

УДК 621.923

doi: 10.21685/2072-3059-2024-4-9

Оценка условия силового замыкания при наладке операций проходного бесцентрового шлифования

П. В. Малинин¹, П. Ю. Бочкарев², И. И. Артемов³

^{1,2}Камышинский технологический институт (филиал)

Волгоградского государственного технического университета, Камышин, Россия

²Саратовский государственный университет генетики,

биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

³Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹mpv92@yandex.ru, ²bpy@mail.ru, ³artemov@pnzgu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одним из наиболее перспективных методов обработки поверхностей типа тел вращения в плане повышения производительности и обеспечения стабильности заданных характеристик является бесцентрово-шлифовальная обработка. Однако ее технологическое сопровождение во многом носит субъективный характер. *Материалы и методы.* Предложено при оценке качества выполнения проектной процедуры назначения параметров наладки оборудования использовать разработанные зависимости, анализирующие места контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы. *Результаты.* Доказано, что требование силового замыкания является одним из важнейших параметров качества выполнения работ. Полученные зависимости и результаты промышленных испытаний подтвердили необходимость выполнения данного требования с учетом реального состояния технологической системы. *Выводы.* Полученные результаты теоретических исследований, разработанные алгоритмы и программное обеспечение развивают научно-методическую базу создания системы автоматизированного проектирования операций, выполняемых на бесцентрово-шлифовальных станках.

Ключевые слова: проходное бесцентровое шлифование, проектные процедуры наладки оборудования, условие силового замыкания, технологическая подготовка механообрабатывающих производств, рабочая зона обработки

Для цитирования: Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И. Оценка условия силового замыкания при наладке операций проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 4. С. 109–117. doi: 10.21685/2072-3059-2024-4-9

Evaluation of the force closure condition during setup of centerless grinding operations

P.V. Malinin¹, P.Yu. Bochkarev², I.I. Artemov³

^{1,2}Kamyshin Technological Institute (branch)

Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

³Penza State University, Penza, Russia

¹mpv92@yandex.ru, ²bpy@mail.ru, ³artemov@pnzgu.ru

Abstract. *Background.* One of the most promising methods of surface treatment of the type of bodies of rotation in terms of increasing productivity and ensuring the stability of the specified characteristics is centerless grinding. However, its technological support is largely subjective in nature. *Materials and methods.* It is proposed to use the developed dependencies analyzing the contact points of the treated surface with the elements of the technological system when evaluating the quality of the design procedure for assigning equipment setup parameters. *Results.* The validity of accepting the requirement of a power circuit as one of the most important parameters of the quality of work is proved. The obtained dependencies and the results of industrial tests confirmed the need to analyze the fulfillment of this requirement, taking into account the real state of the technological system. *Conclusions.* The obtained results of theoretical research, the developed algorithms and software develop the scientific and methodological basis for creating a computer-aided design system for operations performed on centerless grinding machines.

Keywords: through-through centerless grinding, design procedures for setting up equipment, power circuit condition, technological preparation of machining industries, working area of processing

For citation: Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I. Evaluation of the force closure condition during setup of centerless grinding operations. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* = *University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2024;(4):109–117. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2024-4-9

Введение

Эксплуатационные характеристики изделий машиностроения прежде всего определяются качеством обработки поверхностей деталей, непосредственно контактирующих с другими поверхностями в сборочном узле. Взаимное расположение и точностные характеристики этих поверхностей во многом являются основными качественными показателями применяемых технологических процессов их изготовления и сборки. Современные требования, предъявляемые к производственным системам, направлены на кардинальное повышение производительности и обеспечение стабильности заданных конструктором характеристик. Выполнение их предопределяется выбранными методами обработки поверхностей, которые составляют технологический процесс изготовления деталей [1, 2]. Среди таких методов обработки поверхностей цилиндрической формы можно выделить как наиболее перспективную бесцентрово-шлифовальную обработку, которая зарекомендовала себя как наиболее эффективный метод для отдельных отраслей и конкретных условий машиностроительного производства, особенно в подшипниковой отрасли [3]. Проведенный анализ причин, связанных с ограничениями в использовании метода бесцентрового шлифования, показал, что они вызваны недостаточно проработанной научно-методической базой вопросов технологической подготовки [4–7].

