

## Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 621.88  
doi: 10.30987/2782-5957-2022-6-4-10

### ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ

Александр Николаевич Прокофьев<sup>1✉</sup>, Александр Егорович Стешков<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> pan87066@mail.ru

<sup>2</sup> тел.: 8(915)530-61-99

#### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы обработки внутренних резьб деформированием с использованием раскатников и комбинированных метчиков. Внутренние резьбы до недавнего времени нарезались метчиками, что сопровождается рядом существенных недостатков, которые в наибольшей степени проявляются при получении резьбовых отверстий в высокопластичных материалах. В этих случаях целесообразно обрабатывать резьбы пластическим деформированием бесстружечными метчиками. Рассмотрены отдельные варианты конструкций

инструментов для повышения качества внутренней резьбы деформированием и комбинированной обработкой, приведены расчетные зависимости для определения параметров инструментов и подготовки отверстий. Новизной работы являются особенности конструкции и геометрии раскатников и комбинированных метчиков для обработки деформированием внутренних резьб.

**Ключевые слова:** резьба, методы, обработка, деформирование.

Ссылка для цитирования:

Прокофьев А.Н. Прогрессивные методы обработки внутренних резьб / А.Н. Прокофьев, А.Е. Стешков // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 56. – С. 4–10. doi: 10.30987/2782-5957-2022-6-4-10.

Original article  
Open Access Article

### ADVANCED METHODS OF MACHINING INTERNAL THREADS

Aleksander Nikolaevich Prokofiev<sup>1✉</sup> Aleksander Egorovich Steshkov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> pan87066@mail.ru

<sup>2</sup> phone: 8(915)530-61-99

#### Abstract

The paper deals with the problems of machining internal threads by deformation with the use of burnishers and combined taps. Internal threads were cut with taps until recently, which is accompanied by a number of significant drawbacks, and they are most evident when obtaining threaded holes in highly plastic materials. In these cases, it is advisable to machine threads by plastic deformation with forming taps. Some variants of tool structures for improving the quality of

the internal thread by deformation and combined machining are considered, and even dependencies for defining the parameters of tools and hole preparation are given. The novelty of the work is the features of the structure and geometry of the burnishers and combined taps for machining by the deformation of internal threads.

**Key words:** thread, methods, machining, deformation.

Reference for citing:

Prokofiev AN, Steshkov AE. Advanced methods of machining internal threads Transport Engineering. 2022;6:4–10. doi: 10.30987/2782-5957-2022-6-4-10.

## Введение

Одними из наиболее распространенных неподвижных соединений деталей машин являются резьбовые соединения, которые подразделяются на две группы: болт (шпилька) – гайка и шпилька – резьба в корпусной детали. Наружные резьбы на стандартных резьбовых деталях: винтах, болтах и шпильках, в основном получают с использованием различных методов накатывания, которые позволяют обеспечить достаточную точность, низкую шероховатость поверхности резьбы, а также повышенную прочность витков. Получение внутренней резьбы, в основном, осуществляется с использованием метчиков различных конструкций: в гайках – гаечными метчиками, в резьбовых отверстиях корпусов машинно-ручными. Применение гаечных метчиков (в связи с их конструктивными особенностями – большая длина режущей части), в основном обеспечивает требуемое качество резьбовой поверхности, однако в высокопластичных материалах может происходить налипание металла во впадинах резьбы метчика, что, в свою очередь, приводит к задирам в резьбе, а в некоторых случаях может вызвать поломку режущего инструмента. Использование машинно-ручных метчиков для нарезания резьбы также может вызывать определен-

ные недостатки, как при изготовлении резьбы, так и при ее эксплуатации [1, 3, 10]:

а – достаточно проблематично обеспечить высокую точность резьбы с высокой надежностью;

б – удаление стружки из нарезанных метчиком отверстий вызывает определенные трудности;

в – при изготовлении точных резьб появляется необходимость использования комплекта метчиков, что значительно увеличивает трудоемкость изготовления;

г – снижение усилия затяжки в соединении при воздействии знакопеременных нагрузок при эксплуатации вследствие неравномерности распределения нагрузки по виткам резьбового соединения, причиной которого является конусность резьбы (на первых двух-трех витках), вызванная подрезанием боковых сторон профиля витка под действием влияния осевых сил при резьбонарезании метчиком;

д – вероятность появления схватывания частиц металла наружной и внутренней резьбы при высоких усилиях затяжки («заедание» в резьбовом соединении), вызванная низкой шероховатостью поверхности боковых сторон витка резьбы.

## Конструкция и область применения раскатников

Наибольшие сложности возникают при получении такими метчиками резьб в высокопластичных материалах – низкоуглеродистых сталях, алюминиевых сплавах, коррозионностойких сталях и т.п., появлению срывов витков резьбы. Избежать вышеуказанных недостатков позволяет использование для получения внутренних резьб пластического деформирования [2, 7, 9] посредством бесстружечных метчиков (раскатников), а также чистовой обработки комбинированными режуще-деформирующими метчиками.

