

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.95.01:621.9.015

doi: 10.30987/2782-5957-2022-12-18-25

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОТВЕРСТИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ЗАГОТОВОК ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Степан Викторович Михайленко¹, Антон Геннадьевич Кисель^{2,3}✉

^{1,2} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

³ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ stepan_01.01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6806-9915>

² kisel1988@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8014-0550>

Аннотация

Рациональный выбор смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) является сложной технологической задачей. В настоящее время мировая промышленность выпускает широкий спектр таких веществ. При этом рекомендации производителей по их использованию носят общий характер, что затрудняет принятие решения для конкретных случаев. Одним из критериев выбора СОЖ является шероховатость формируемой поверхности, особенно при несвободном резании, в частности при сверлении. Следовательно, исследования влияния СОЖ на шероховатость поверхности отверстия при сверлении являются актуальными. Целью работы являлось установление зависимости шероховатости поверхности отверстий, получаемых при сверлении заготовок из низколегированной стали 38ХНЗМФА от свойств, применяемых СОЖ. Для достижения поставленной цели были проведены эксперимен-

тальные исследования. В результате лабораторных испытаний СОЖ были установлены их смазочные свойства и плотность. Оценка полученных зависимостей шероховатости при сверлении от свойств СОЖ позволила установить формулу для определения прогнозируемого качества поверхности. Установлено, что определяющим свойством СОЖ является смазочное действие, параметром оценки которого принят коэффициент трения. Расчетная формула позволяет прогнозировать шероховатость поверхности отверстия при сверлении низколегированных сталей с погрешностью 11,8 %. Представлена методика испытаний СОЖ и определения их эффективности по параметру шероховатости Ra_{cp} .

Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, сверление, шероховатость.

Ссылка для цитирования:

Михайленко С.В. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на шероховатость отверстий при сверлении заготовок из низколегированных сталей / С.В. Михайленко, А.Г. Кисель // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 12. – С. 18 – 25. doi: 10.30987/2782-5957-2022-12-18-25.

Original article

Open Access Article

THE INFLUENCE OF COOLING MIXTURES ON THE ROUGHNESS OF HOLES WHEN DRILLING WORKPIECES MADE OF LOW-ALLOY STEELS

Stepan Viktorovich Mikhailenko¹, Anton Gennadievich Kisel^{2,3}✉

^{1,2} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

³ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ stepan_01.01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6806-9915>

² kisel1988@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8014-0550>

Abstract

The rational choice of cooling mixtures (coolant) is a complex technological task. Currently, world industries produce a wide range of such substances. At

the same time, manufacturers' recommendations on their use are of a general nature, which makes it difficult to choose them for specific cases. One of the crite-

ria for choosing a coolant is the roughness of the formed surface, especially during constrained cutting, in particular during drilling. Therefore, studies of the influence of cooling mixture on the roughness of the hole surface during drilling are relevant. The task to which the paper is devoted is to find out the dependence of the roughness of the hole surface obtained when drilling workpieces of low-alloy steel 38ХНЗМФА on the properties of the coolant used. To achieve this aim, experimental studies were conducted. As a result of laboratory tests of coolants, their lubricating properties and density were determined. The evaluation of the obtained roughness dependencies

Reference for citing:

Mikhailenko SV, Kisel AG. The influence of cooling mixtures on the roughness of holes when drilling workpieces made of low-alloy steels. Transport Engineering. 2022; 12:18-25. doi: 10.30987/2782-5957-2022-12-18-25.

Введение

Сверление является самым распространенным способом получения отверстий. Однако, данный вид обработки обладает определенными недостатками:

- затруднен отвод стружки (особенно при обработке глубоких отверстий);
- высокие температуры в зоне резания;
- затруднена подача СОЖ в зону резания.