Материалы и методы

Развитие исследований в направлении совершенствования проектных процедур этапов наладки и управления реализацией операций проходного бесцентрового шлифования способствовало разработке моделей, обеспечивающих установление связей между размерными характеристиками обрабатываемой поверхности и элементами технологической системы оборудования. Формализованные зависимости позволили установить наладочные параметры, управление которыми возможно с применением рабочих органов

$$2X_B a + 2Y_B b + c + X_B^2 + Y_B^2 = 0,$$

$$2X_P a + 2Y_P b + c + X_P^2 + Y_P^2 = 0.$$

Представим систему уравнений в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} 2X_A & 2Y_A & 1 \\ 2X_B & 2Y_B & 1 \\ 2X_P & 2Y_P & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(X_A^2 + Y_A^2) \\ -(X_B^2 + Y_B^2) \\ -(X_P^2 + Y_P^2) \end{pmatrix}.$$

Решение системы уравнений методом Гаусса позволяет:

– в случае отсутствия решения сделать вывод, что точки коллинеарны (окружность через них провести нельзя), следовательно, условие силового замыкания не выполняется;

– определить координаты центра окружности и ее радиус $x_0 = a$,

$y_0 = b$, $R = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 - c}$ и уравнение окружности и сопоставляя их со значениями допуска на обрабатываемую поверхность и припуска на технологический переход, сделать заключение о соблюдении требования силового замыкания.

Разработанное алгоритмическое обеспечение выполнения проектной процедуры установления соответствия требованию силового замыкания при назначении наладочных параметров для операций проходного бесцентрового шлифования представлено в виде блок-схемы на рис. 2. Ввод исходной информации предусматривает три группы данных: реальные размерные параметры технологического оснащения; информация, представленная в технологической документации; рассчитанное или выбранное из нормативно-справочной литературы значение установки высоты центра обрабатываемой поверхности (Н).

Последовательность выполнения процедуры предусматривает следующие действия: расчет по разработанным зависимостям параметров наладки на основе реального состояния технологической оснастки; определение координат точек контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической системы при выборе в качестве центра координат центра заготовки; расчет с использованием известной и апробированной автоматизированной подсистемы значений координат центра и радиуса окружности по координатам трех точек. Производится проверка выполнения условия силового замыкания с позиций неколлинеарности рассматриваемых точек и соответствия технологическим характеристикам осуществления перехода.

Алгоритм позволяет за счет возможности внесения корректировки значения установки высоты центра обрабатываемой поверхности (Н) анализировать многовариантные результаты расчетов наладочных параметров и выбирать наиболее рациональные из них по критерию уровня соответствия условию силового замыкания.

Проверка предлагаемого метода оценки выполнения требования силового замыкания при наладке посредством определения расположения точек контакта поверхности заготовки с элементами технологической оснастки

осуществлялась на базе исходных данных об изготовлении деталей на станках Sasl 200×500:

– «Кольцо наружное» подшипника 6-170314Ш1.01 ГОСТ 520–2011 в условиях ПР-8 АО «ЕПК Саратов»;

– «Ролик прямолинейный с радиусными скосами II степени сложности» 42926 04 (EN 12080) в условиях цеха № 24 АО «ЕПК Саратов».

