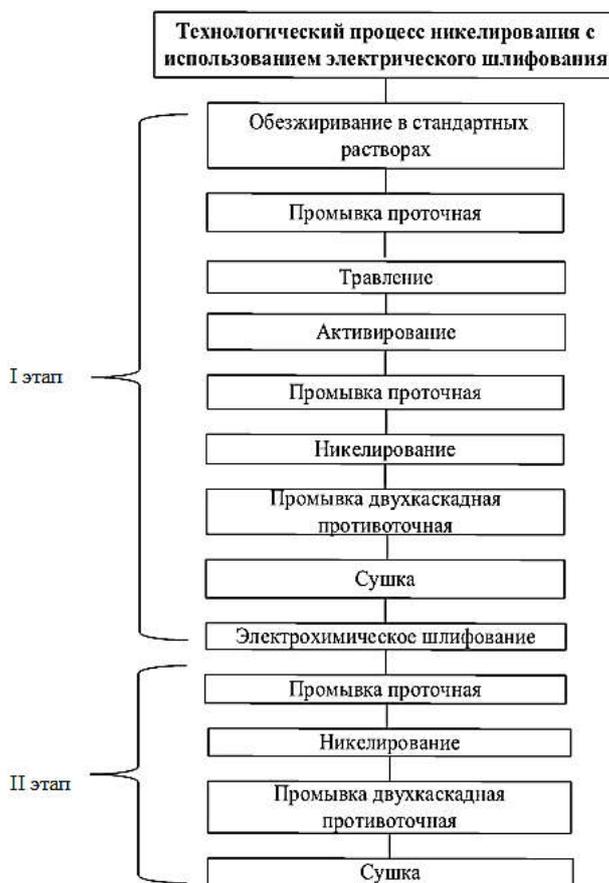


Рис. 1. Технология гальванического нанесения покрытия с применением электрохимического шлифования и повторным никелированием [10]  
 Fig. 1. Electroplating technology using electrochemical grinding and re-nickel plating

*Characteristics of FemtoScan*

Основные характеристики СЗМ «ФемтоСкан»	Значение
Точность измерений	0,001 нм
Характерное расстояние между зондом и поверхностью образца	0,1...10 нм
Разрешение съемки образца (размер кадра) в режиме резонансной атомно – силовой микроскопии (полуконтактный режим колебаний кантилевера АСМ);	0,4...9000 нм
Диапазон измерений линейных размеров в плоскости XY с датчиками обратной связи	не более 0,3 нм
Диапазон измерений по оси Z с датчиком обратной связи	не более 0,1 нм
Типичный температурный дрейф	менее 1 нм/с
Позиция образца	горизонтальная
Размер образца	диаметр – 15 мм
	высота – 5 мм
Область сканирования	10×10×1,5 мкм (основной сканер)
Скорость сканирования	до 30 Гц
Держатель образца	магнитный

**Результаты**

В качестве объекта исследования принят контакт разъемного электрического соединителя РПМ 8 вилка-розетка. В этом случае в лаборатории была успешно применена технология гальванического нанесения покрытия с применением электрохимического шлифования и повторного никелирования. Процесс единичного нанесения покрытия на контакт разъемного электрического соединителя осуществлялся поэтапно, что привело к следующим результатам. На рис. 2 приведены изображения поверхности покрытий разъемного электрического соединителя, полученного на СЗМ ФемтоСкан.

Поверхность после нанесения гальванического (рис. 2а) покрытия производства завода-изготовителя, очевидно имеет большее отклонение от «гладкости», чем поверхность соединителя после нанесения покрытия с применением технологии электрохимического шлифования (рис. 2б). Наименьшее отклонение от плоскостности имеет также поверхность розетки с применением повторного гальванического никелирования после электрохимического шлифования (рис. 2в).

Характерные профилограммы поверхностей, представленных на рис. 2, приведены на рис. 3. На профилограмме соединителя с завода-изготовителя видны

углубления и выступы с большим изменением шага по высоте, тогда как остальные профилограммы имеют меньшие значения параметров шероховатости. Результаты измерений параметров шероховатости поверхностей покрытий сведены в табл. 2. Причем, в таблице указаны средние значения параметров по пяти измерениям.

Анализ полученных значений шероховатости проведен по следующим параметрам: среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$ ; наибольшее расстояние между линией выступов и линией впадин профиля  $Rmax$ ; параметр асимметрии  $Rsk$ ; средний шаг неровностей  $Sm$ ; средний шаг местных выступов профиля  $S$ .

