



ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.9.04

DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-1-69-74

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК БУРОВЫХ НАСОСОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМОЕ КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

Некрасов Р.Ю.

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** Параметры качества поверхностного слоя, в частности шероховатость поверхности, являются нормируемыми конструкторской документацией. Это делает обязательным их дальнейшее обеспечение в ходе процесса изготовления деталей и узлов машин. Не исключением являются и цилиндрические узлы насосов буровых. К исполнительным поверхностям их узлов предъявляются повышенные требования по шероховатости поверхности. В качестве метода чистовой обработки для таких деталей используется растачивание. При этом важный вопрос заключается в назначении режимов резания, которые должны обеспечивать получение требуемых параметров качества поверхности. При обработке материалов с особыми свойствами возникает проблема отсутствия рекомендаций по назначению режимов резания. Такую проблему можно решить либо за счет экспериментальных исследований, либо используя теоретические расчеты. В данной работе приводится обоснование возможности использования теоретических зависимостей для назначения режимов резания при обработке материалов с обратным распределением твердости. **Цель работы.** Разработка подхода к определению режимов резания при чистовой обработке материалов с обратным распределением твердости, которые позволяют обеспечить требуемые параметры качества поверхности. **Используемые методы.** В работе использованы методы технологии машиностроения, кластерный анализ, аппроксимация. **Новизна.** На основании расчетов с использованием теоретических формул, которые учитывают особенности формирования шероховатости поверхности, определены технологические режимы резания, которые можно использовать при чистовой токарной обработке деталей, изготовленных из материалов с обратным распределением твердости. **Результат.** В ходе работы были выполнены расчеты величины среднеарифметического отклонения профиля, который представлялся в виде составляющих, порожденных кинематикой и геометрическими параметрами процесса резания, вибрационными процессами в технологической системе, шероховатостью рабочих поверхностей инструмента и упругими деформациями. Расчет был произведен с учетом особенностей обрабатываемого материала (обратным характером распределения твердости). Последующая экспериментальная проверка показала состоятельность полученных результатов. На основе использования кластерного анализа были определены значения режимов, которые обеспечивают требуемый уровень качества. **Практическая значимость.** В результате проведенных исследований были получены рекомендации по режимам механической обработки деталей, которые изготовлены из материалов с обратным распределением твердости. Преимуществом использования полученных результатов на практике является универсальность используемого аппарата. Можно определить теоретически режимы резания при обработке инструментом с различной геометрией и разными державками. Также имеется возможность расчета при изменении конфигурации слоя с обратным распределением твердости. Таким образом, можно совершенствовать процесс технологической подготовки производства.

**Ключевые слова:** обработка, качество поверхности, шероховатость, режимы, обеспечение

© Некрасов Р.Ю., 2026

### Для цитирования

Некрасов Р.Ю. Определение режимов обработки цилиндрических втулок буровых насосов, обеспечивающих требуемое качество поверхности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №1. С. 69-74. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-1-69-74>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# DETERMINATION OF THE TREATMENT MODES OF MUD PUMP CYLINDER LINERS THAT ENSURE THE REQUIRED SURFACE QUALITY

Nekrasov R.Yu.

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** Quality parameters of the surface layer, in particular surface roughness, are standardized design documentation. This makes it mandatory to provide them further during the manufacturing process of machine parts and assemblies. Drilling pump cylinder units are no exception. Actuating surfaces of their units are subject to increased requirements for surface roughness. Boring is used as a finishing method for such parts. At the same time, an important issue is the appointment of cutting modes, which should provide the required surface quality parameters. When processing materials with special properties, the problem of the lack of recommendations for cutting modes arises. This problem can be solved either through experimental research or using theoretical calculations. This paper provides justification for the possibility of using theoretical dependencies to assign cutting modes when processing materials with inverse hardness distribution. **Objectives.** The research is aimed at developing an approach to determine the cutting modes at finishing of materials with inverse hardness distribution, which allow to provide required parameters of surface quality. **Methods Applied.** The paper uses methods of mechanical engineering technology, cluster analysis, approximation. **Originality.** Based on calculations using theoretical formulas that take into account the features of the surfaces roughness formation, technological cutting modes are determined that can be used in the final turning of parts made of materials with inverse hardness distribution. **Result.** In the course of the work, calculations have been made of the arithmetic mean deviation of the profile, which is in the form of components generated by the kinematics and geometric parameters of the cutting process, vibration processes in the technological system, roughness of working surfaces of the tool and elastic deformations. The calculation has been made taking into account the peculiarities of the processed material (the inverse nature of the hardness distribution). Subsequent experimental verification has shown the consistency of the results obtained. Based on the use of cluster analysis, mode values have been determined that provide the required level of quality. **Practical Relevance.** As a result of the studies, recommendations have been obtained on the modes of mechanical processing of parts that are made of materials with inverse hardness distribution. The advantage of using the obtained results in practice is the versatility of the apparatus used. Theoretically, cutting modes can be determined when processing with a tool with different geometry and holders. It is also possible to calculate when changing the configuration of a layer with inverse hardness distribution. Thus, the process of technological preparation of production can be improved