Несмотря на то, что влияние приведенных факторов возможно снизить за счет применения рациональной стратегии обработки с выводом стружки и применения сверл с подачей СОЖ через каналы в инструменте, в большинстве случаев для получения требуемой шероховатости прибегают к дополнительным операциям. Особенно острой является проблема обеспечения качественной поверхности глубоких отверстий. Традиционно для получения шероховатости поверхности отверстий меньшей, чем Ra 1,25 мкм, дополнительно

Материалы, модели, эксперименты и методы

Определение влияния СОЖ на шероховатость поверхности полученных при сверлении отверстий возможно только при станочных испытаниях. Однако, станочные испытания требуют применения самого станка, который при этом простаивает, применения режущего инструмента и заготовок, которые расходуются не по своему прямому назначению, а также больших затрат времени. Поэтому для устранения пе-

during drilling on the properties of coolant allowed us to define a formula for determining the predicted surface quality. It is found out that the determinant property of the coolant is its lubricating action, and the parameter for its evaluation is friction factor. The calculation formula makes it possible to predict the roughness of the hole surface when drilling low-alloy steels with an error of 11.8 %. The method of coolants testing and determination of their effectiveness by the roughness parameter Ra_{cp} is presented.

Keywords: cooling mixture (coolant), drilling, roughness.

применяют зенкерование, развертывание или шлифование.

Исследователями установлено, что на качество поверхности получаемых отверстий в основном влияют следующие факторы:

- характеристики режущего инструмента [1, 2, 3];
- применяемые режимы резания [1, 2, 3, 4];
- жесткость станочного оборудования и возникающие при обработке вибрации [4].

Одним из возможных решений представленной проблемы является применение эффективных СОЖ, так как доказано, что разные СОЖ влияют на процесс резания по-разному, а значит, позволяют получить и различную шероховатость [4, 5, 6, 7]. Следовательно, исследования влияния СОЖ на шероховатость поверхности отверстия при сверлении являются актуальными.

речисленных недостатков необходимо разработать такую методику, которая позволила бы по результатам лабораторных испытаний прогнозировать эффективность СОЖ при их применении в процессе резания на станке.

Таким образом, в данной работе необходимо провести и станочные, и лабораторные испытания. По полученным результатам следует установить зависимость

шероховатости от показателей эффективности СОЖ, измеряемых при лабораторных испытаниях. В результате будет разработана методика прогнозирования ше-

Станочные испытания

Исследование влияния СОЖ на шероховатость при сверлении проводилось на координатно-расточном станке модели 2431СФ10 с ЧПУ МАЯК-610. Настройка на операцию представлена на рис. 1.

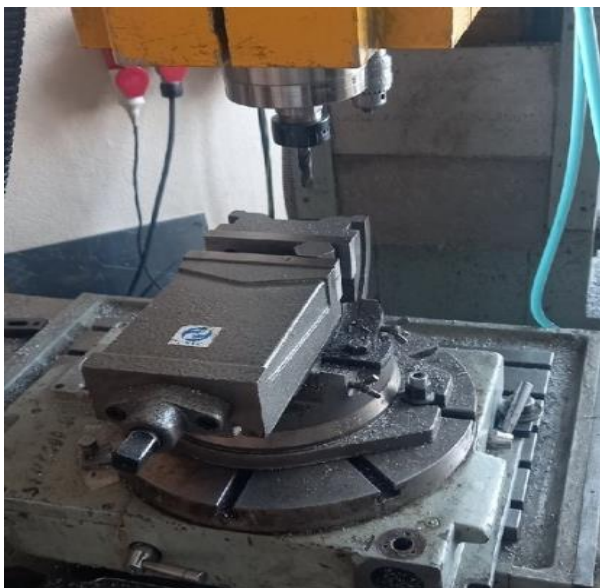


Рис. 1. Настройка на сверлильную операцию на станке 2431СФ10
Fig. 1. Adjustment for drilling operation on the machine 2431SF10

Лабораторные испытания

Одним из важных физических свойств СОЖ, определяющих их эксплуатационные свойства, является их плотность.

К функциональным действиям СОЖ, которые они проявляют при резании, согласно принятой теории, относятся смазочное, охлаждающее, моющее диспергирующее (в основе которого лежит эффект П.А. Ребиндера) и демпфирующее.