Значение параметра среднего арифметического отклонения  $Ra$  разъемного электрического соединителя – вилки, производства завода – изготовителя составило 96,04 нм. В результате повторного никелирования, проведенного после электрохимического шлифования, значение  $Ra$  равно 16,82 нм. В сравнении с электрическим соединителем производства завода-изготовителя этот показатель оказался в 6 раз ниже при одинаковой толщине изделий 2200...2700 нм, что свидетельствует о снижении количества поверхностных выступов, выравниванию поверхности, увеличению поверхностной контактной пло-

щади разъемного электрического соединителя. Значение параметра среднего арифметического отклонения  $Ra$  разъемного электрического соединителя – розетки по-

сле применения технологии нанесения покрытия с применением электрохимического шлифования и повторным нанесением покрытия составило 0,931 нм.

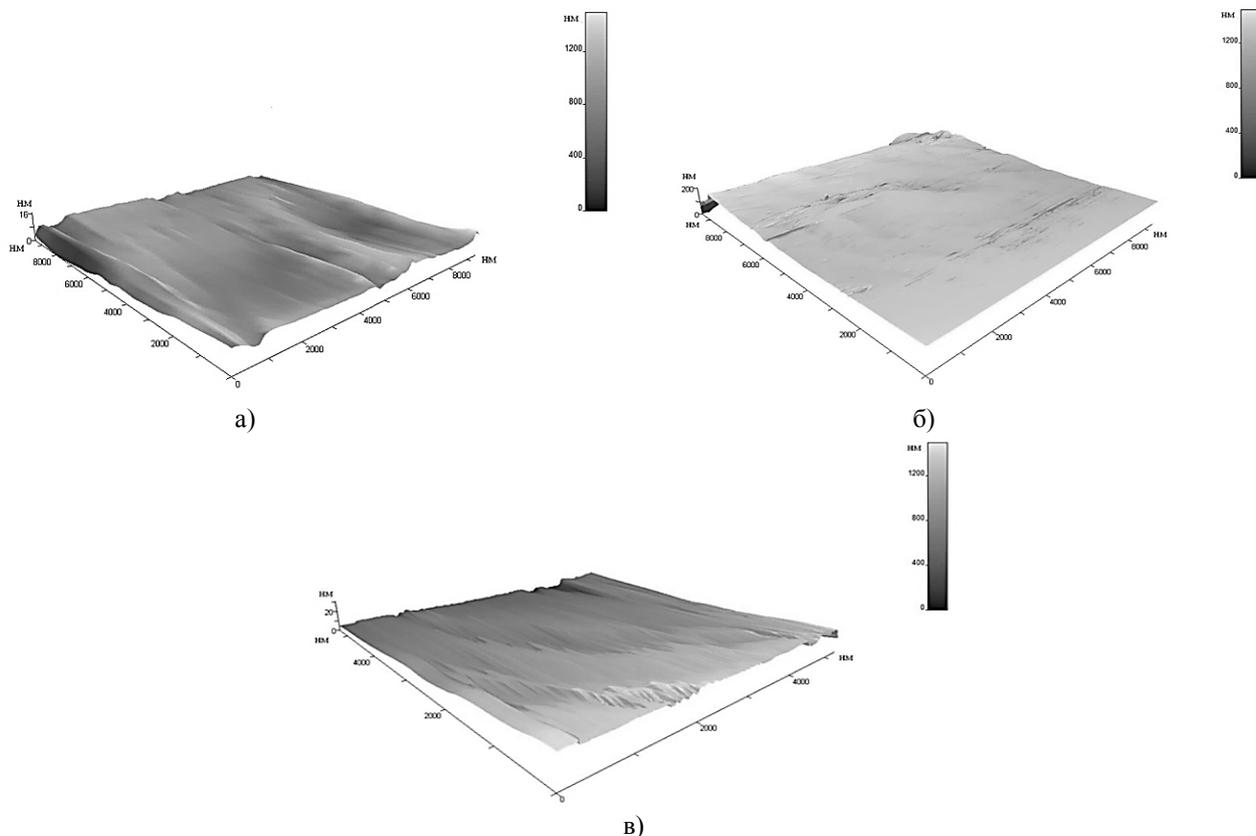


Рис. 2. Поверхность разъемного электрического соединителя:

- a* – производства завода – изготовителя;
- б* – с применением повторного гальванического никелирования после электрохимического шлифования;
- в* – поверхность розетки с применением повторного гальванического никелирования после электрохимического шлифования

