

9. Fedorchenko I.S, Maximov E.I. *Ekspperimental'noe ustroystvo dlya metaniya grunta* [The experimental device for a throwing of soil]. *Lesnoy i khimicheskii kompleksy: problemy i resheniya* [Forest and chemical complexes: problems and decisions]. 2009, Vol. 2, pp. 234-239. (In Russian)
10. Bartenev I.M, Druchinin D.Yu, Gnusov M.A. *K voprosu o tushenii lesnykh pozharov gruntom* [On the issue of forest fire fighting soil]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2012, no. 4 (8), pp. 97-101. (In Russian)
11. Bartenev I.M, Drapalyuk M.V, Gnusov M.A. *Pozharnyy gruntomet -polosoprokladyvatel'* [The firefighter grunтомt – a polosoprokladyvatel']. Patent RF, no. 2496540, 2013.
12. Fridlei R.B., Yohuson N.K. A planting machine system for forest regeneration. *Transactions of the ASAE*. 1985, Vol. 28, no. 6, pp. 1770-1776.
13. Hakansson I. A method for characterizing the state of compactness of the plow lever. *Soil Tillage Research*. 1990, no. 16, pp. 18-21.
14. Nilsson U, Luoranen J, Kolstro T, Orlander G, Puttonen P. Reforestation with planting in northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2010, no. 25(4), pp. 283-294.

### Сведения об авторах

*Ступников Дмитрий Сергеевич* – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российской Федерации; e-mail: Neiti1992@yandex.ru.

### Information about authors

*Stupnikov Dmitry Sergeevich* – post-graduate student Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: Neiti1992@yandex.ru.

DOI: 10.12737/19971

УДК 630.383

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

кандидат технических наук **О. М. Тимохова**<sup>1</sup>

доктор технических наук, профессор **О. Н. Бурмистрова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Российская Федерация

Повышение работоспособности и долговечности деталей лесных машин в современном мире возможно различными способами. Химико-термическая и термическая обработки, газотермическое напыление, износостойкие наплавки позволяют повысить прочность и коррозионную стойкость деталей машин в несколько раз. Одним из перспективных направлений в области повышения коррозионной стойкости и долговечности деталей лесных машин является применение новых материалов и покрытий, таких как композиционные материалы, наноматериалы, металлокерамика. Возможности применения наноматериалов весьма разнообразны как в машиностроении, лесоинженерии, деревообработке, так и в лесной промышленности. В статье приведены результаты исследования комплексной упрочняющей обработки на износостойкость, коррозионную стойкость. Термореагирующий порошок ПТ-19Н-01 был объектом исследования материала, формирующего покрытие. В состав данного порошка были включены наночастицы целлюлозы. Для объективной оценки прочности связи между сформированными слоями покрытия с наночастицами отходов целлюлозного производства был использован штифтовой метод оценки прочности сцепления. Образцы, прошедшие термическую и химико-термическую обработку с последующим напылением, были подвергнуты проверке на адгезионную прочность. На основании экспериментальных данных были получены графики зависимости микротвёрдости от времени проведения исследования. Анализ графиков показал, что покрытие образцов (термообработка с напылением порошком, в со-

став которого введены наночастицы) обладает большей микротвёрдостью, чем все остальные. Микротвёрдость этого образца более стабильна и менее подвержена разрушению. Для исследования образцов на коррозионную стойкость была выбрана методика, заключающаяся в следующем: экспериментальным путём определяется зависимость ресурса испытаний от свойств адгезионной среды, где снижение электрического сопротивления покрытия до величины сопротивления разрушения являлось критерием отказа. Для итоговой оценки состояния материала, подвергнутого коррозионным испытаниям, методом программирования в специализированной программе Delphi были рассчитаны потеря массы металла на единицу поверхности, глубина коррозионного поражения, средняя скорость коррозии.

**Ключевые слова:** коррозионная стойкость, износостойкость, химико-термическая обработка, прочность сцепления, твердость.