Основные функциональные действия СОЖ – смазочное и охлаждающее. Из данных действий на характер получаемой поверхности в большей степени влияет смазочное, так как именно оно определяет коэффициент трения между трущимися поверхностями и адгезионное взаимодей-

роховатости поверхности для исследованных условий сверления по измеренным показателям эффективности СОЖ.

В качестве материала-представителя низколегированных сталей для обрабатываемой заготовки был принята сталь 38ХНЗМФА. При проведении испытаний применялось твердосплавное сверло *GUHRING* 516 диаметром 10 мм. Режимы обработки, определявшиеся по рекомендациям каталогов, для всех опытов использовались следующие: частота вращения $n = 1000$ об/мин (скорость резания $V = 31,42$ м/мин), подача $S = 0,05$ мм/об.

Испытания проводились с применением 5% растворов водных СОЖ различных марок, которые были пронумерованы: СОЖ №1, СОЖ №2, СОЖ №3, СОЖ №4.

Подача СОЖ в зону резания производилась методом распыления, что обеспечивало минимальное и достаточное количество для реализации всех функциональных действий.

Измерения шероховатости поверхности каждого полученного отверстия производились 10 раз, после чего отбрасывались ошибочные значения и рассчитывалось среднее. При этом применялся портативный профилометр *MarSurf PS1*.

ствие между материалами инструмента и обрабатываемой заготовки.

Поэтому в лабораторных исследованиях данной работы было решено установить плотности применяемых растворов СОЖ и их смазочное действие.

Измерение плотностей СОЖ. Экспериментальная оценка плотностей испытываемых растворов СОЖ производилась с помощью весов *AND DL-200* с дискретностью 0,001 г. Внешний вид применявшихся весов представлен на рис. 2.

При испытаниях каждая СОЖ заливалась в мерную емкость объемом 120 мл. Емкость с СОЖ устанавливалась на весы и выдерживалась 30 секунд для устранения влияния колебаний. После того как вели-

чина массы прекращала колебаться, ее значение записывалось в таблицу. Затем рассчитывались значения плотности каждой марки СОЖ по следующей формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m – масса СОЖ, кг; V – объем СОЖ, м³.



Рис. 2. Весы AND DL-200
Fig. 2. Scales AND DL-200

Оценка смазочного действия СОЖ.

Исследования смазочного действия СОЖ выполнялись на машине трения ИИ5018.

Испытания проводились по схеме «колодка-ролик», представленной на рис. 3.

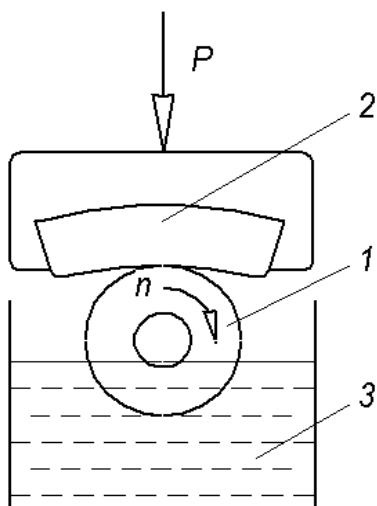


Рис. 3. Схема определения коэффициента трения на машине трения ИИ5018:

1 – ролик; 2 – колодка; 3 – СОЖ

Fig. 3. Scheme for determining the coefficient of friction on the friction machine ИИ5018: 1 – roller; 2 – pad; 3 – cutting fluid

Принцип действия машины заключается в истирании пары образцов, прижатых друг к другу с силой P . В процессе трения на ролике (диске) измеряется момент трения, который пересчитывается в действительный коэффициент трения по формуле:

$$\mu = \frac{2M \cdot 10^3}{P \cdot D}, \quad (2)$$

где M – момент трения, Н·м; P – прикладываемая нагрузка, Н; D – диаметр ролика, мм.