*Fig. 2. Surface of the detachable electrical connector:*

- a* – production of the manufacturer; *б* – using repeated galvanic nickel plating after electrochemical grinding;
- в* – the surface of the socket using repeated galvanic nickel plating after electrochemical grinding

Значение параметра наибольшего расстояния между линией выступов и линией впадин профиля  $Rmax$  разъемного электрического соединителя производства завода-изготовителя составило 466,4 нм. При никелировании после электрохимического шлифования значение параметра  $Rmax = 8,125$  нм. Это свидетельствует об уменьшении высоты неровностей профиля, следовательно, поверхность разъемного электрического соединителя стала более гладкой в сравнении с заводским гальваническим нанесением. Параметр  $Rmax$  уменьшился при этом в 58 раз. Значение параметра наибольшего расстояния между

линией выступов и линией впадин профиля  $Rmax$  разъемного электрического соединителя – розетки после применения технологии нанесения покрытия с применением электрохимического шлифования и повторным нанесением покрытия равно 5,676 нм.

Значение параметра асимметрии  $Rsk$  разъемного электрического соединителя производства завода-изготовителя составило  $-0,2308$  нм. Это свидетельствует о том, что в образце разъемного электрического соединителя количество впадин преобладает выступам.

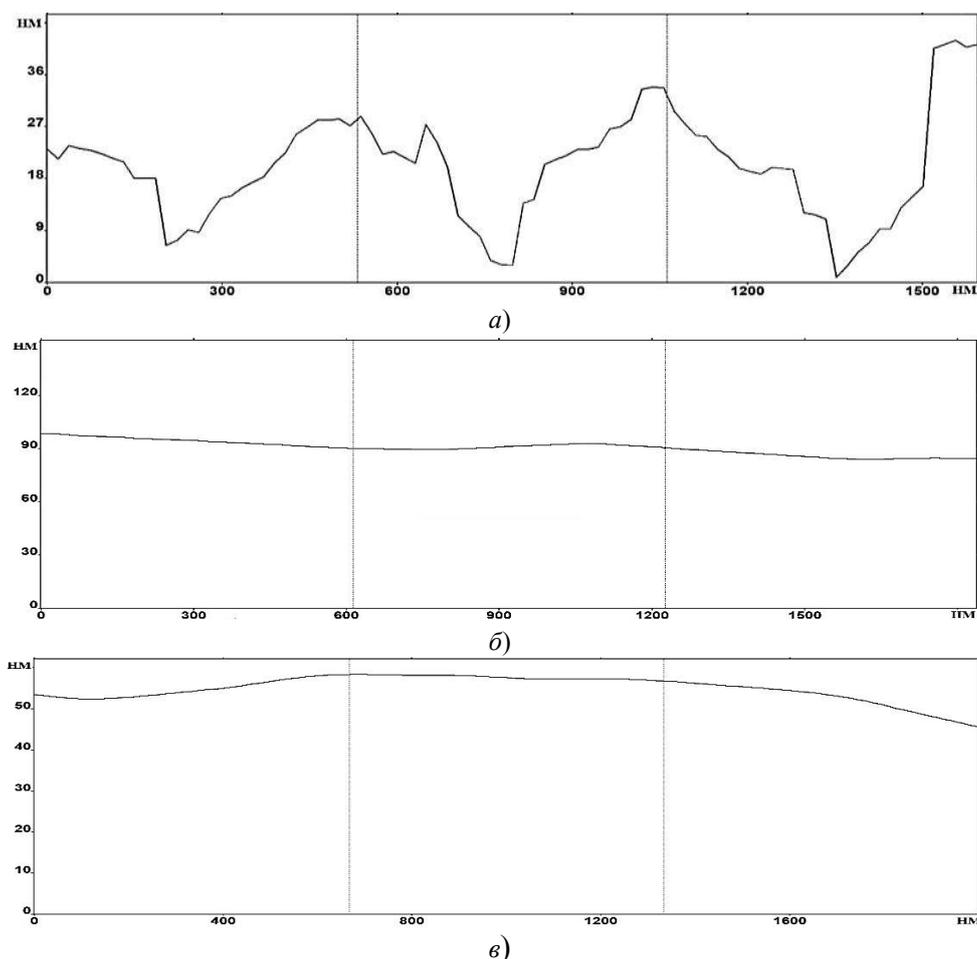


Рис. 3. Профилограммы шероховатости поверхности разъемного электрического соединителя: *а* – производства завода – изготовителя; *б* – с применением повторного гальванического никелирования после электрохимического шлифования; *в* – поверхность розетки с применением повторного гальванического никелирования после электрохимического шлифования