**Keywords:** treatment, surface quality, roughness, modes, provision

## For citation

Nekrasov R.Yu. Determination of the Treatment Modes of Mud Pump Cylinder Liners that Ensure the Required Surface Quality. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 1, pp. 69-74. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-1-69-74>

## Введение

Шероховатость исполнительных поверхностей деталей и узлов машин относится к обязательным для технологического обеспечения параметрам, наряду с точностью размеров и другими показателями, которые регламентированы конструкторской документацией [1, 2]. При изготовлении продукции в условиях применения универсального оборудования получение требуемой шероховатости весьма часто реализуется посредством индивидуальной доработки поверхностей, в том числе за счет абразивной обработки. При использовании подхода, который базируется на использовании предварительной настройки станка, необходимо выставить такие значения режимов резания, которые будут гарантировать достижение требу-

емых параметров качества обработанной поверхности (включая и шероховатость) [3, 4].

Для традиционных обрабатываемых материалов существуют типовые рекомендации по режимам резания [5, 6], однако чаще всего они не вполне ориентированы на чистовую обработку. И все равно требуется достаточно большой объем пробной обработки для коррекции режимов резания. Гораздо более проблемным является подбор режимов резания в случае обработки материалов с особыми свойствами. В данной статье рассматривается проблема обработки цилиндрических втулок, которые используются в конструкциях буровых насосов. Для изготовления рабочей части втулки используется ферритно-перлитный серый чугун, который имеет на поверхности упрочненный слой [7-9]. Отличительной особенностью в

данном случае является то, что слой по структуре соответствует высокоуглеродистой стали, имеющей мелкие включения графита сферической формы. Кроме того, распределение твердости по толщине слоя имеет обратный характер (в отличие от традиционных методов поверхностного упрочнения, так как цементация, здесь твердость, по толщине слоя возрастает). Указанные выше аспекты делают неприменимым использование традиционных нормативов и справочных данных для назначения режимов резания.

Выходом в данной ситуации может быть использование теоретических методик расчета режимов резания, которые обеспечивают получение требуемой шероховатости поверхности. Одной из первых моделей, которая реализовывала взаимосвязь между технологическими режимами и параметрами шероховатости поверхности, была известная зависимость, предложенная А.И. Исаевым [10]. Данная зависимость связывает между собой геометрические характеристики срезаемого слоя и кинематику процесса резания. В ней учитывается продольная подача  $S$ , мм/об, и радиус при вершине резца  $r$ , мм:

$$Rz = \frac{S^2}{8 \cdot r}. \quad (1)$$

Более поздними исследованиями было установлено, что применимость выражения (1) для определения величины технологических режимов имеет ограниченный характер. Объясняется это тем, что в формировании профиля шероховатости поверхности сказываются процессы деформаций, вибрации элементов технологической системы, а также происходит копирование шероховатости рабочих поверхностей инструмента на обработанную поверхность. С учетом перечисленных аспектов, схема образования профиля при токарной обработке представлена на **рис. 1** [11-13].

Выражение для теоретического определения высоты микронеровностей по 10-ти точкам имеет вид

$$Rz = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (2)$$

где  $h_1$  – систематическая составляющая, которая зависит от геометрии и кинематики процесса обработки;  $h_2$  – составляющая, которая зависит от вибраций вершины резца;  $h_3$  – составляющая, зависящая от упругого оттеснения;  $h_4$  – составляющая, которая определяется шероховатостью лезвия резца.

Следует обратить внимание, что выражение (2) содержит показатель шероховатости по 10-ти точкам, для чистовой токарной обработки его можно перевести в среднеарифметическое отклонение профиля, используя соответствующие формулы [14-16].