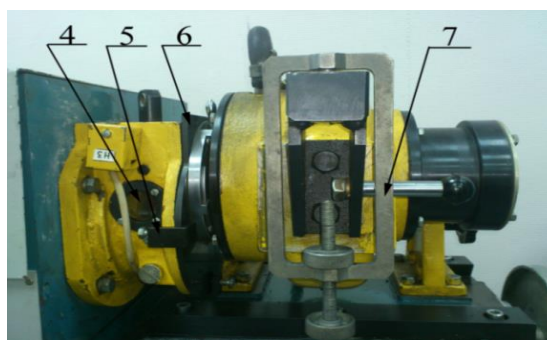
Испытательная камера (рис. 4) служит для выполнения экспериментов с образцами в жидкой среде. Испытания проводились следующим образом. Ролик устанавливался на валу через втулку 2 (рис. 4) и фиксировался гайкой. На вал каретки 3 перед установкой верхнего образца крепилась крышка 6. На неподвижном валу каретки устанавливался образец «колодка» в держателе и фиксировался гайкой. Каретка сдвигалась в левое положение, плавно опускалась до соприкосновения образцов, фиксировалась и крепилась крышка камеры 6 струбцинами 5, после чего через отверстие в верхней части камеры заливалась испытываемая СОЖ до уровня 1-1 так, чтобы ролик был погружен в СОЖ на глубину его радиуса. Уровень СОЖ контролировался через окно 4. При этом контакт колодки и ролика происходил в средней части колодки. Затем включалось вращение ролика, и колодка прижималась к ролику посредством механизма нагружения 7 с силой P , которая контролировалась с помощью указателя усилия, расположенного на приборной стойке. После этого определялись максимальное и минимальное значения момента трения. По имеющимся данным рассчитывался средний коэффициент трения.

Перед каждым экспериментом образцы и испытательную камеру очищались этиловым спиртом, ГОСТ 18300-87.

Определение среднего коэффициента трения μ производилось при условиях, близких к условиям станочных испытаний. Сила давления на колодку $P = 1000$ Н, частота вращения ролика $n = 250$ об/мин (при испытаниях на ролике из сплава 38ХНЗМФА). Диаметр ролика составлял 40 мм.



а)



б)

Рис. 4. Испытательная камера: 1 – испытательная камера; 2 – ролик; 3 – каретка;
4 – смотровое окно; 5 – струбцина; 6 – крышка; 7 – механизм нагружения
Fig. 4. Test chamber: 1 – test chamber; 2 – roller; 3 – carriage; 4 – viewing window;
5 – clamp; 6 – cover; 7 – loading mechanism

Результаты

Результаты станочных и лабораторных испытаний представлены в табл. 1-3. Поскольку шероховатость определяется по результатам 10 измерений, для данного

показателя также были рассчитаны величины отклонений от среднего значения, которые приведены в табл.1.

Шероховатости поверхностей отверстий, полученные с различными СОЖ

Таблица 1

Table 1

The roughness of the holes surfaces obtained with various cutting fluids

Марка СОЖ	$Ra_{ср}$, мкм	Отклонение от $Ra_{ср}$, мкм	Отклонение от $Ra_{ср}$, %
СОЖ №1	0,27	0,09	33,33
СОЖ №2	0,515	0,265	51,46
СОЖ №3	0,445	0,155	34,83
СОЖ №4	0,36	0,14	38,89

Таблица 2

Плотности 5 % растворов СОЖ

Table 2

The densities of 5 % cutting fluids solutions

Марка СОЖ	ρ , кг/м ³
СОЖ №1	945,29
СОЖ №2	953,43
СОЖ №3	940,36
СОЖ №4	945,14

Таблица 3

Коэффициенты трения, полученные с различными СОЖ

Table 3

The friction coefficients obtained with various cutting fluids

Марка СОЖ	μ
СОЖ №1	0,09
СОЖ №2	0,082
СОЖ №3	0,119
СОЖ №4	0,119

Для определения зависимости получаемой шероховатости от установленных в лабораторных условиях параметров и дальнейшей разработки методики прогнозирования были построены графики, которые бы аппроксимированы, и выведены эмпирические формулы. Выведение физических формул является затруднительным в силу большого количества параметров, влияющих на процесс резания.