*Fig. 3. Surface roughness profiles of a detachable electrical connector: a – production of the manufacturer; б – using repeated galvanic nickel plating after electrochemical grinding; в – the surface of the socket using repeated galvanic nickel plating after electrochemical grinding*

Таблица 2

Параметры шероховатости соединителя

Table 2

*Connector Roughness Parameters*

Обозначение, размерность	Разъемный электрический соединитель	Подложка для гальванического нанесения покрытия Sn	Никелирование после электрохимического шлифования Sn – Ni	Никелирование после электрохимического шлифования Sn – Ni (Розетка)
$Ra$ , нм	96,04	41	16,82	0,931
$Rmax$ , нм	466,4	354,1	8,125	5,676
$Rsk$	-0,2308	-1,052	2,544	0,199
$Sm$ , нм	440,9	1813	1654	931,3
$S$ , нм	294,9	729,7	406,4	437,9

После проведения гальванического никелирования основы образца по технологии нанесения покрытия с применением

электрохимического шлифования значение параметра  $Rsk$  увеличилось до 2,544 нм, что указывает на преобладание пиков к

впадинам на поверхности разъемного электрического соединителя. Увеличение числа выступов в соотношении впадинам свидетельствует о увеличении контактной площади поверхности образца разъемного электрического соединителя. Значение параметра асимметрии  $Rsk$  разъемного электрического соединителя – розетки после применения технологии нанесения покрытия с применением электрохимического шлифования и повторным нанесением покрытия равно 0,199 нм.

Значение среднего шага неровностей  $Sm$  разъемного электрического соединителя производства завода – изготовителя со-

### Обсуждение/Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что высотные параметры значительно уменьшились, в то время как шаговые параметры существенно возросли. Таким образом, проведение последовательных технологических операций никелирование – шлифование – повторное никелирование приводит к выглаживанию микронеровностей, а следовательно, приведет к увеличению фактиче-

ставило 440,9 нм, при никелировании проведенного после электрохимического шлифования значение  $Sm$  составило 931,3 нм. При сравнении значений параметра  $Sm$  с значением, полученным при измерении соединителя с завода-изготовителя установлено, что  $Sm$  увеличился в 2 раза, что привело к «выглаживанию» поверхности. Значение среднего шага неровностей  $Sm$  разъемного электрического соединителя – розетки после применения технологии нанесения покрытия с применением электрохимического шлифования и повторным нанесением покрытия составило 437,9 нм.

ской площади контакта в соединении, большей надежности соединения при вибрациях и более стабильной токопроводимости. Также применение последовательности таких технологических операций не приведет к потере цветных металлов, так как при электрохимическом шлифровании осуществляется сбор снятого с поверхности никеля.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дербуш Д. А., Шалыгин М. Г., Евтух Е. С. Обзор технологий улучшения эксплуатационных показателей контактных электрических соединителей // Транспортное машиностроение. 2024. № 10 (34). С. 4-11. DOI 10.30987/2782-5957-2024-10-4-11. EDN FBNTTI.
2. Алафьева М. А., Сосновская Н. Г., Корчевин Н. А. Реагенты – блескообразователи для получения блестящих никелевых покрытий // Современные технологии и научно – технический прогресс. 2022. № 9. С. 3-4. EDN ITWIXX.
3. Титова И. В., Панин В. И., Котенко А. А., Мочалов Д. Ю. Характеристика основных видов покрытия // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно – практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 110-летию ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Воронеж, 10 – 11 ноября 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2022. С. 391. 396. EDN RTCWVN.
4. Звягинцева А. В., Кравцова Ю. Г. Влияние режимов электролиза на микротвердость никелевых покрытий, полученных в сульфатных электролитах никелирования // Современная электротехнология в промышленности центра России: Труды VII региональной научно – технической конференции, Тула, 02 июня 2004 года. Тула: Тульский государственный университет, 2004. С. 50-55. EDN MAERJJ.
5. Фролов А. В., Киреев С. Ю. Реверсивный гальваностатический режим осаждения никелевых покрытий из ацетатно-хлоридного электролита // Успехи в химии и химической технологии. 2021. Т. 35, № 5(240). С. 57-59. EDN RNKPWA.
6. Елинек Т. В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2017 – 2018 годы // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. Т. 27, № 3. С. 4- 14. DOI 10.47188/0869 –5326\_2019\_27\_3\_4. EDN IQKYXM.
7. Таранец Р. В., Рогожин В. В., Девяткина Т. И. Анализ современных технологий химического нанесения многокомпонентных никелевых покрытий // Технология металлов. 2024. № 6. С. 27-36. DOI 10.31044/1684-2499-2024-0-6-27-36. EDN DCHYHO.
8. Рыбина А. А., Чеботарев П. А., Осетров А. Ю., Зарапина И. В. Некоторые вопросы нанесения защитных никелевых покрытий // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии : Материалы конференции, Тамбов,

27-29 октября 2021 года. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2021. С. 226-229. EDN QAVYFK.

