

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-1-8-20>



### Исследование газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков

Е.В. Агеева<sup>1✉</sup>, О.В. Кругляков<sup>1</sup>, В.И. Серебровский<sup>2</sup>, А.П. Башкирев<sup>2</sup>,  
А.И. Баринов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

<sup>2</sup> Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова  
ул. К. Маркса, д. 70, г. Курск 305021, Российская Федерация

✉ e-mail: [ageeva-ev@yandex.ru](mailto:ageeva-ev@yandex.ru)

#### Резюме

**Цель.** Изучение состава, структуры, адгезионной прочности и коррозионной стойкости газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков.

**Методы.** Объектом для нанесения газодинамических покрытий являлись алюминиевые пятаки диаметром 40 мм и толщиной 5 мм. Электроэрозионные алюминиевые порошковые материалы получали из отходов электротехнической проволоки на оборудовании, разработанном и запатентованном сотрудниками научно-образовательного центра Юго-Западного государственного университета. Газодинамические покрытия наносили на установке ДИМЕТ-405. Для достижения поставленной в настоящей работе цели решались соответствующие задачи с использованием современного исследовательского оборудования.

**Результаты.** На основании экспериментальных исследований, направленных на изучение состава, структуры и коррозионных свойств газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков, установлено следующее: покрытие сформировано равномерно, без трещин и при отсутствии несплошностей; элементный состав газодинамического покрытия включает в себя следующие основные элементы: Al (64,5%), Si (17,6%); C (10,8%); O (6,3%); Fe (0,5%); Mn (0,3%); фазовый состав газодинамического покрытия включает в себя следующие основные фазы: Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al(OH)<sub>3</sub>; твердость газодинамического покрытия составляет порядка 105,4 НВ; коэффициент трения покрытий на пути трения 500 м составляет порядка 0,35; экспериментально установлены более высокие показатели адгезионной прочности и коррозионной стойкости газодинамических покрытий по сравнению с показателями подложки.

**Заключение.** Высокие показатели экономической эффективности разработанной технологии восстановления и упрочнения газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков связаны с ресурсосбережением и импортозамещением.

**Ключевые слова:** газодинамические покрытия; электроэрозионный алюминиевый порошок; состав; структура; свойства.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Исследование газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков / Е.В. Агеева, О.В. Кругляков, В.И. Серебровский, А.П. Башкирев, А.И. Баринов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 15, № 2. С. 8–27. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-2-8-20>.

Поступила в редакцию 29.04.2025

Подписана в печать 29.05.2025

Опубликована 30.06.2025

## Investigation of gas dynamic coatings based on electroerosive Aluminum powders

Ekaterina V. Ageeva<sup>1✉</sup>, Oleg V. Kruglyakov<sup>1</sup>, Vladimir I. Serebrovskiy<sup>2</sup>,  
Anatoly P. Bashkirev<sup>2</sup>, Alexey I. Barinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

<sup>2</sup> Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov  
70 K. Marx Str., Kursk 305021, Russian Federation

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

### Abstract

**Purpose.** Study of the composition, structure, adhesive strength and corrosion resistance of gas-dynamic coatings based on electroerosion Aluminum powders.

**Methods.** The object for applying gas dynamic coatings were Aluminum nickels with a diameter of 40 mm and a thickness of 5 mm. Electroerosion Aluminum powder materials were obtained from waste electrical wire on equipment developed and patented by employees of the Southwest State University Scientific and Educational Center. Gas-dynamic coatings were applied on the DIMET-405 installation. To achieve the goal set in this paper, the corresponding tasks were solved using modern research equipment.

**Results.** Based on experimental studies aimed at studying the composition, structure and corrosion properties of gas dynamic coatings based on electroerosive Aluminum powders, the following has been established: the coating is formed uniformly, without cracks and in the absence of discontinuities; the elemental composition of the gas dynamic coating includes the following basic elements: Al (64.5%), Si (17.6%); C (10.8%); O (6.3%), Fe (0.5%); Mn (0.3%); the phase composition of the gas dynamic coating includes the following main phases: Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al(OH)<sub>3</sub>; The hardness of the gas-dynamic coating is on the order of 105.4 NV; the coefficient of friction of the coatings on the 500 m friction path is on the order of 0.35; higher indicators of adhesive strength and corrosion resistance of gas-dynamic coatings have been experimentally established compared with those of the substrate.

**Conclusion.** High economic efficiency indicators of the developed technology for the restoration and hardening of gas-dynamic coatings based on electroerosive Aluminum powders are associated with resource conservation and import substitution.

**Keywords:** gas dynamic coatings; electroerosive Aluminum powder; composition; structure; properties.

**Conflict of interest:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Ageeva E.V., Kruglyakov O.V., Serebrovskiy V.I., Bashkirev A.P., Barinov A.I. Investigation of gas dynamic coatings based on electroerosive Aluminum powders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2025;15(2):8-27. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-2-8-27>.

Received 29.04.2025

Accepted 29.05.2025

Published 30.06.2025

\*\*\*

## Введение

В настоящее время в области сельхозмашиностроения ведутся разработки, направленные на повышение качества, надежности и долговечности деталей, узлов и механизмов [1]. К числу основных факторов, влияющих на их ресурс, относятся износ и коррозия. Основным направлением увеличения износо- и коррозионной стойкости деталей является применение малоэнергозатратных и высокоэффективных методов упрочнения поверхностного слоя деталей и использование при этом специальных материалов [2], обеспечивающих получение покрытия, с заданными свойствами [3].