Были установлены три зависимости шероховатости: от плотности СОЖ, от коэффициента трения с применением СОЖ при испытаниях на машине трения, а также от двух этих параметров одновременно.

Подстановка в полученные формулы значений переменных позволила установить, что наибольшую точность расчета дает формула зависимости ше-

роховатости от коэффициента трения, поэтому она и была принята для разра-

ботки методики выбора СОЖ. Данная формула имеет следующий вид

$$Ra_{cp} = 951,1883\mu^2 - 194,2294\mu + 10,0460. \quad (3)$$

В результате подстановки значений коэффициента трения в формулу (3) было установлено, что отклонение результатов от экспериментальных данных не превы-

шает 11,8 %. Это меньше отклонений, полученных при измерениях шероховатости, которые, согласно табл. 1, составляют от 33,33 до 51,46 %.

Заключение

Исследования показали, что основной характеристикой СОЖ, влияющей на шероховатость поверхности при сверлении является коэффициент трения. Это позволяет рекомендовать следующую методику по рациональному выбору СОЖ:

1. Исследуемую СОЖ испытать на машине трения по методике, приведенной выше (или аналогичной);
2. Рассчитать коэффициент трения μ ;
3. Рассчитать прогнозируемую шероховатость Ra_{cp} , мкм, подставив полученное значение коэффициента трения μ в формулу (3);
4. Если прогнозируемая шероховатость соответствует требованиям чертежа

детали, применение данной СОЖ целесообразно.

Отклонение результатов расчетов по установленной эмпирической зависимости от экспериментальных данных не превышает 11,8 %, что соответствует требованиям.

Следует отметить, что получаемые значения будут адекватны для сверления твердосплавным сверлом заготовки из стали 38ХНЗМФА (или ее заменителей с близкими физическими свойствами) с представленными в статье режимами: скорость резания $V = 31,42$ м/мин, подача $S = 0,05$ мм/об. Получение зависимостей для других условий является предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гимадеев М.Р., Давыдов В.М., Никитенко А.В., Стельмаков В.А. Получение заданных параметров шероховатости при сверлении и фрезеровании цилиндрических отверстий. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*. 2016;1(1(25)):66-72.
2. Гимадеев М.Р. Получение параметров шероховатости при сверлении и фрезеровании цилиндрических отверстий. *Информационные технологии XXI века* : Сборник научных трудов / Ответственный за выпуск Е. А. Шеленок. – Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2016. – С. 358-364.
3. Гимадеев М.Р. Обеспечение заданных параметров шероховатости при сверлении и фрезеровании цилиндрических отверстий. *Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования* / Под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 150-161.
4. Савилов А.В., Пятых А.С. Влияние вибраций на точность и качество поверхности отверстий при сверлении. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013;12(83):103-111.
5. Умеров Э.Д. Триботехнологическая эффективность масляной СОТС с присадкой монтмориллонита при сверлении титанового сплава. *Вестник современных технологий*. 2017;3(7):56-61.
6. Маршалов М.С., Латышев В.Н., Новиков В.В. [и др.] Изучение влияния СОТС с присадками ЖК-соединений на сверление и развертывание. *Металлообработка*. 2011;6(66):7-10.
7. Патент № 2708084 С1 Российская Федерация, МПК С10М 169/06, С10М 101/04, С10М 129/08. Смазочно-охлаждающее технологическое средство для механической обработки металлов : № 2019106180 : заявл. 04.03.2019 : опубл. 04.12.2019 / Т. Ю. Степанова, В. А. Полетаев, И. И. Ведерникова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» (ИГХТУ).