### STUDY OF OPERATIONAL PROPERTIES OF DETAILS OF FOREST MACHINES DEPENDING ON METHODS OF HARDENING OF THE SURFACE LAYER

PhD in Engineering **O. M. Timokhova**<sup>1</sup>

DSc in Engineering, Professor **O. N. Burmistrova**<sup>1</sup>

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Professional Education «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russian Federation

#### Abstract

Improving the health and longevity of forest machinery parts in the modern world, perhaps in different ways. Chemical-thermal and thermal processing, Gas-thermal spraying, wear-resistant surfacing can improve the strength and corrosion resistance of machine parts several times. One of the promising directions for improving the corrosion resistance and durability of the forest machine parts is the use of new materials and coatings, such as composite materials, nano-materials, metal. The possibility of using nanomaterials is very diverse both in mechanical engineering, Forest engineer, wood, and the wood industry. The results of the study of complex hardening treatment on the wear resistance, corrosion resistance. Termoreagiruyuschy powder PT-19N-01 has been the object of study of the material forming the coating. The composition of the nanoparticle powder cellulose were included. For an objective assessment of the strength of the connection between the coating layers formed from nanoparticles of waste pulp production, a pin method of assessing adhesion strength was used. The samples passed the thermal and thermochemical processing, followed by spraying, are subject to checking the adhesive strength. graphs of the microhardness of the study have been received on the basis of experimental data. Analysis of the graphs showed that the coating sample (heat treatment with a dusting powder composed of nanoparticles introduced) has a higher microhardness than everyone else. Microhardness of this sample is more stable and less prone to failure. To study the samples for the corrosion resistance was chosen methodology is as follows: experimentally determined dependence of the resource test agdezionnoy properties of the medium, where the decrease in the electric resistance of the coating to the value destruction resistance is a criterion of failure. For the final evaluation of the state of the material subjected to the corrosion test, the method of programming in the Delphi specialized program, were calculated mass of metal loss per unit of surface corrosion damage depth, the average rate of corrosion.

**Keywords:** corrosion resistance, wear resistance, chemical-thermal obrabot on, adhesive strength, hardness.

В современном мире существуют различные способы повышения работоспособности и долговечности деталей лесных машин. Применение химико-термической и термической обработки, газотермического напыления, износостойких наплавов позволяют повысить прочность и коррозионную стойкость деталей машин в несколько раз. Наиболее перспективным направлением в области повышения коррозионной стойкости и долговечности деталей лесных машин

является применение новых материалов и покрытий, таких как композиционные материалы, наноматериалы, металлокерамика [2, 3, 7].

Для повышения эксплуатационных свойств материалов деталей были приняты следующие методы упрочнения:

- напыление порошком без термической обработки;
- напыление порошком на основе с добав-

лением наночастиц;

- напыление порошком + термообработка;
- термообработка без напыления;
- напыление порошком с добавлением наночастиц + термическая обработка.

Для нанесения покрытия газотермическим способом был выбран термореагирующий порошок ПТ-19Н-01. В состав данного порошка были включены наночастицы целлюлозы КУ100G (0,5-1,5 %) [5].

Наночастицы целлюлозы – мельчайшие нити между волокнами целлюлозы, которые придают материалу новые качества:

- улучшение эксплуатационных свойств;
- изменение электрических показателей;
- контроль влажности и оптических свойств.

Основные параметры наночастиц [8, 9, 10]:

- диаметр 80 нм;
- длина > 1 мм.

За счет упрочняющей фазы наночастиц целлюлозы твердость упрочненного слоя деталей составляет  $\approx 70$  HRC.

Для оценки прочности связи между сформированными слоями полимерного покрытия был использован штифтовой метод оценки прочности сцепления [4].

Суть метода заключается в следующем: штифт отрывают от напыленного на подложку слоя с приложенной нормальной нагрузкой.

С помощью штифтового метода оценки прочности (рис. 1) можно просто и быстро получить желаемые результаты, а главное – с довольно высокой точностью. Именно поэтому данный метод получил широкое применение.

Образцы, прошедшие различные методы упрочнения, были подвержены проверке на адгезионную прочность.

После того как была проведена совместная обработка торца штифта и поверхности фланец-подложки, необходимо было вытаскивать штифт из подложки для того, чтобы устранить искажения результатов исследования, которые появлялись в результате совместной механической обработки штифта и подложки (спайка).