Целью работы является разработка подхода к определению режимов резания при чистовой обработке материалов с обратным распределением твердости, которые позволяют обеспечить требуемые параметры качества поверхности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- определить расчетным путем величину режимов резания при обработке материалов с обратным распределением твердости;
- произвести экспериментальную проверку обоснованности полученных значений режимов резания с точки зрения обеспечения;
- определить наиболее рациональные значения режимов резания с точки зрения обеспечения требуемых параметров качества поверхности при чистовой токарной обработке втулок цилиндров буровых насосов, которые изготовлены из чугуна упрочненным слоем, имеющим обратное распределение твердости.

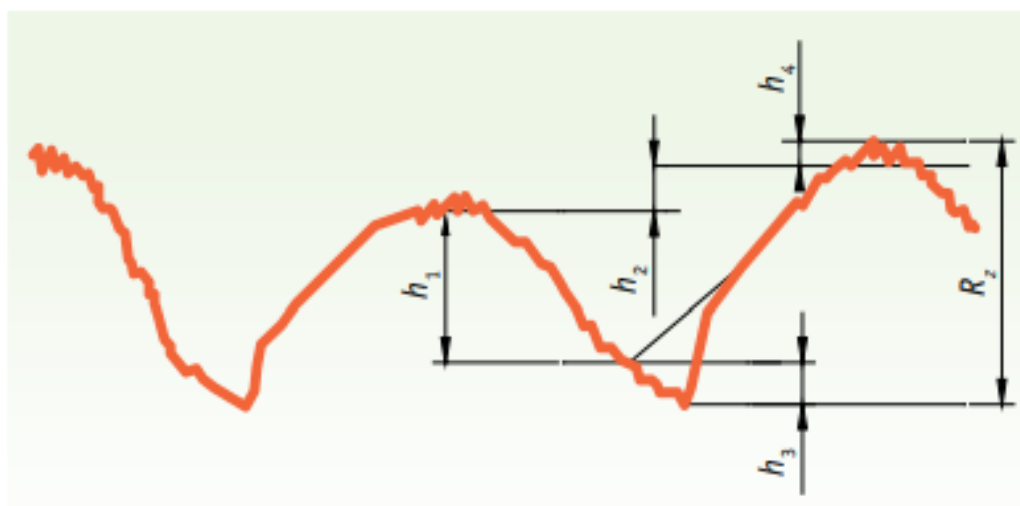


Рис. 1. Схема образования микропрофиля при токарной обработке  
Fig 1. Scheme of microprofile formation during turning

Материалы и методы исследования

Учитывая, что обработка ведется с малыми значениями подачи, выражение для определения систематической составляющей имеет вид

$$h_1 = r \cdot (1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 \cdot \left( S \cos \varphi_1 - \sqrt{S \cdot \sin \varphi_1 \cdot (2r - S \cdot \sin \varphi_1)} \right), \quad (3)$$

где  $r$  – радиус при вершине резца, мм;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане.

Составляющая, зависящая от вибраций, определяется по формуле

$$h_2 = \frac{c_y \cdot S^{y_{py}} \cdot V^{z_{py}} \cdot \left[ HB_{\max}^n \cdot t^{x_{py}} - HB_{\min}^n \cdot (t - Rz_{ис})^{x_{py}} \right]}{J_{ТС}}, \quad (4)$$

где  $c_y$ ,  $y_{py}$ ,  $x_{py}$ ,  $z_{py}$ ,  $n$  – поправочные коэффициенты;  $HB_{\max}$  и  $HB_{\min}$  – максимальная и минимальная твердость обрабатываемого материала;  $Rz_{ис}$  – шероховатость, полученная на предыдущем переходе, мкм;  $J_{ТС}$  – жесткость технологической системы.

Величину составляющей  $h_3$  можно определить по формуле

$$h_3 = \frac{b_{сдв}}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2 \cdot r}{S}}, \quad (5)$$

где  $b_{сдв}$  – величина пластического оттеснения.

$$b_{сдв} = 0,5 \cdot \rho \cdot \left( 1 - \frac{\tau_{сдв}}{\sqrt{\tau_{сдв}^2 + \sigma_T^2}} \right), \quad (6)$$

где  $\tau_{сдв}$  – прочность материала на сдвиг, МПа;  $\rho$  – радиус округления режущей кромки, мм;  $\sigma_T$  – предел текучести обрабатываемого материала, МПа.