Одним из малоэнергозатратных и высокоэффективных методов упрочнения поверхностного слоя деталей, работающих в условиях изнашивания и коррозии, является газодинамическое напыление (ГДН) [4]. При нанесении газодинамического покрытия (ГДП) частицы порошка ударяются с высокой скоростью о подложку и закрепляются на ней [5]. Этим методом можно наносить покрытия толщиной до 10 мм и варьировать их составом, структурой и свойствами [6].

Метод ГДН считается малоэнергозатратным и высокоэффективным, поскольку: не требуется защитный газ; не зависит от температуры воздуха; не зависит от влажности воздуха [7]; подложка не испытывает значительного температурного воздействия [8]; процесс отличается высокой экологичностью (отсутствуют сточные воды, вредные выбросы) [10]; не требуется дополнительная подготовка подложки перед нанесением покрытия [11]; имеется возможность нанесения покрытия на ограниченный по размерам участок;

возможность нанесения многокомпонентных покрытий [12].

Одной из основных проблем применения ГДН при восстановлении и упрочнении изношенных и подверженных коррозии деталей машин является высокая стоимость порошкового материала [13].

Для решения указанной проблемы предлагаются к использованию порошковые материалы, полученные из металлоотходов электроэрозионным диспергированием (ЭЭД) [14].

Практическому применению ГДН электроэрозионными порошками при изготовлении и восстановлении деталей сельхозмашин препятствует отсутствие информации об их составе, структуре и свойствах [15]. Для этого требуется проведение комплекса металлографических исследований ГДП.

*Целью* исследования является изучение газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков.

## Материалы и методы

Объектом для нанесения ГДП являлись алюминиевые пятаки диаметром 40 мм и толщиной 5 мм.

Электроэрозионные порошковые материалы получали из отходов электротехнической проволоки на оборудовании, разработанном и запатентованном сотрудниками научно-образовательного центра «Порошковая металлургия и функциональные покрытия» ЮЗГУ [16]. ГДП наносили на установке ДИМЕТ-405.

Для достижения поставленной в настоящей работе цели решались соответствующие задачи с использованием оборудования, представленного на рисунке 1.