Перед установкой в разрывную машину покрытие должно быть сформировано и охлаждено до температуры 25°C, а также необходимо извлечь из корпуса

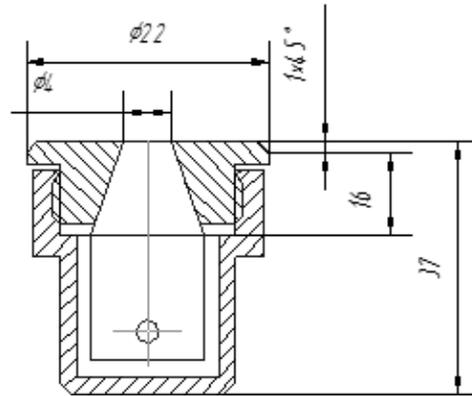


Рис. 1. Образец для измерения адгезионной прочности штифтовым методом

фланец-подложку вместе со штифтом. Получив усилие отрыва штифта от подложки и разделив полученные значения силы на площадь торца штифта ( $12,56 \text{ мм}^2$ ), тем самым получили величину адгезионной прочности покрытия. Адгезионная прочность упрочненного слоя комбинированным методом составила 480 МПа.

На следующем этапе исследований покрытие было проверено на износостойкость на универсальной машине трения МТУ-01.

Интенсивность изнашивания рассчитывали по формуле

$$J = \frac{\Delta h}{L}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – линейный износ, мм;

$L$  – путь трения, км.

Износ определяли с помощью аналитических весов ВЛР гравиметрическим методом.

Твердость упрочненного поверхностного слоя определяли по методу Роквелла.

Измерение микротвёрдости образцов было проведено в соответствии с ГОСТ 9450-76 вдавливанием пирамиды под действием статической нагрузки.

На основании экспериментальных данных были получены графики зависимости микротвёрдости упрочненного поверхностного слоя от времени проведения исследования (рис. 2) [1].

Анализируя полученные графики, видим, что упрочненный поверхностный слой четвертой партии образцов (термообработка с порошком, в составе которого наночастицы) обладает большей микротвёрдостью по сравнению с другими. Микротвёрдость данно-