Составляющая  $h_4$  принималась согласно данным производителей инструмента.

В качестве режущего инструмента рассматривались расточные резцы с пластинами из твердого сплава марки ВК8 геометрии DCMT, главный угол в плане  $\varphi=93^\circ$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 32^\circ$ , радиус при вершине  $r = 1$  мм. Выбор режущего инструмента объяснялся тем, что данная марка хорошо изучена. Значения скорости резания принимались согласно рекомендациям технической литературы [15, 16]. Значения подачи варьировались в расчетах в диапазоне от 0,1 до 0,3 мм. Расчеты выполнялись с интервалом варьирования подачи в 0,05 мм/об.

Экспериментальная проверка производилась на токарном станке с числовым программным управлением марки DMC-310 ECOLINE. Измерение шероховатости обработанных образцов выполняли на профилемере марки АБРИС ПМ-7.

Полученные результаты и их обсуждение

На рис. 2 показан пример профиля обработанной поверхности, значения среднеарифметического отклонения профиля приведены в таблице.

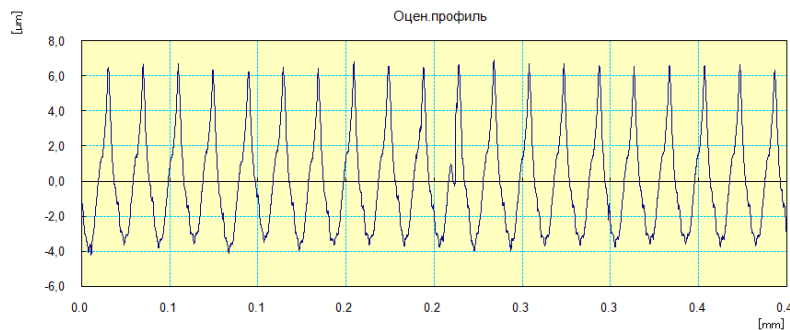


Рис. 2. Профилограмма поверхности,  $t = 0,2$  мм,  $S = 0,2$  мм/об,  $V = 200$  м/мин

Fig 2. Surface profile,  $t$  is 0.2 mm,  $S$  is 0.2 mm/rev,  $V$  is 200 m/min

Таблица. Значения среднеарифметического отклонения профиля  
Table. Arithmetic mean deviation of the profile

№	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$t$ , мм	$Ra_{теор}$ , МКМ	$Ra_{эксп}$ , МКМ
1	0,1	200	0,2	0,96	1,05
2	0,15	200	0,2	1,63	1,79
3	0,2	200	0,2	2,31	2,55
4	0,25	200	0,2	3,04	3,34
5	0,3	200	0,2	3,76	4,16
6	0,1	200	0,35	1,36	1,48
7	0,15	200	0,35	2,41	2,64
8	0,2	200	0,35	3,36	3,72
9	0,25	200	0,35	4,29	4,72
10	0,3	200	0,35	5,18	5,65

По результатам обработки данных был выполнен кластерный анализ по методу дальнего соседа (с разделением на 5 кластеров по уровню качества от наилучшего до наихудшего). На **рис. 3** приведена дендрограмма для пары  $S-Ra_{\text{экс}}$ .

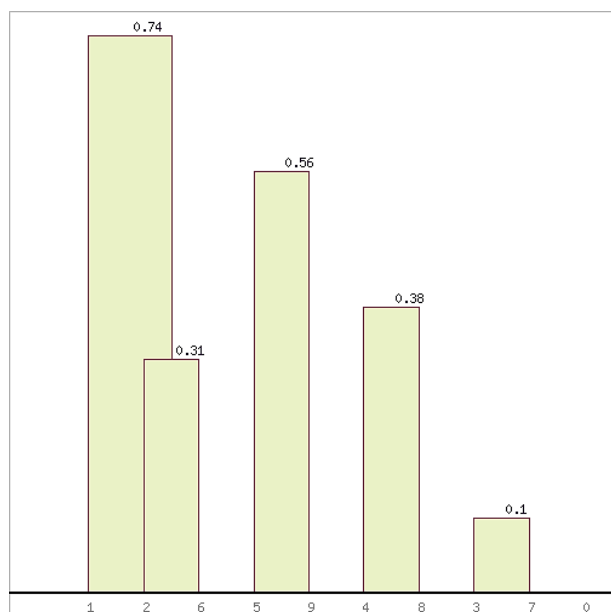


Рис. 3. Дендрограмма для пары факторов  $S-Ra_{\text{экс}}$   
Fig. 3. Dendrogram for  $S-Ra_{\text{экс}}$  factor pair

Из **рис. 3** следует, что наилучший уровень качества достигается при вариантах 1, 2 и 6.

### Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать ряд выводов:

- на основе проведенных расчетов были определены значения режимов резания, которые обеспечивают получение требуемой шероховатости поверхности  $Ra_{\text{теор}}$ . Расчеты проводились для двух значений глубины резания, равных 0,2 и 0,35 мм;

- в ходе экспериментальной проверки полученных результатов было установлено, что погрешность между теоретическими и экспериментальными данными не превышает 15%. Данный результат можно считать достаточным для практической применимости;

- в результате использования кластерного анализа были выявлены наиболее рациональные значения режимов резания, обеспечивающие требуемые параметры шероховатости поверхности при обработке деталей из материалов с обратным распределением твердости;

- в качестве направлений для дальнейших исследований можно выделить изучение влияния износа режущего инструмента на получение требуемой шероховатости, а также исследование устойчивости колебательных процессов при растачивании.

### Список источников

1. Харисов М.И., Забиров Ф.Ш. Обоснование направлений совершенствования клапанных пар поршневого бурового насоса с целью повышения наработки на отказ и герметичности // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2019. №2. С. 113-128.
2. Харисов М.И., Забиров Ф.Ш. Совершенствование конструкции клапанной пары бурового насоса // 69-я науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: сб. матер. докл. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. 249 с.
3. Безязычный В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения: монография. М.: Инфра-инженерия, 2021. 356 с.
4. Кокорев Ю.А., Звягин Ф.В. Способы расчета точностных характеристик деталей и узлов приборов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 211 с.
5. Козлов А.А., Козлов А.М. Расчет режимов резания: учебное пособие. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2017. 96 с.
6. Дудак Н.С., Касенов А.Ж. Расчет режимов резания: учебное пособие. Алматы: Эверо, 2015. 128 с.
7. Патент RU № 2493289. Способ диффузионного титанирования изделий из чугуна // Овсянников В.Е., Гуревич Ю.Г., Фролов В.А., Суханов П.А.; заявитель и патентообладатель Курганский государственный университет. Оpubл. 20.09.2013. Бюл. № 26.
8. Гуревич Ю.Г., Овсянников В.Е., Фролов В.А. Диффузионное хромирование деталей из ферритноперлитного серого чугуна // Машиностроение и инженерное образование. 2011. № 2(27). С. 2-10. EDN NXNCZX.
9. Influence of Diffusional Surface Alloying on the Hardened-Layer Thickness for Gray-Iron Machine Parts / V.I. Vasil'ev, V.E. Ovsyannikov, R.Y. Nekrasov, Y.A. Tempel' // Russian Engineering Research. 2018, vol. 38, no. 11, pp. 901-903. DOI: 10.3103/S1068798X18110187. EDN VUSFYR.
10. Приходько В.М., Медеяев И.А., Фатюхин Д.С. Формирование эксплуатационных свойств деталей машин ультразвуковыми методами: монография. М.: МАДИ, 2015. 264 с. EDN: VIWSSH
11. Михайлов С.В. Методика расчета параметров сечения срезаемого слоя материала и направления схода стружки с инструмента / С.В. Михайлов, Д.С. Скворцов // Вестник КГТУ. 2004. № 9. С. 60–63.
12. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987. 208 с.
13. Остапчук А.К., Овсянников В.Е. Синергетический подход к определению отклика технологической системы на внешнее воздействие // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2011. № 3(11). С. 36-41. EDN OIYAIF.
14. Анализ методов определения фрактальной размерности / В.И. Курдюков, А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2008. № 5(69). С. 46-49. EDN JVZBLH.
15. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей. М.: Машиностроение, 2009. 320 с. EDN UWWKQH.
16. Огар П.М., Горохов Д.Б., Турченко А.В. Механика контактирования шероховатых поверхностей. Братск: БрГУ, 2016. 282 с.