## Оборудование для исследования свойств ГДП

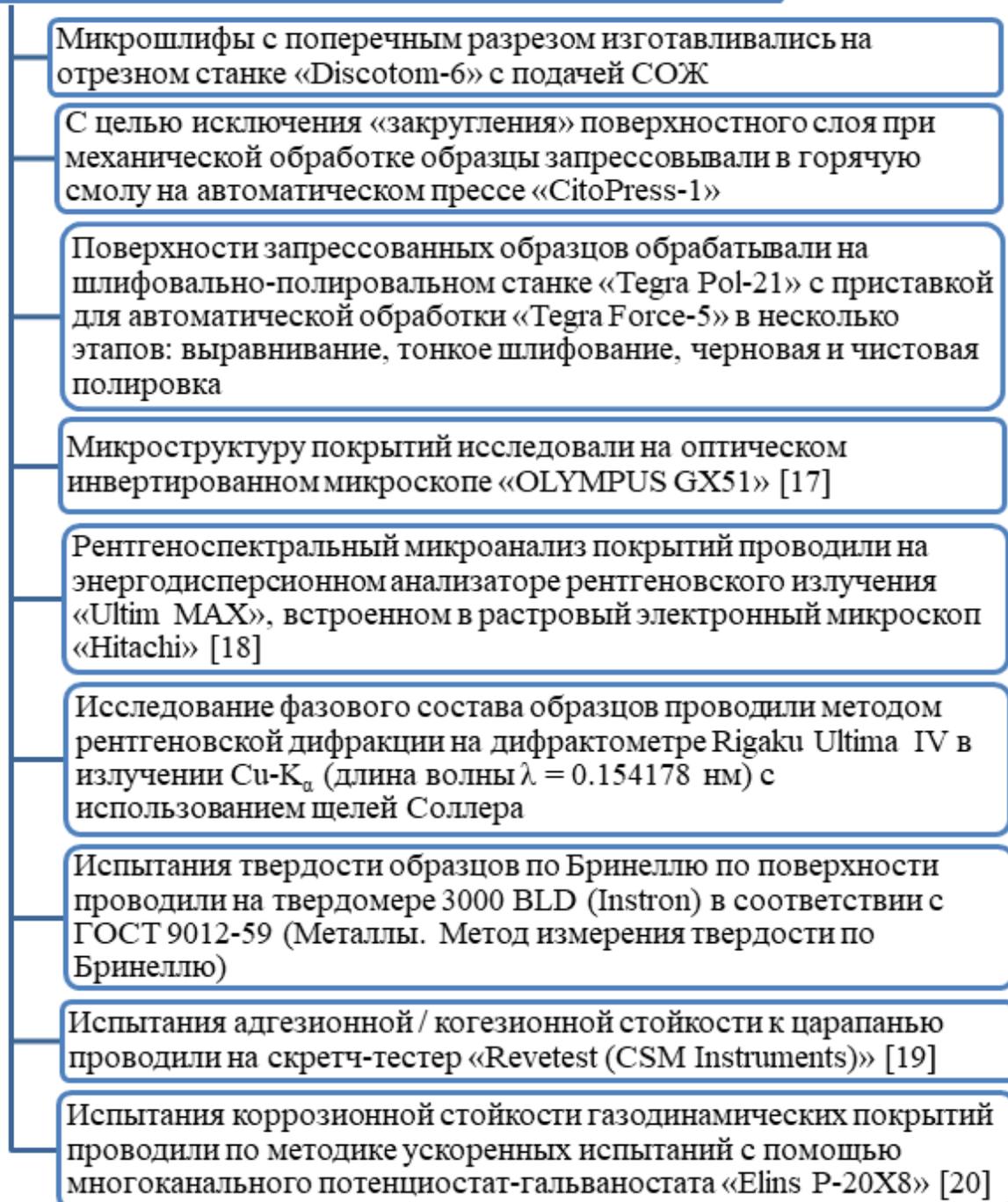


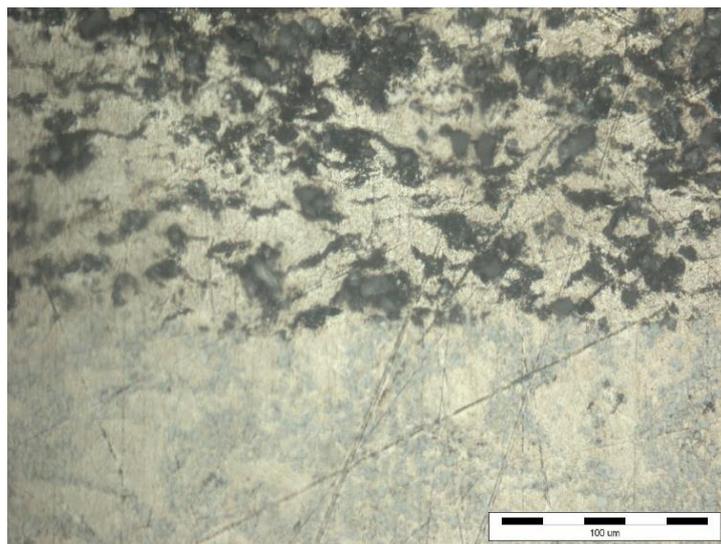
Рис. 1. Оборудование для исследования свойств ГДП

Fig. 1. Equipment for studying the properties of GDP

### Результаты и их обсуждение

Микроструктура образца с газодинамическим покрытием, полученным с ис-

пользованием алюминиевого электроэрозионного порошка, представлена на рисунке 2.

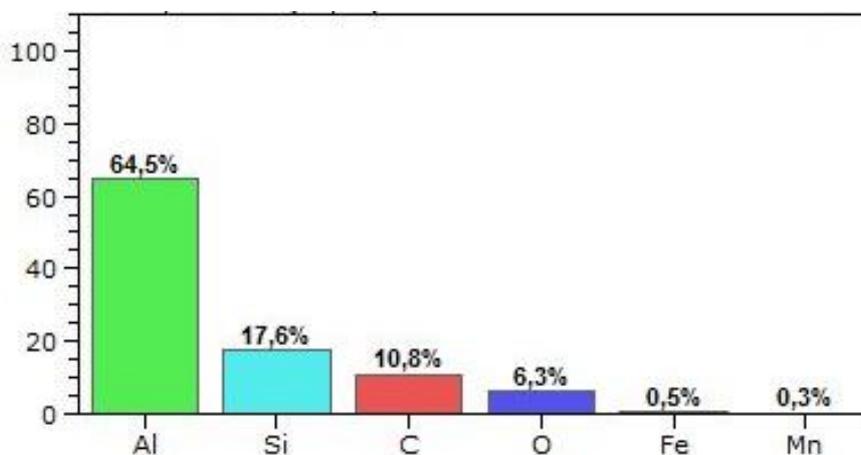


**Рис. 2.** Микроструктура образца с покрытием

**Fig. 2.** Microstructure of the coated sample

Из рисунка 2 видно, что ГДП на основе электроэрозионного порошка сформировано равномерно, без трещин и при отсутствии несплошностей.

Результаты РСМА образца с газодинамическим покрытием, полученным с использованием алюминиевого электроэрозионного порошка, представлены на рисунке 3.



**Рис. 3.** Гистограмма распределения элементов в покрытии

**Fig. 3.** Histogram of the distribution of elements in the coating

Из рисунка 3 видно, что элементный состав газодинамического покрытия включает в себя следующие основные элементы: Al (64,5%); Si (17,6%); C (10,8%); O (6,3%), Fe (0,5%); Mn (0,3%).

Фазовый состав ГДП представлен на рисунке 4.

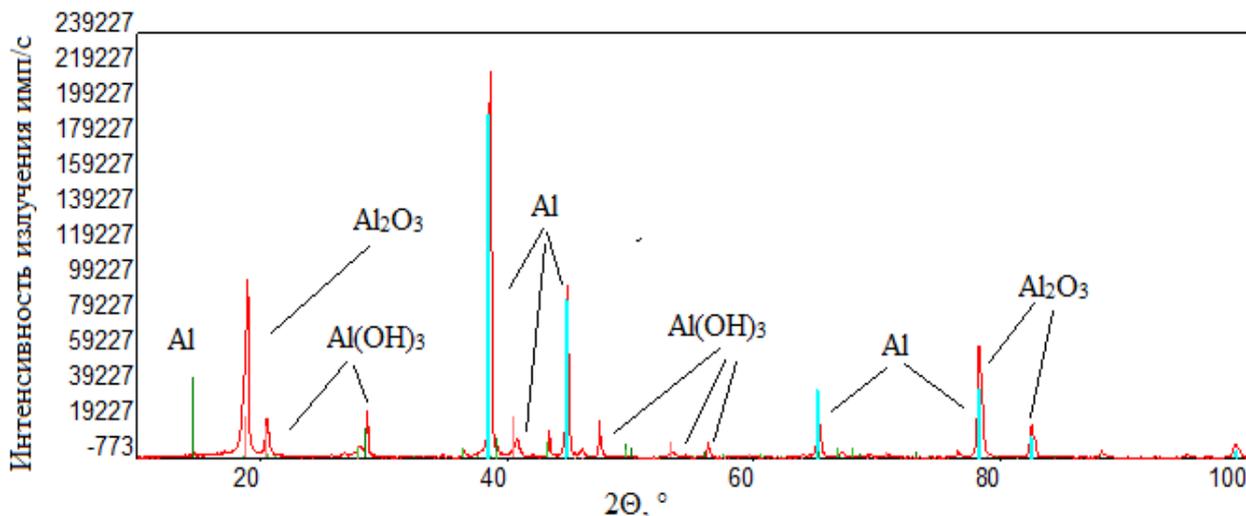


Рис. 4. Фазовый состав покрытия

Fig. 4. Phase composition of the coating

Экспериментально установлено, что фазовый состав газодинамического покрытия включает в себя следующие основные фазы: Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al(OH)<sub>3</sub>.