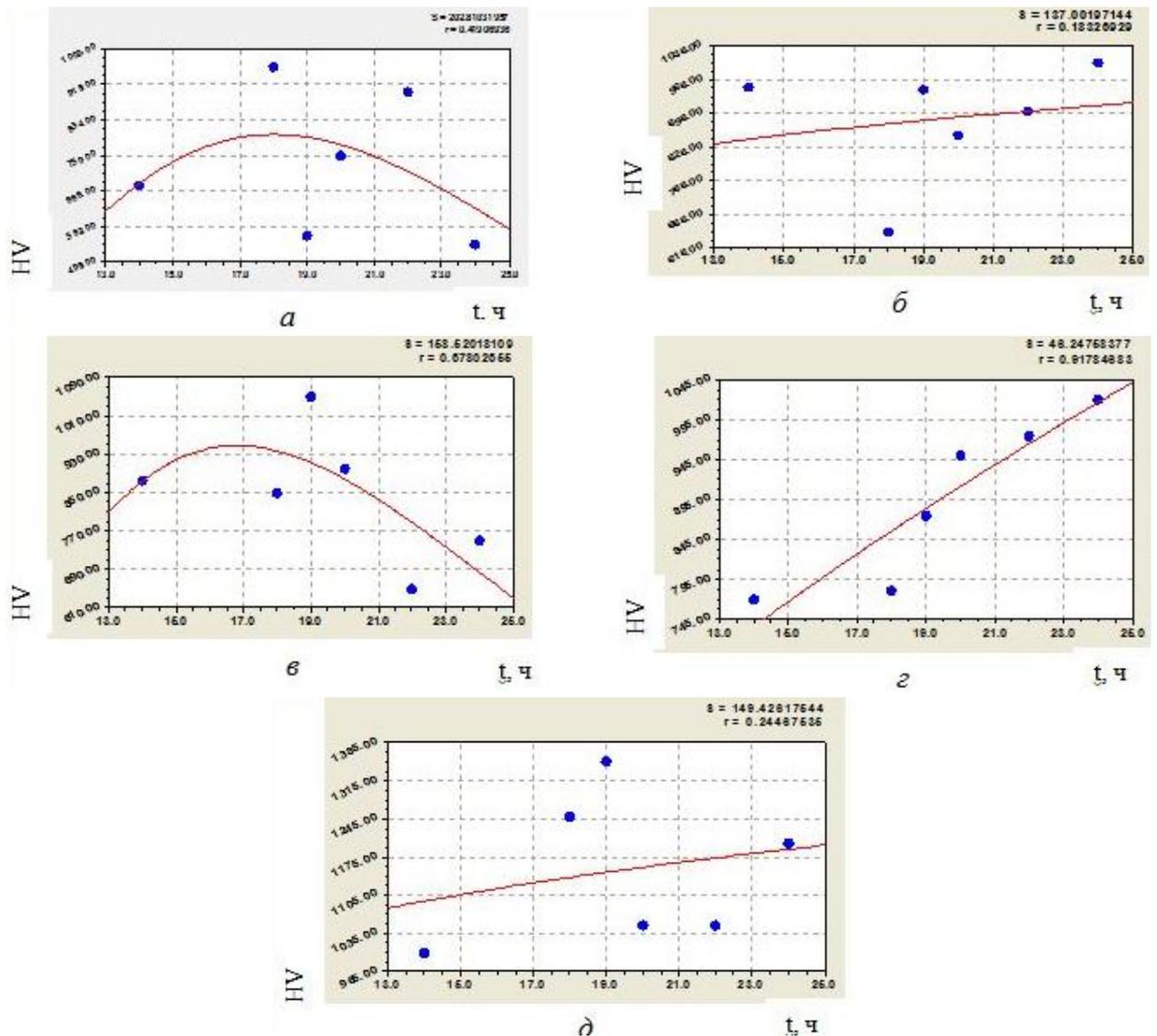


Рис. 2. Микротвёрдость экспериментальных образцов: а – 1 образец (ГТН без термообработки); б – 2 образец (ГТН порошком с наночастицами без термообработки); в – 3 образец (термообработка с ГТН); г – 4 образец (ГТН порошком с наночастицами с термообработкой); д – 5 образец (термообработка без ГТН)

го покрытия более стабильна и менее подвержена разрушению.

Таким образом, составлены математические зависимости для каждого упрочняющего метода:

$$1 \text{ образец: } y = 0,03 \cdot x^{5,5} \cdot \exp(-0,3 \cdot x);$$

$$2 \text{ образец: } y = 571,54 \cdot x^{0,15};$$

$$3 \text{ образец: } y = 348981,86 \cdot x^{15,8} \cdot \exp(-20,87 \cdot x^{0,31});$$

$$4 \text{ образец: } y = 151,97 \cdot x^{0,6};$$

$$5 \text{ образец: } y = 728,3 \cdot x^{0,15}.$$

Для исследования образцов на коррозионную стойкость была выбрана методика, заключающаяся в следующем: экспериментальным путём определяется зависимость ресурса испытаний от свойств адгезион-

ной среды, где снижение электрического сопротивления покрытия до величины сопротивления разрушения являлось критерием отказа [6].

Метод основан на ГОСТ 9.083–78. Данный ГОСТ распространяется на химически устойчивые органические покрытия, защищающие металлические поверхности коррозионного износа в условиях водных растворов кислот или щелочей.

Для расчетов потери массы образцов и средней скорости коррозии была разработана программа в среде Delphi (рис. 3), которая позволяет оценить состояние исследуемого материала, глубину коррозионного поражения [1].

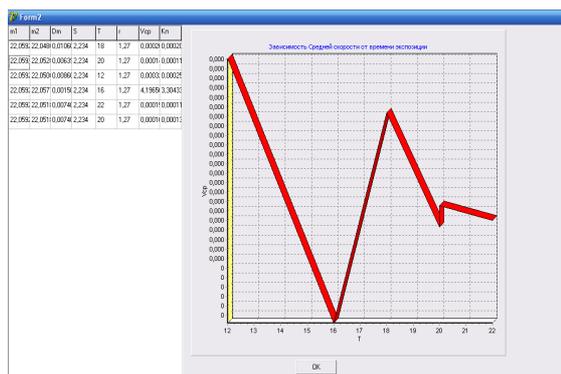


Рис. 3. Программа расчета скорости коррозии

Данные исследований сведены в табл. 1 и 2.

Экспериментальные исследования показывают, что показатели коррозионной и износостойкости наиболее высокие при следующем методе упрочнения: термообработка с последующим газотермическим напылением порошком, в состав которого включены наночастицы целлюлозы.