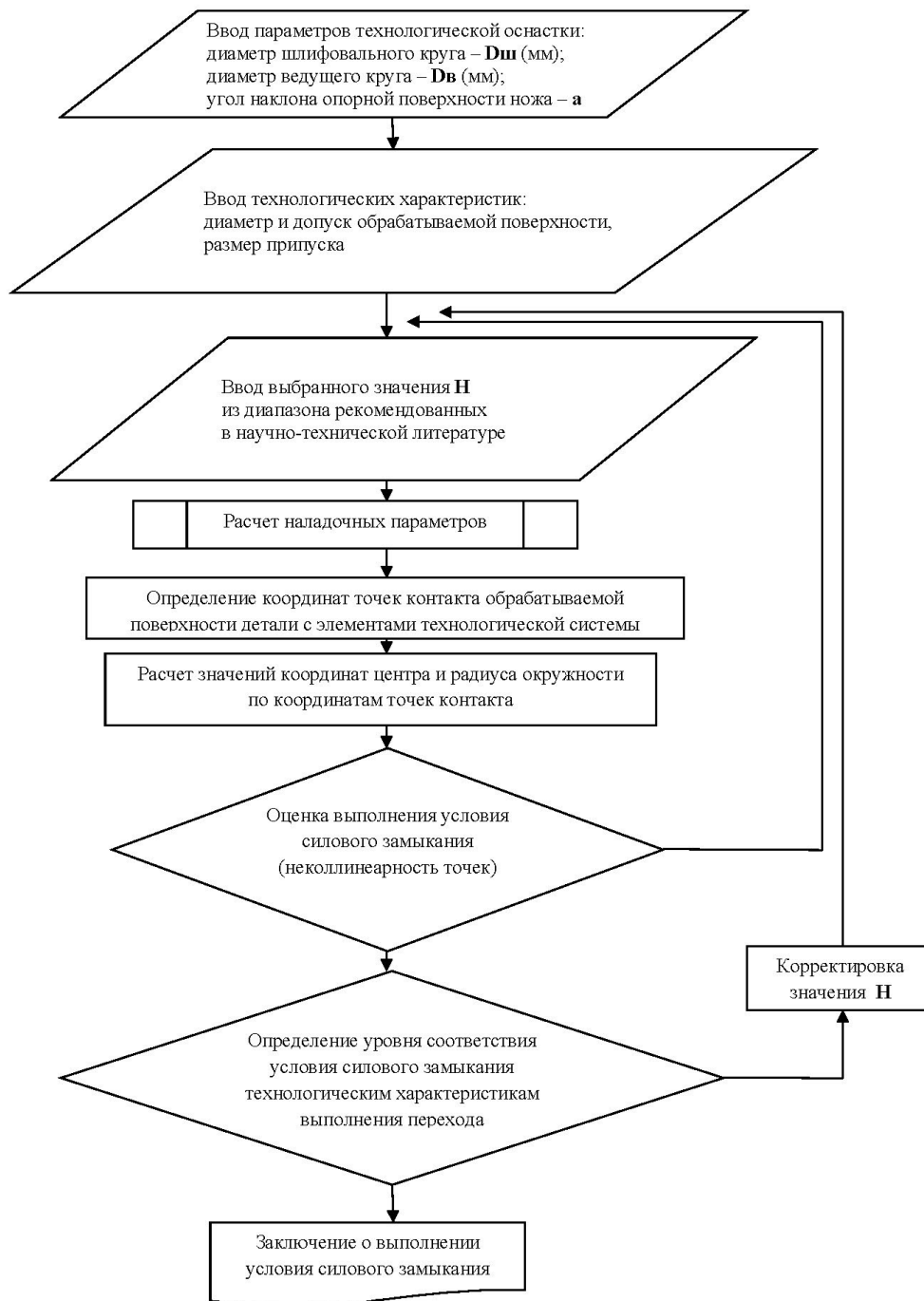


Рис. 2. Блок-схема определения соответствия требованию силового замыкания

На рис. 3, 4 представлены результаты расчетов и расположение точек контактов с целью анализа выполнения условия силового замыкания для операции предварительного бесцентрового шлифования (проход 1) наружного кольца подшипника 6-170314Ш1 и операции предварительного бесцентрового шлифования ролика 42926 04 (EN 12080) при выбранной рациональной высоте установки центра заготовки обрабатываемой поверхности.

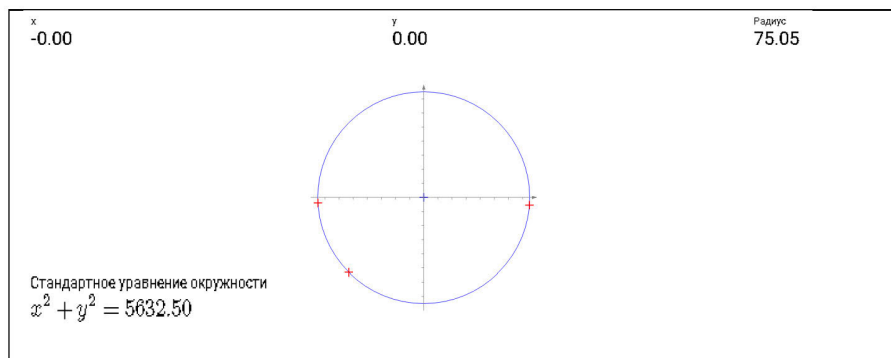


Рис. 3. Результаты расчетов выполнения условия силового замыкания для операции предварительного бесцентрового шлифования (проход 1) наружного кольца подшипника 6-170314Ш1