Результаты исследования твердости образцов по Бринеллю представлены в таблице 1.

Таблица 1. Твердость образцов по Бринеллю

Table 1. Brinell hardness of samples

Испытуемый образец / The test sample	Твёрдость, НВ / Hardness, НВ
Подложка	90,2
ГДП	105,4

Из таблицы 1 видно, что твердость ГДП выше твердости подложки на 16%.

Результаты склерометрических испытаний и коэффициента трения ГДП представлены на рисунке 5.

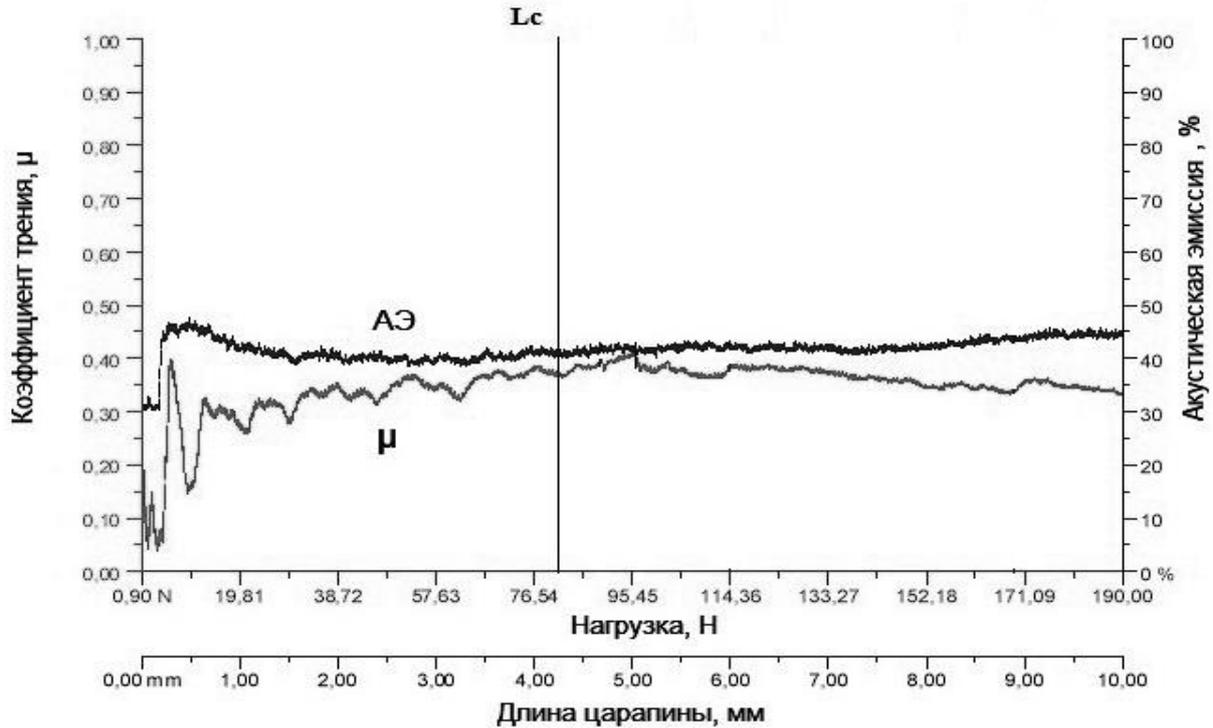
Из рисунка 5 видно, что коэффициент трения ГДП ( $\mu$ ) ввиду его мелкодисперсной структуры имеет достаточно низкое значение порядка 0,35. В начале испытаний поверхность ГДП имеет относительно высокую шероховатость, с чем и связан первоначальный всплеск значений коэффициента трения.

Кроме того, на рисунке 5 приведены результаты склерометрических (адгезионных) испытаний ГДП. Экспериментально

на скретч-тестере "Revetest" установлено, что газодинамическое покрытие начинает разрушаться с образованием царапины на ее поверхности при значительной нагрузке ( $L_c$ ) равной 80,2 Н и продолжает разрушаться до нагрузки 190,0 Н.