Раскатники (бесстружечные метчики) [4, 6] применяют для получения внутренних резьб в материалах высокой пластичности с относительным удлинением  $\geq 10\%$  (низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,3% и  $\sigma_{\text{в}} \leq 500$  МПа, некото-

рые пластичные коррозионностойкие стали, медь, латунь, пластичные бронзы, алюминиевые деформируемые и литейные сплавы, цинковые и магниевые сплавы и другие материалы).

Обработка резьб раскатниками производится на тех же станках, что и нарезание метчиками с использованием стандартной технологической оснастки (резьбонарезные патроны, копиры и т.д.).

При обработке раскатниками виток резьбы в обрабатываемой детали формируется за счет пластического перераспределения металла в зоне воздействия деформирующих выступов инструмента. Диаметр отверстия под резьбу  $D_0$  при этом немного больше среднего диаметра резьбы  $D_2$ , вершина витка формируется из материала, вытесняемого вершинами витков де-

формирующих выступов раскатника на его заборной части.

в сравнении с другими способами резбонарезания раскатники обеспечивают:

а - стабильное получение резьб любой точности, так как при этой обработке отсутствует разбивка резьбы;

б - снижение шероховатости;

в - упрочнение материала витков резьбы и впадин, что повышает прочность резьбового соединения;

г - увеличение скорости обработки до двух раз.

Кроме этого отпадает необходимость в удалении стружки из отверстий. Конструкция раскатника менее трудоёмка в изготовлении, так как исключается ряд операций: фрезерование стружечных канавок, затылование заборного конуса, затачивание по передней поверхности. Как и метчики, раскатники бывают машинно-ручные и гаечные с прямым или изогнутым хвостовиком. Обработку раскатниками выполняют на том же оборудовании, что и метчиками. В качестве смазывающе-охлаждающих технологических сред (СОТС) при обработке резьб в цветных металлах и сплавах рекомендуют водные эмульсии с повышенным до 10...15 % содержанием эмульсола. При обработке в сталях применяют масляные СОТС типа МР-1, МР-4, ОС -1 и другие. Общий вид конструкции машинно-ручного раскатника приведен на рис. 1.

Рабочая часть 1 имеет полнопрофильную коническую резьбу на длине заборного конуса  $l_1$  и цилиндрическую резьбу на калибрующей части  $l_2$ . В поперечном сечении рабочая часть представляет собой затылованный многогранник с числом граней  $z$  и величиной затылования  $k$ . Число граней  $z$  принимают равным 3 или 4 при диаметре  $d_{a0}$  меньше 6 мм;  $z = 6$  - при  $d_{a0}$  от 6 до 30 мм и  $z = 8$  или 9 при  $d_{a0} > 30$  мм. В качестве затыловочной кривой чаще всего используют спираль Архимеда. Величину затылования  $k$  определяют по формуле:

$$k = \frac{\pi d_{a0}}{2z} \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

где  $d_{a0}$  - наружный диаметр резьбы раскатника;  $\alpha = 6...7^\circ$  - угол спада затыловочной кривой.

Для плавного скругления деформирующих выступов предусматривают цилиндрическую площадку шириной  $c = 0,05P$  (рис.1, Б). Шлифование конической и цилиндрической резьб с затылованием производят за одну резьбошлифовальную операцию. После резьбошлифования резьбу рабочей части тщательно полируют особомелкозернистой пастой до шероховатости  $R_z = 0,6...0,4$  мкм.

Во впадинах граней вышлифовывают смазочные канавки шириной 2...5 мм и глубиной  $h_k$ , равной высоте профиля резьбы. Наружный диаметр  $d_{a0} = d + 0,12 \cdot P$ , где  $d$  - номинальный диаметр резьбы,  $P$  - шаг резьбы.

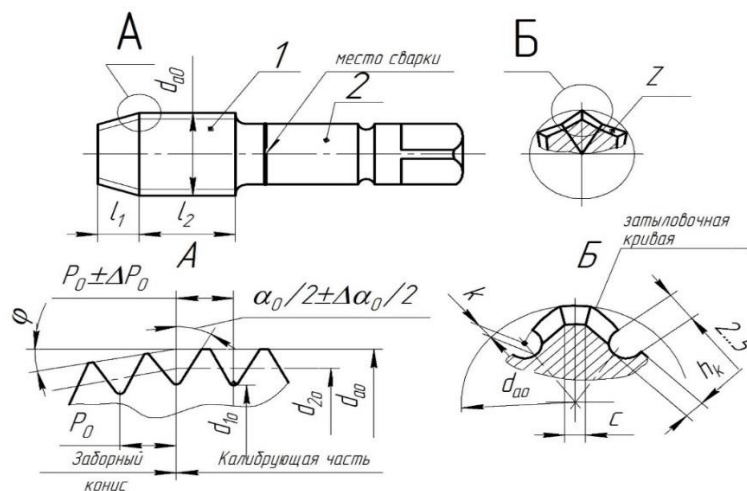


Рис. 1. Общий вид бесстружечного метчика: 1 - рабочая часть; 2 - хвостовик  
Fig. 1. General view of the handling tap: 1 - working part; 2 - shank