9. Дербуш Д. А., Шалыгин М. Г. Методика нанесения гальванических покрытий электрических контактов с использованием электрического шлифования поверхности // Трибология – машиностроению : Труды XV Международной научно – технической конференции, Москва, 12–13 ноября 2024 года. – Москва: Институт

машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2024. С. 69-71. EDN FFWGCF.

10. Суслов А. Г., Дербуш Д. А., Шалыгин М. Г. Электрохимическое шлифование гальванизованных электрических соединителей для увеличения коэффициента трения покоя в соединении // Научные технологии в машиностроении. 2025. № 4 (166). С. 40-48. DOI 10.30987/2223-4608-2025-4-40-48. EDN SBVEBV.

## REFERENCES

1. Derbush DA, Shalygin MG, Yevtukh ES. Overview of technologies to improve performance criteria of contact electric connectors. *Transport Engineering*. 2024;10:4-11. doi: 10.30987/2782-5957-2024-10-4-11.
2. Alafieva MA, Sosnovskaya NG, Korchevin NA. Gloss-forming reagents for producing shiny nickel coatings. *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress*. 2022;9:3-4.
3. Titova IV, Panin VI, Kotenko AA, Mochalov DYU. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 110th Anniversary of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, November 10-11, 2022: Characteristics of the Main Types of Coating; Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; 2022.
4. Zvyagintseva NV, Kravtsova YuG. Influence of electrolysis modes on the microhardness of nickel coatings obtained in sulfamate electrolytes of nickel plating. Proceedings of the VII Regional Scientific and Technical Conference, June 02, 2004: Modern Electrical Technology in the Industry of the Center of Russia; Tula: Tula State University; 2004.
5. Frolov AV, Kireev SYu. Reversible galvanostatic mode of deposition of nickel coatings from acetate-chloride electrolyte. *Uspekhi v Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2021;35(5(240)):57-59.
6. Elinek TV. Successes of electroplating. Review of the world's specialized literature for 2017-2018. *Electroplating and Surface Treatment*. 2019;27(3):4-14. DOI 10.47188/0869-5326\_2019\_27\_3\_4.
7. Taranets RV, Rogozhin VV, Devyatkina TI. Analysis of modern technologies of chemical deposition of multicomponent nickel coatings. *Technologiya Metall*. 2024;6:27-36. DOI 10.31044/1684-2499-2024-0-6-27-36.
8. Rybina AA, Chebotarev PA, Osetrov AYU, Zarapina IV. Some issues of applying protective nickel coatings. Conference Proceedings, October 27-29, 202: Topical Issues of Electrochemistry, Ecology and Corrosion Protection; Tambov: IP Chesnokova AV; 2021.
9. Derbush DA, Shalygin MG. Method of electroplating electrical contacts using electric surface grinding. Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference, November 12-13, 2024: Tribology to Mechanical Engineering; Moscow: Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences; 2024.
10. Suslov AG, Derbush DA, Shalygin MG. Electrochemical grinding of galvanized electrical connectors for the raise of static coefficient in the connection. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2025;4(166):40-48. DOI 10.30987/2223-4608-2025-4-40-48.

## Информация об авторе:

**Дербуш Денис Александрович** – инженер-испытатель, аспирант кафедры «Турбиностроение и трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, тел. 8-917-173-13-50.

**Derbush Denis Aleksandrovich** – Test Engineer, Postgraduate Student Turbine Engineering and Pipeline Transport Systems Department at Bryansk State Technical University; phone: 8-917-173-13-50.

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 15.10.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; принята к публикации 27.11.2025. Рецензент – Сьянов С.Ю., кандидат технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, заместитель главного редактора журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 15.10.2025; approved after review on 10.11.2025; accepted for publication on 27.11.2025. The reviewer is Syanov S.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, Deputy Editor-in-Chief of the journal *Transport Engineering*.**