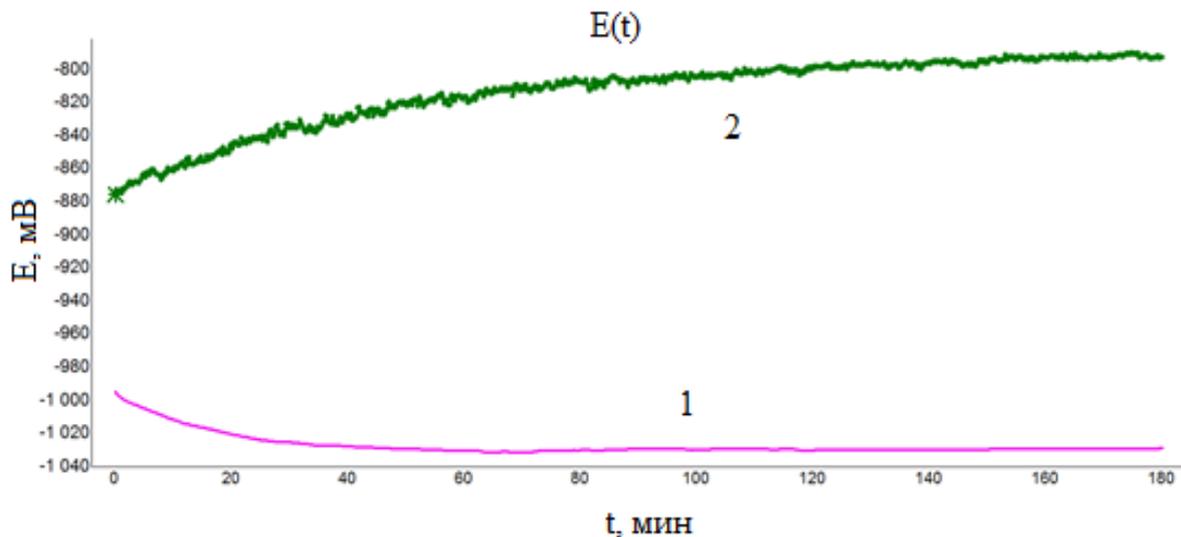
Результаты исследований коррозионной стойкости ГДП и подложки представлены результатами исследований потенциала разомкнутой цепи и результаты измерений поляризационных кривых.

Результаты измерений потенциала разомкнутой цепи материалов  $E_{pc}$  для ГДП и подложки приведены на рисунке 6.



**Рис. 5.** Результаты склерометрических испытаний и коэффициента трения ГДП

**Fig. 5.** The results of sclerometric tests and the coefficient of friction GDP



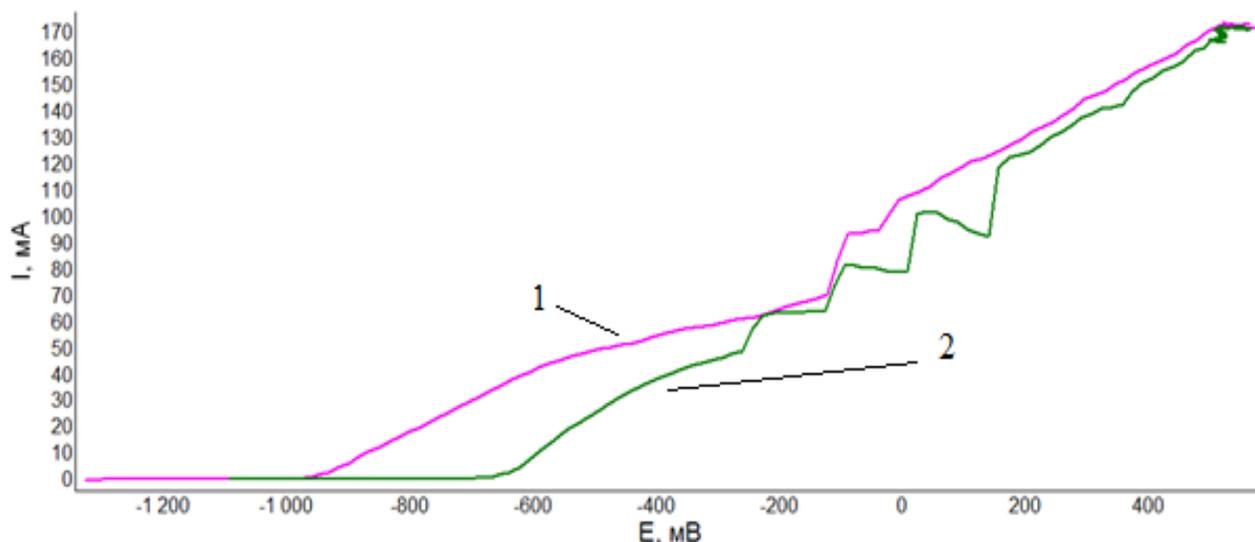
**Рис. 6.** Потенциал  $E_{pc}$ : 1 – подложка; 2 – ГДП

**Fig. 6.** The potential of the  $E_{pc}$ : 1 – substrate; 2 – GDP

Из рисунка 6 видно, что при погружении образца с ГДП на основе электроэрозионных порошков на 180 мин в 3,5%-ный NaCl потенциал разомкнутой цепи ( $E_{pc}$ ) у подложки снижается, а у ГДП повышается.

Это свидетельствует о высокой коррозионной стойкости ГДП.

Результаты измерений поляризационных кривых ГДП и подложки представлены на рисунке 7.