REFERENCES

1. Gimadeev MR, Davidov VM, Nikitenko AV, Stelmakov VA. Obtaining the specified roughness parameters when drilling and milling cylindrical holes. *Scholarly Notes of Komsomolsk-on-Amur State Technical University*. 2016;1(1(25)):66-72.
2. Gimadeev MR. Obtaining roughness parameters during drilling and milling of cylindrical holes. In: Shelenok EA, editor. *Information technologies of the XXI century: Collection of scientific papers*. Khabarovsk: Pacific State University; 2016. p. 358-364.
3. Gimadeev MR. Ensuring the specified roughness parameters when drilling and milling cylindrical holes. In: Gulyaev GYu, editor. *Fundamental foundations of innovative development of science and education*. Penza: Nauka I Prosveshchenie; 2018. p. 150-161.
4. Savilov AV, Pyatykh AS. The effect of vibrations on the accuracy and quality of the surface of holes during drilling. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2013;12(83):103-111.
5. Umerov ED. Tribotechnological efficiency of oil coolants with montmorillonite additive during drilling of titanium alloy. *Journal of Modern Technologies*. 2017;3(7):56-61.
6. Marshalov MS, Latyshev VN, Novikov VV. Study of the influence of coolants with liquid additives on drilling and development. *Metallobrabotka*. 2011;6(66):7-10.
7. Stepanova TYu, Poletaev VA, Vedernikova II. Patent No. 2708084 C1 Russian Federation, IPC C10M 169/06, C10M 101/04, C10M 129/08. Lubricating and cooling technological means for mechanical treatment of metals. 2019 Dec 04.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ражковский, А. А. Влияние СОЖ на момент трения при обработке резанием стали У8 / А. А. Ражковский, А. Г. Кисель, А. А. Федоров, Д. С. Реченко // Омский научный вестник. – 2013. – № 2(120). – С. 111-114.
2. Кисель, А. Г. Повышение эффективности токарной обработки нежестких заготовок на основе рационального выбора СОЖ : специальность 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кисель Антон Геннадьевич ; Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск, 2018. – 175 с.
3. Кисель, А. Г. Определение коэффициента трения пары "алюминий Д16 - твердый сплав Т15К6" с применением смазочно-охлаждающих жидкостей марок СП-3, СП-6 и WD-6 / А. Г. Кисель, А. А. Ражковский, Д. С. Реченко [и др.] // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2013. – № 17. – С. 49-50.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Razhkovsky AA, Kisel AG, Fedorov AA, Rechenko DS. The influence of coolant on the friction torque when cutting steel U8. *Omsk Scientific Bulletin*. 2013;2(120):111-114.
2. Kisel AG. Improving the efficiency of turning of non-rigid workpieces on the basis of rational choice of coolant [dissertation]. [Ulyanovsk (RF)] Ulyanovsk State Technical University; 2018.
3. Kisel AG, Razhkovsky AA, Rechenko DS. Determination of the friction factor of the pair "aluminum D16 - hard alloy T15K6" with the use of lubricants of SP-3, SP-6 and WD-6. *Novie Materiali I Technologii v Mashinostroenii*. 2013;17:49-50.

Информация об авторах:

Михайленко Степан Викторович – ассистент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ОмГТУ, тел. +7(3812)65-24-39, e-mail: stepan_01.01@mail.ru.

Mikhailenko Stepan Viktorovich – Assistant of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at Omsk State Technical University, phone: +7(3812)65-24-39, e-mail: stepan_01.01@mail.ru.

Кисель Антон Геннадьевич – к.т.н., доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ОмГТУ, тел. +7(3812)65-24-39, e-mail: kisel1988@mail.ru.

Kisel Anton Gennadievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at Omsk State Technical University, phone: тел. +7(3812)65-24-39, e-mail: kisel1988@mail.ru.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**The authors declare no conflicts of interests.
Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 15.08.2022; одобрена после рецензирования 22.09.2022; принята к публикации 21.11.2022. Рецензент – Хандожко А.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, главный редактор журнала «Транспортное машиностроение»

The article was submitted to the editorial office on 15.08.2022; approved after review on 22.09.2022; accepted for publication on 21.11.2022. The reviewer is Khandozhko A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, Editor-in-Chief of the journal *Transport Engineering*.