Более наглядно представлена зависимость скорости коррозии от методов поверхностного упрочнения на рис. 4.

Таким образом, из исследуемых методов упрочнения следует выделить комбинированный способ, состоящий из термообработки с последующим газотермическим напылением порошком, в состав которого введены наночастицы целлюлозы. Комбинированный метод поверхностного упрочнения позволяет повысить коррозионную стойкость и износостойкость в 3,5-4 раза по сравнению со стандартными методами восстановления и упрочнения.

Из приведённых исследований видно, что использование данного способа позволяет повысить долговечность и надежность деталей машин, а следовательно, снижает затраты на капитальный ремонт на 25-30 %.

Данный метод возможно применить как при непосредственном изготовлении деталей лесных машин, так и при ремонте и восстановлении. Применение непосредственно при изготовлении детали позволяет увеличить его прочностные характеристики.

Таблица 1

Исследования методов поверхностного упрочнения на износостойкость

Технология обработки	Твёрдость, HRC	Интенсивность износа образцов, мг/100 ч		Напряжение (нагрузка, вызывающая задир), МПа	
		1 ролик	2 ролик	1 ролик	2 ролик
Напыление порошком ПТ-19Н-01 без термической обработки	32-45	40,1	20,8	39,5	19,06
Напыление порошком на основе ПТ-19Н-01 с добавкой наночастиц целлюлозы (0,5-1,5 %)	58-68	38,95	19,01	35,67	17,78
Напыление порошком ПТ-19Н-01 + термическая обработка	45-55	39,2	19,05	37,3	18,05
Термическая обработка без напыления	30-41	38,63	18,71	34,91	17,98
Напыление порошком на основе ПТ-19Н-01 с добавкой наночастиц целлюлозы + термическая обработка	70-82	38,15	18,00	34,4	16,4

Таблица 2

Исследования методов поверхностного упрочнения на коррозионную стойкость

Технология обработки	Масса		Разница	Время экспозиции, ч	Потеря массы $10^{-3}$ , г/м <sup>2</sup> · ч	Скорость коррозии $10^{-3}$ , мм/год
	до, г	после, г				
Напыление порошком ПТ-19Н-01 без термической обработки	22,0592	22,0486	0,0106	18	183,4597	201,8525
Напыление порошком на основе ПТ-19Н-01 с добавкой наночастиц целлюлозы (0,5-1,5 %)	22,0592	22,0528	0,0064	18	85,7654	90,8765
Напыление порошком ПТ-19Н-01 + термическая обработка	22,0592	22,0506	0,0086	18	91,3452	102,1408
Термическая обработка без напыления	22,0592	22,0516	0,0074	18	91,6544	98,9654
Напыление порошком на основе ПТ-19Н-01 с добавкой наночастиц целлюлозы + термическая обработка	22,0592	22,0577	0,0015	18	83,8765	91,0876

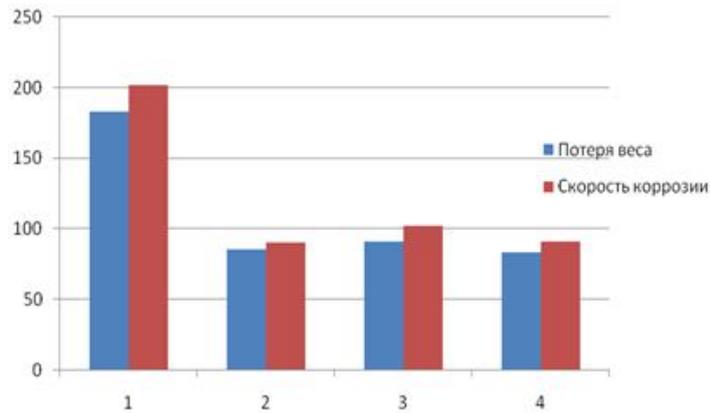


Рис. 4. График потери веса и скорости коррозии: 1 – ГТН без термообработки; 2 – ГТН порошком с наночастицами без термообработки; 3 – ГТН с термообработкой; 4 – термообработка + ГТН порошком с наночастицами целлюлозы