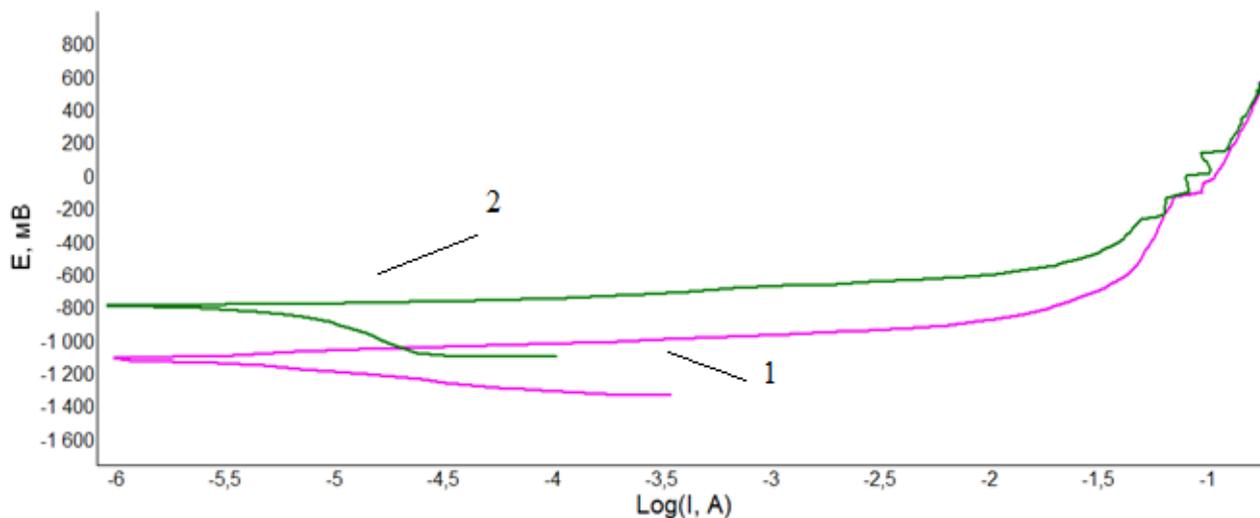


**Рис. 7.** Поляризационные кривые: 1 – подложка; 2 – ГДП

**Fig. 7.** Polarization curves: 1 – the substrate; 2 – the GDP

Из рисунка 7 видно, что в процессе испытания в среде 3,5%-го NaCl у ГДП и подложки с течением времени образуются очаги коррозии, причем в большей степени у подложки.

Для обобщения результатов коррозионных испытаний ГДП и подложки построены графики по методу Тафеля, представленные на рисунке 8.



**Рис. 8.** Поляризационные кривые Тафеля: 1 – подложка; 2 – ГДП

**Fig. 8.** Tafel polarization curves: 1 – the substrate; 2 – the GDP

В результате построения графиков (рис. 8) по методу Тафеля установлено, что наибольшую коррозионную стойкость показывает ГДП по сравнению с подложкой.

Сводные результаты исследования коррозионной стойкости исследуемых образцов приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Результаты исследования коррозионной стойкости образцов**Table 2.** The results of the study of corrosion resistance of samples

Образец	$E_{p0}$ , мВ	$E_{p3}$ , мВ	$E_k$ , мВ	$I_k$ , мА	$E_{kT}$ , мВ	$I_{kT}$ , мА
Подложка	-1034,6	-1316,4	42,4	112,44	-1087,8	0,0025688
ГДП	-787,2	-1067,5	268,5	136,51	-771,2	0,0064576

*Примечание.*  $E_{p0}$  – потенциал разомкнутой цепи в начале испытания;  $E_{p3}$  – потенциал разомкнутой цепи через три часа после погружения образца в рабочий раствор;  $E_k$  – потенциал коррозии;  $I_k$  – ток коррозии;  $E_{kT}$  – потенциал коррозии, полученный экстраполяцией Тафеля;  $I_{kT}$  – ток коррозии, полученный экстраполяцией Тафеля.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования, направленные на изучение состава, структуры и коррозионных свойств, показали более высокие характеристики ГДП на основе электроэрозионных порошков по сравнению с подложкой, на которую они были нанесены, что обеспечит им больший срок эксплуатации (ресурс).

### Выводы

1. На основании экспериментальных исследований, направленных на изучение состава, структуры и коррозионных свойств газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков, установлено следующее:

- покрытие сформировано равномерно, без трещин и при отсутствии несплошностей;
- элементный состав газодинамического покрытия включает в себя следующие основные элементы: Al (64,5%), Si

(17,6 %); С (10,8 %); О (6,3 %), Fe (0,5 %); Mn (0,3 %);

– фазовый состав газодинамического покрытия включает в себя следующие основные фазы: Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al(OH)<sub>3</sub>;

– твердость ГДП составляет порядка 105,4 НВ;

– коэффициент трения покрытий на пути трения 500 м составляет порядка 0,35;

– экспериментально установлены более высокие показатели адгезионной прочности и коррозионной стойкости газодинамических покрытий по сравнению с показателями подложки.

2. Высокие показатели экономической эффективности разработанной технологии восстановления и упрочнения газодинамических покрытий на основе электроэрозионных алюминиевых порошков связаны с ресурсосбережением и импортозамещением.

### Список литературы

1. Леонтьев Д.В. Текущее состояние, проблемы и перспективы развития российского машиностроения // Экономика и управление в машиностроении. 2023. № 6. С. 58-61. EDN BOQLUZ.

2. Артеменко С.А., Орлик Г.В., Орлик А.Г. Применение износостойкого шнурового материала по восстановлению изношенных зубьев карьерного экскаватора // Технология машиностроения. 2022. № 6. С. 16-20. EDN BTZKKH.

3. Свойства плазменных покрытий, напыленных в режиме модуляции мощности дуги / А.М. Кадырметов, Е.В. Снятков, А.А. Плахотин, И.А. Мандрыкин // Воронежский научно-технический вестник. 2021. Т. 2, № 2(36). С. 10-16. <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2022-10-16>. EDN JXKKNQ.

4. Исследование структуры и фазового состава композитных Ni+B4C-покрытий, полученных методом холодного газодинамического напыления / В.П. Кулевич, В.Ф. Косарев, С.В. Клинков, В.С. Шикалов // *Материаловедение*. 2024. № 1. С. 35-40. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2024-0-1-35-40>. EDN LJQDLE.