## References

1. Kharisov M.I., Zabiroy F.Sh. Justification of the directions for improving the valve pairs of the piston drilling pump in order to increase the MTBF and tightness. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo»* [Network publication Oil and Gas Business]. 2019;(2):113-128. (In Russ.)
2. Kharisov M.I., Zabiroy F.Sh. Improving the design of the valve pair of the drilling pump. *69-ya nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: sb. mater. dokl.* [69th scientific and technical conference of undergraduates, graduate students and young scientists. Collection of reports]. Ufa: Publishing House of USPTU, 2018, 249 p. (In Russ.)
3. Bezyazuchnuy V.F. *Metod podobiya v tekhnologii mashinostroeniya: monografiya* [Similarity method in mechanical engineering technology: monograph]. Moscow: Infra Engineering, 2021, 356 p. (In Russ.)
4. Kokorev Yu.A., Zvyagin F.V. *Sposoby rascheta tochnostnykh kharakteristik detaley i uzlov priborov* [Methods for calculating the accuracy characteristics of parts and assemblies of devices]. Moscow: Publishing House of MSTU named after N.E. Bauman, 2018, 211 p. (In Russ.)
5. Kozlov A.A., Kozlov A.M. *Raschet rezhimov rezaniya* [Calculation of cutting modes]. Lipetsk: LSTU Publishing House, 2017, 96 p. (In Russ.)
6. Dudak N.S., Kasenov A.Zh. *Raschet rezhimov rezaniya* [Calculation of cutting modes]. Almaty: Evero, 2015, 128 p. (In Russ.)
7. Ovsyannikov V.E., Gurevich Yu.G., Frolov V.A., Sukhanov P.A. *Sposob diffuzionnogo titanirovaniya izdeliy iz chuguna* [Method of diffusion titaniation of cast iron products]. Patent RU, no. 2493289, 2013.
8. Gurevich Yu.G., Ovsyannikov V.E., Frolov V.A. Diffusion chrome plating of parts from ferrite-pearlitic gray cast iron. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie* [Mechanical engineering and engineering education]. 2011;(2(27)):2-10. (In Russ.)
9. Vasilev V.I., Ovsyannikov V.E., Nekrasov R.Y., Tempel Y.A. Influence of Diffusional Surface Alloying on the Hardened-Layer Thickness for Gray-Iron Machine Parts. *Russian Engineering Research*. 2018;38(11):901-903. DOI 10.3103/S1068798X18110187.
10. Prikhodko V.M., Medelyaev I.A., Fatyukhin D.S. *Formirovanie ekspluatatsionnykh svoystv detaley mashin ultrazvukovymi metodami: monografiya* [Formation of operational properties of machine parts by ultrasonic methods: monograph]. Moscow: MADI, 2015, 264 p. (In Russ.)
11. Mikhailov S.V., Skvortsov D.S. Methodology for calculating the parameters of the section of the cut layer of material and the direction of chip release from the tool. *Vestnik KGTU* [Bulletin of KSTU]. 2004;(9):60-63. (In Russ.)
12. Suslov A.G. *Tekhnologicheskoe obespechenie parametrov sostoyaniya poverkhnostnogo sloya detaley* [Technological support of the state parameters of the parts surface layer]. Moscow: Mashinostroeniye, 1987, 208 p. (In Russ.)
13. Ostapchuk A.K., Ovsyannikov V.E. Synergistic approach to determining the response of a technological system to external influences. *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Ural State University of Railways]. 2011;(3(11)):36-41. (In Russ.)
14. Kurdyukov V.I., Ostapchuk A.K., Ovsyannikov V.E., Rogov E.Yu. Analysis of methods for determining fractal dimension. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kuzbass State Technical University]. 2008;(5(69)):46-49. (In Russ.)
15. Suslov A.G. *Inzheneriya poverkhnosti detaley* [Surface engineering of parts]. Moscow: Mashinostroeniye, 2009, 320 p. (In Russ.)
16. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Turchenko A.V. *Mekhanika kontaktirovaniya sherohovatykh poverkhnostey* [Rough surface contact mechanics]. Bratsk: BrSU Publishing House, 2016, 282 p. (In Russ.)

Поступила 08.07.2025; принята к публикации 01.11.2025; опубликована 31.03.2026  
Submitted 08/07/2025; revised 01/11/2025; published 31/03/2026

**Некрасов Роман Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент,  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.  
Email: syncler@mail.ru. ORCID 0009-0002-0057-8550

**Roman Yu. Nekrasov** – PhD (Eng.), Associate Professor,  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.  
Email: syncler@mail.ru. ORCID 0009-0002-0057-8550