### Библиографический список

1. Тимохова, О.М. Повышение коррозионной стойкости деталей лесотранспортных машин [Текст]: автореф. ... дис. канд. техн. наук. / О.М. Тимохова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – 22 с.
2. Хасуй, А. Техника напыления [Текст] / А. Хасуй. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
3. Газотермические покрытия из порошковых материалов [Текст] / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев: Наукова думка, 1987. – 544 с.
4. Рогожин, В.М. Определение адгезионной прочности газотермических покрытий [Текст] / В.М. Рогожин, Ю.В. Смирнов, В.Я. Петров // Порошковая металлургия. – 1982. – №7. – С. 87-91.
5. Тимохова, О.М. Повышение коррозионной стойкости технологического оборудования и деталей машин [Текст] / О.М. Тимохова, Н.Р. Шоль, Г.Б. Коптяева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №3. – С. 141-144.
6. David, E.J. Corrosion science and technology [Text] / E.J. David, D.R. James. – CRC Press, 2010. – 432 p.
7. Davis, J.R. Corrosion: understanding the basics [Text] / J.R. Davis. – ASM International, 2000. – 563 p.
8. Fontana, M.O. Corrosion engineering [Text] / O.M. Fontana – Tata McGraw-Hill, 2005. – 556 p.
9. Khanna, A.S. Introduction to high temperature oxidation and corrosion [Text] / A.S. Khanna. – N.Y.: ASM Int., 2002. – 393 p.
10. Philippe, M. Corrosion mechanisms in the theory and practice [Text] / M. Phillippe. – N.Y., 2002. – 768 p.

### References

1. Timokhova O.M. Povyshenie korrozionnoj stojkosti detalej lesotransportnyh mashin avtoref. dis. kand. tehn. nauk. [Increasing the corrosion resistance of parts lesotransportnyh machines PhD in Engineering dis.] Yoshkar-Ola, 2013, 22 p. (In Russian)
2. Hasuy A. *Tehnika napylenija* [Spraying technique]. Moscow, 1975, 288 p. (In Russian)
3. Borisov Yu.S., Kharlamov Yu.A., Sidorenko S.L., Ardatovsky E.H. *Gazotermicheskie pokrytija iz poroshkovyh materialov* [Thermal coatings from powder materials]. Kiev, 1987, 544 p. (In Russian)
4. Rogozhin V.M., Smirnov Yu.V., Petrov V.Ya. *Opredelenie adgezionnoj prochnosti gazotermicheskikh pokrytij* [Determination of adhesive strength of thermal coatings]. *Poroshkovaja metallurgija* [Powder metallurgy]. 1982, no. 7, pp 87-91. (In Russian)
5. Timokhova O.M., Shol N.R., Koptjaeva G.B. *Povyshenie korrozionnoj stojkosti tehnologicheskogo oborudovaniya i detalej mashin* [Increased resistance to corrosion of process equipment and machine parts]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja* [Scientific and Technical Gazette Volga]. 2011, no. 3, pp. 141-144. (In Russian)
6. David E.J., James D.R. Corrosion science and technology. CRC Press, 2010, 432 p.

7. Davis J.R. Corrosion: understanding the basics. ASM International, 2000, 563 p.
8. Fontana M.O. Corrosion engineering. Tata McGraw-Hill, 2005, 556 p.
9. Khanna A.S. Introduction to high temperature oxidation and corrosion. N.Y.: ASM Int., 2002, 393 p.
10. Philippe M. Corrosion mechanisms in the theory and practice. N.Y., 2002, 768 p.

### Сведения об авторах

*Тимохова Оксана Михайловна* – заведующий кафедрой инжиниринга технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация; e-mail: chonochka@mail.ru.

*Бурмистрова Ольга Николаевна* – заведующая кафедрой технологий и машин лесозаготовок, ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, г. Ухта, Российская Федерация; e-mail: oburmistrova@ugtu.net.

### Information about authors

*Timokhova Oksana Mikhailovna* – head of department of engineering of technological machines and equipment Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ukhta State Technical University», PhD in Engineering, Ukhta, Russian Federation; e-mail: chonochka@mail.ru.

*Burmistrova Olga Nikolaevna* – head of the Department of technology of machine and logging, Federal State Budget Education Institution of Higher Professional Education «Ukhta State Technical University», DSc in Engineering, Professor, Ukhta, Russian Federation; e-mail: oburmistrova@ugtu.net.