5. Быстров Р.Ю., Геращенко Д.А., Геращенко Е.Ю. Технология нанесения антифрикционного слоя баббита марки Б83, полученного методом холодного газодинамического напыления // *Вопросы материаловедения*. 2024. № 2(118). С. 78-90. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2024-118-2-78-90>. EDN CEFJLN.

6. Серов Н.В., Мельников О.М., Казанцев С.П. Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей сельскохозяйственной техники: метод холодного газодинамического напыления // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 51-58. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>. EDN TQZGQW.

7. Задорожний Р.Н. Технология восстановления шатунов комбинированием электроискровой обработки и холодного газодинамического напыления порошков // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2023. № 8. С. 20-25. <https://doi.org/10.33920/sel-10-2308-04>. EDN EHVLP.

8. Использование металлопорошковой композиции системы цинк-алюминий для нанесения защитного покрытия методом холодного газодинамического напыления / И.А. Козлов, А.А. Никифоров, С.А. Демин, А.И. Вдовин // *Труды ВИАМ*. 2022. № 7(113). С. 89-98. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-7-89-98>. EDN NXCGTY.

9. Геращенко Д.А. Применение технологии холодного газодинамического напыления как аддитивного способа для получения материалов на основе алюминид никеля и алюминид титана // *Вопросы материаловедения*. 2021. № 3(107). С. 118-127. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2021-107-3-118-127>. EDN OGSZFD.

10. Москвитин Г.В., Архипов В.Е., Пугачев М.С. Покрытия на основе меди и медь-цинк, полученные методом газодинамического напыления // *Фундаментальные основы механики*. 2023. № 11. С. 114-118. <https://doi.org/10.26160/2542-0127-2023-11-114-118>. EDN QNYZFI.

11. Холодное газодинамическое напыление покрытий (обзор) / И.А. Козлов, К.А. Лещев, А.А. Никифоров, С.А. Демин // *Труды ВИАМ*. 2020. № 8(90). С. 77-93. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-8-77-93>. EDN WVBSVT.

12. Чавдаров А.В., Толкачев А.А. Восстановление внутренних поверхностей цилиндрических деталей малых диаметров холодным газодинамическим напылением // *Технический сервис машин*. 2020. № 3(140). С. 128-136. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-128-136>. EDN YISKJJ.

13. Разработка методики оценки качества алюминиевого покрытия, выполненного газодинамическим напылением / И.Н. Старков, К.А. Рожков, Л.А. Байдукова, Т.В. Ольшанская // *Контроль. Диагностика*. 2021. Т. 24, № 11(281). С. 32-39. <https://doi.org/10.14489/td.2021.11.pp.032-039>. EDN SLDPCG.

14. Задорожний Р. Н., Кудряшова Е. Ю., Романов И. В. Исследование физико-механических свойств хромсодержащих порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2024. Т. 20, № 11(239). С. 504-507. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2024-20-11-504-507>. EDN KNMEDU.

15. Зайцев Д.В., Задорожний Р.Н., Величко С.А. Получение порошковых материалов методом электроэрозионного диспергирования // *Сельский механизатор*. 2025. № 2. С. 31-34. <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-2-31-32-33-34>. EDN DCNND A.

16. Агеев Е.В., Поданов В.О., Агеева А.Е. Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамо-титано-кобальтового твердого сплава в керосине // *Чебышевский сборник*. 2022. Т. 23, № 5(86). С. 161-171. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-5-161-171>. EDN JGHXZZ.

17. Кончин В.А. Исследование микроструктуры плазменных покрытий стрелчатых лап культиватора // *Современные материалы, техника и технологии*. 2024. № 1(52). С. 56-60. EDN ARYKFY.

18. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Селютин В.Л. Рентгеноспектральный микроанализ электроэрозионных порошков, полученных из отходов сплава ВНЖ в воде дистиллированной // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 1. С. 8-17. EDN ENNNYL.

19. Лебедев В.А., Штынь С.Ю., Кукаркин И.Д. Исследования адгезионной прочности вибрационных механохимических покрытий и их влияние на коррозионную стойкость деталей // Воронежский научно-технический вестник. 2023. Т. 3, № 3(45). С. 48-59. <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-3-3-48-59>. EDN YDBZXU.

20. Исследование коррозионной стойкости сталей, применяемых для изготовления деталей компрессорных установок / Е.Н. Поморцев, З.Р. Габдрахманова, М.Г. Васингина, В. Сиверин // Компрессорная техника и пневматика. 2024. № 3. С. 41-45. EDN IBMXHH.

## References

1. Leontiev D.V. The current state, problems and prospects of development of Russian engineering. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii = Economics and Management in mechanical engineering*. 2023;(6):58-61. EDN BOQLUZ.

2. Artemenko S.A., Orlik G.V., Orlik A.G. Application of wear-resistant cord material for restoration of worn teeth of a quarry excavator. *Tekhnologiya mashinostroeniya = Technology of mechanical engineering*. 2022;(6):16-20. EDN BTZKKH.

3. Kadyrmetov A.M., Snyatkov E.V., Plakhotin A.A., Mandrykin I.A. Properties of plasma coatings sprayed in the arc power modulation mode. *Voronezhskii nauchno-tehnicheskii Vestnik = Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2021;2(2):10-16. <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2022-10-16>. EDN JXKKHQ.

4. Kulevich V.P., Kosarev V.F., Klinkov S.V., Shikalov V.S. Investigation of the structure and phase composition of composite Ni+B4C coatings obtained by cold gas dynamic spraying. *Materialovedenie = Material-management*. 2024;(1):35-40. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2024-0-1-35-40>. EDN LJQDLE.