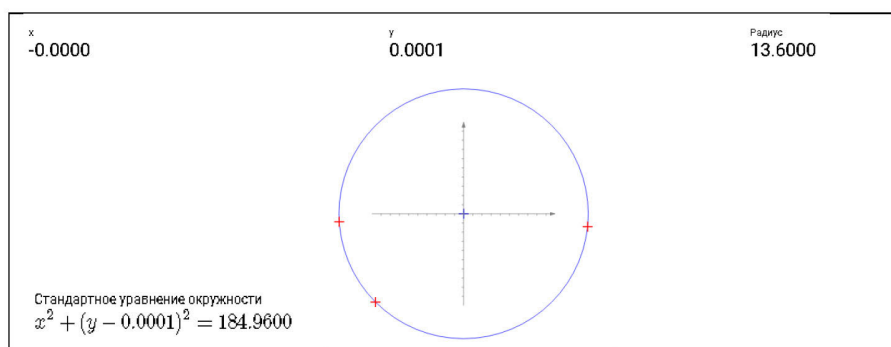


Рис. 4. Результаты расчетов выполнения условия силового замыкания для операции предварительного бесцентрового шлифования ролика 42926 04 (EN 12080)

В ходе проведения экспериментальных исследований, результаты которых подтвердили работоспособность созданных моделей расчета наладочных параметров, были выбраны удобные формы и порядок занесения данных о реальном состоянии технологической системы и представления результатов. Выбор основывался на стремлении к упрощению и наглядности выполнения процедуры с учетом предложений инженерно-технического персонала предприятия.

Результаты

Представленные результаты исследований доказывают обоснованность рассмотрения как одного из важнейших параметров качества выполнения ра-

бот, связанных с наладкой операций бесцентрового шлифования, требования силового замыкания. Полученные зависимости и результаты промышленных экспериментов позволяют обеспечить проведение анализа выполнения данного требования с учетом реального состояния технологической системы.

Заключение

Поддержание качественного технологического обеспечения операций проходного бесцентрового шлифования невозможно без выполнения отдельных проектных действий, объединенных не только информационной составляющей, но и содержанием. От принятых на этапе наладки оборудования решений зависит соблюдение заданных требований к обрабатываемой поверхности и производительность выполнения операции. Соблюдение условия силового замыкания является одной из определяющих количественных характеристик при выборе правильного технологического решения. Разработаны модель, алгоритм и программное обеспечение, позволяющие оценить данное требование на основе анализа расположения точек контакта обрабатываемой поверхности с элементами технологической оснастки при наладке. Полученные результаты теоретических исследований и их промышленная апробация расширяют объективную составляющую процедуры и направлены на развитие научно-методической базы создания системы автоматизированного проектирования операций, выполняемых на бесцентрово-шлифовальных станках.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1986. Т. 2. 496 с.
2. Безъязычный В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2013. 568 с.
3. Справочник технолога / под общ. ред. А. Г. Суслова. М. : Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
4. Слонимский В. И. Теория и практика бесцентрового шлифования. Л. : Машгиз, 1952. 288 с.
5. Прохоров А. Ф., Константинов К. Н., Волков Л. П. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков. М. : Машиностроение, 1976. 192 с.
6. Филькин В. П., Колтунов И. Б. Прогрессивные методы бесцентрового шлифования. М. : Машиностроение, 1971. 204 с.
7. Муцянюк В. И., Братчиков А. Я. Бесцентровое шлифование. Ленинград : Машиностроение, 1986. 96 с.
8. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю. Структуризация способов бесцентрового шлифования с использованием кластерного анализа // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2022. № 8. С. 36–39.
9. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Ульянова Л. Д., Шалунов В. В. Совершенствование технологической подготовки операций бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 4. С. 147–160.
10. Митин С. Г., Бочкарев П. Ю. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой // Автоматизация в промышленности. 2018. № 2. С. 45–51.
11. Ашкиназий Я. М. Бесцентровые шлифовальные станки. Конструкции, обработка и правка. М. : Машиностроение, 2003. 352 с.

12. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И., Гончаров М. О. Определение наладочных параметров операций проходного бесцентрового шлифования // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 3. С. 144–153.
13. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю. Группирование по технологическим признакам операций продольного бесцентрового шлифования // Воронежский научно-технический вестник. 2024. № 1 (47). С. 61–69.
14. Малинин П. В., Бочкарев П. Ю., Артемов И. И., Гончаров М. О. Взаимозависимость сил при проходном бесцентровом шлифовании // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 4. С. 149–159. doi: 10.21685/2072-3059-2023-4-14

References

1. Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K. (eds.). *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya: v 2 t. 4-e izd., pererab. i dop. = Handbook of a mechanical engineer: in 2 volumes. The 4th edition, revised and supplemented.* Moscow: Mashinostroenie, 1986;2:496. (In Russ.)
2. Bez'yazychnyy V.F. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya: uchebnik dlya vuzov = Fundamentals of mechanical engineering technology: textbook for universities.* Moscow: Mashinostroenie, 2013:568. (In Russ.)
3. Suslov A.G. (ed.). *Spravochnik tekhnologa = Technologist's handbook.* Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2019:800. (In Russ.)
4. Slonimskiy V.I. *Teoriya i praktika bescentrovogo shlifovaniya = Theory and practice of centerless grinding.* Leningrad: Mashgiz, 1952:288. (In Russ.)
5. Prokhorov A.F., Konstantinov K.N., Volkov L.P. *Naladka i ekspluatatsiya bescentrovyykh shlifoval'nykh stankov = Adjustment and operation of centerless grinding machines.* Moscow: Mashinostroenie, 1976:192. (In Russ.)
6. Fil'kin V.P., Koltunov I.B. *Progressivnye metody bescentrovogo shlifovaniya = Progressive methods of centerless grinding.* Moscow: Mashinostroenie, 1971:204. (In Russ.)
7. Mutsyanko V.I., Bratchikov A.Ya. *Bestsentrovoye shlifovanie = Centerless grinding.* Leningrad: Mashinostroenie, 1986:96. (In Russ.)
8. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu. Structuring of centerless grinding methods using cluster analysis. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Volgograd State Technical University.* 2022;(8):36–39. (In Russ.)
9. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Ul'yanova L.D., Shalunov V.V. Improving the technological preparation of the centerless grinding operation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2022;(4):147–160. (In Russ.)
10. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Development of models and methods for automating design procedures for designing technological operations with a complex structure. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti = Automation in industry.* 2018;(2):45–51. (In Russ.)
11. Ashkinaziy Ya.M. *Bestsentrovye shlifoval'nye stanki. Konstruktsii, obrabotka i pravka = Centerless grinding machines. Design, processing and dressing.* Moscow: Mashinostroenie, 2003:352. (In Russ.)
12. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I., Goncharov M.O. Determination of setup parameters for centerless grinding operation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2023;(3):144–153. (In Russ.)
13. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu. Grouping of longitudinal centerless grinding operations according to technological characteristics. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik = Voronezh scientific and technical bulletin.* 2024;(1):61–69. (In Russ.)
14. Malinin P.V., Bochkarev P.Yu., Artemov I.I., Goncharov M.O. Interdependence of forces in continuous centerless grinding. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pov-*

olzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences. 2023;(4):149–159. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2023-4-14

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Витальевич Малинин

аспирант, Камышинский
технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного
технического университета (Россия,
г. Камышин, ул. Ленина, 6А)

E-mail: mpv92@yandex.ru

Pavel V. Malinin

Postgraduate student, Kamyshin
Technological Institute (branch)
Volgograd State Technical University
(6A Lenina street, Kamyshin, Russia)

Петр Юрьевич Бочкарев

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры технологии
машиностроения и прикладной механики,
Камышинский технологический
институт (филиал) Волгоградского
государственного технического
университета (Россия, г. Камышин,
ул. Ленина, 6А); профессор кафедры
технического обеспечения АПК,
Саратовский государственный
университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н. И. Вавилова
(Россия, г. Саратов, ул. Советская, 60)

E-mail: bpy@mail.ru

Petr Yu. Bochkarev

Doctor of engineering sciences, professor,
professor of the sub-department
of engineering technology and applied
mechanics, Kamyshin Technological
Institute (branch) Volgograd State
Technical University (6A Lenina street,
Kamyshin, Russia); professor
of the sub-department of technical
support of the agro-industrial complex,
Saratov State University of Genetics,
Biotechnology and Engineering named
after N.I. Vavilov (60 Sovetskaya street,
Saratov, Russia)

Игорь Иосифович Артемов

доктор технических наук, профессор,
директор Научно-исследовательского
института фундаментальных
и прикладных исследований, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: artemov@pnzgu.ru

Igor I. Artemov

Doctor of engineering sciences, professor,
director of the Research Institute
of Fundamental and Applied Research,
Penza State University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 28.08.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 23.09.2024

Принята к публикации / Accepted 14.10.2024