5. Bystrov R.Y., Gerashchenkov D.A., Gerashenkova E.Y. Technology of applying an antifriction layer of babbit grade B83 obtained by cold gas dynamic spraying. *Voprosy materialovedeniya = Questions of materials science*. 2024;(2):78-90. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2024-118-2-78-90>. EDN CEFJLN.

6. Serov N.V., Melnikov O.M., Kazantsev S.P. Repair of radiators of the cooling system of agricultural machinery engines: a method of cold gas dynamic spraying. *Agroinzheneriya = Agroengineering*. 2024;26(4):51-58. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>. EDN TQZGQW.

7. Zadorozhny R.N. Technology of connecting rod restoration by combining electric spark treatment and cold gas-dynamic powder spraying. *Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont = Agricultural machinery: maintenance and repair*. 2023;(8):20-25. <https://doi.org/10.33920/sel-10-2308-04>. EDN EHUVLP.

8. Kozlov I.A., Nikiforov A.A., Demin S.A., Vdovin A.I. The use of a zinc-aluminum metal-powder composition for applying a protective coating by cold gas-dynamic spraying. *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM*. 2022;(7):89-98. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-7-89-98>. EDN NXCGTY.

9. Gerashchenkov D.A. Application of cold gas-dynamic spraying technology as an additive method for obtaining materials based on nickel aluminide and titanium aluminide. *Voprosy materialovedeniya = Questions of materials science*. 2021;(3):118-127. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2021-107-3-118-127>. EDN OGSZFD.

10. Moskvitin G.V., Arkhipov V.E., Pugachev M.S. Coatings based on copper and copper-zinc obtained by gas-dynamic spraying. *Fundamental'nye osnovy mekhaniki = Fundamental principles of mechanics*. 2023;(11):114-118. <https://doi.org/10.26160/2542-0127-2023-11-114-118>. EDN QNYZFI.

11. Kozlov I.A., Leshchev K.A., Nikiforov A.A., Demin S.A. Cold gas dynamic coating (review). *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM*. 2020;(8):77-93. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-8-77-93>. EDN WVBSVT.
12. Chavdarov A.V., Tolkachev A.A. Restoration of internal surfaces of cylindrical parts of small diameters by cold gas dynamic spraying. *Tekhnicheskii servis mashin = Technical service of machines*. 2020;(3):128-136. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-128-136>. EDN YISKJJ.
13. Starkov I.N., Rozhkov K.A., Baydukova L.A., Olshanskaya T.V. Development of a methodology for assessing the quality of an aluminum coating filled with gas-dynamic spraying. *Kontrol'. Diagnostika = Control. Diagnostics*. 2021; 24:(11):32-39. <https://doi.org/10.14489/td.2021.11.032-039>. EDN SLDPCG.
14. Zadorozhny R.N., Kudryashova E.Y., Romanov I.V. Investigation of the physico-mechanical properties of chromium-containing powders obtained by electroerosion dispersion. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2024;20(11):504-507. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2024-20-11-504-507>. EDN KNMEDU.
15. Zaitsev D.V., Zadorozhny R.N., Velichko S.A. Production of powder materials by electroerosion dispersion. *Sel'skii mekhanizator = Agricultural machine operator*. 2025;(2):31-34. <https://doi.org/10.47336/0131-7393-2025-2-31-32-33-34>. EDN DCNNDA.
16. Ageev E.V., Podanov V.O., Ageeva A.E. Dimensional analysis of powders obtained by electroerosion dispersion of a tungsten-titanium-cobalt-hard alloy in kerosene. *Chebyshevskii sbornik = Chebyshevsky collection*. 2022;23(5):161-171. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-5-161-171>. EDN JGHXZZ.
17. Konchin V.A. Investigation of the microstructure of plasma coatings of pointed cultivator paws. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, engineering and technologies*. 2024;(1):56-60. EDN ARYKfy.
18. Ageeva E.V., Ageev E.V., Selyutin V.L. X-ray spectral microanalysis of electroerosion powders obtained from alloy waste in distilled water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2020;10(1):8-17. EDN ENNNYL.
19. Lebedev V.A., Shtyn S.Y., Kukarkin I.D. Studies of the adhesive strength of vibrational mechanochemical coatings and their effect on the corrosion resistance of components. *Chebyshevskii sbornik = Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2023;3(3):48-59. <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-3-3-48-59>. EDN YDBZXU.
20. Pomortsev E.N., Gabdrakhmanova Z.R., Vasingina M.G., Siverin V. Investigation of the corrosion resistance of steels used for the manufacture of parts of compressor units. *Kompressorная tekhnika i pnevmatika = Compressor technology and mathematics*. 2024;(3):41-45. EDN IBMXHH.

---

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Агеева Екатерина Владимировна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

**Ekaterina V. Ageeva**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

**Кругляков Олег Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: o.kruglyakov@tmholding.ru

**Oleg V. Kruglyakov**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: o.kruglyakov@tmholding.ru

**Серебровский Владимир Исаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор Курского государственного аграрного университета имени И. И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: svi.doc@yandex.ru

**Vladimir I. Serebrovsky**, Doctor of of Sciences (Engineering), Professor, Professor, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation, e-mail: svi.doc@yandex.ru

**Башкирев Анатолий Петрович**, доктор технических наук, профессор, профессор Курского государственного аграрного университета имени И. И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tmv46@mail.ru

**Anatoly P. Bashkirev**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation, e-mail: tmv46@mail.ru

**Баринов Алексей Игоревич**, аспирант, Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: lenya.barinov.99@icloud.com

**Alexey I. Barinov**, Postgraduate Student, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation, e-mail: svi.doc@yandex.ru