Длину заборного конуса  $l_1$  определяют по зависимости:

$$l_1 = \frac{d_{a0} - D_0 + 0,25P}{2tg\varphi}, \quad (2)$$

где  $D_0$  – диаметр отверстия под резьбу;  $\varphi$  – угол наклона заборного конуса ( $\varphi = 10^0$  – для машинно-ручных и  $\varphi = 1^030'$  – для гаечных раскатников).

Длину калибрующей части принимают  $l_2 = (8...10) \cdot P$ . Резьбу калибрующей части (как и у метчиков) шлифуют с обратной конусностью 0,04...0,06 мм на 100 мм длины. Материал рабочей части – сталь Р6М5, HRC 63...66.

Конструкция хвостовика 2 такая же, как и у метчиков соответствующего типа и размера. Материал хвостовика – сталь 45Х, HRC 42...45.

Внутренний диаметр резьбы раскатника  $d_{10}$  выбирают в зависимости способа раскатывания: а) способ «открытого контура», при котором вершина витка при деформации металла формируется свободно и  $d_{10}$  не участвует в работе; б) способ «замкнутого контура», при котором вершина формируемого витка образуется площадью  $a$  на дне впадины резьбового витка раскатника.

Расчетный диаметр отверстия (мм) определяют по формуле:

$$D_{\text{орасч}} = \sqrt{d_{a0}^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{2d_{a0}}{3Ptg\alpha} + \frac{d_{a0}}{Ptg\alpha} \right) + D_1^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{2D_1}{3Ptg\alpha} - \frac{d_{20}}{Ptg\alpha} \right)}, \quad (3)$$

где  $d_{a0}$  и  $d_{20}$  – наружный и средний диаметры раскатника,  $D_1$  – номинальный внутренний диаметр резьбы,  $P$  – шаг резьбы,  $\alpha$  – угол профиля резьбы.

Расчётное значение  $D_{\text{орасч}}$  является пограничным. При обработке по способу «открытого контура»  $D_0$  будет большим на величину  $TD_0$ , при «замкнутом контуре»  $D_0$  будет меньше в пределах  $TD_0$ . Допуск

$TD_0$  принимают равным  $(0,05...0,07)P$ . Отверстия под резьбу обрабатывают свёрлами повышенного класса точности (класс А<sub>1</sub>).

Значения диаметров резьб и рекомендуемые размеры свёрл при обработке «открытым и замкнутым контуром» некоторых метрических резьб приведены в табл. 1.

Таблица 1

Диаметры отверстий (мм) под резьбу при раскатывании

Table 1

Hole diameters (mm) for the thread when rolling

Диаметр резьбы	Шаг резьбы	Точность резьбы	$D_{\text{орасч}}$	Открытый контур		Замкнутый контур	
				+ES <sub>D0</sub>	$d_c$	-EI <sub>D0</sub>	$d_c$
М4	0,7	4H,5H	3,62	+0,040	3,6	-0,040	3,55
		6H	3,63				
М5	0,8	4H,5H	4,56	+0,045	4,55	-0,045	4,50
		6H	4,57				
М6	1,0	4H,5H	5,45	+0,050	5,45	-0,050	5,40
		6H	5,47				
М8	1,25	4H,5H	7,31	+0,062	7,30	-0,062	7,00
		6H	7,32				
М10	1,5	4H,5H	9,16	+0,075	9,15	-0,075	9,10
		6H	9,18				

### Качество обработки при раскатывании

При раскатывании резьб полностью отсутствует «разбивка» (увеличение приведенного среднего диаметра резьбы нарезаемого отверстия в сравнении с приведенным средним диаметром метчика),

наблюдающаяся при нарезании резьб метчиками. Изменения приведенного среднего диаметра раскатанной резьбы по глубине резьбового отверстия не превышает 0,01 мм, что можно считать погрешностью из-

мерения. Это относится к резьбам во всех приведенных выше материалах. Отсутствие конусности в резьбе (что характерно для резьб, нарезанных метчиками) способствует более равномерному распределению нагрузки по виткам в резьбовом соединении, что увеличивает его прочность. Усилие обработки (крутящий момент  $M_{кр}$ , создаваемый станком) при обработке способом «открытого контура» для некоторых особовысокопластичных материалов может быть меньше, чем при нарезании метчиком. При обработке по «замкнутому контуру»  $M_{кр}$  увеличивается в 2...3 раза. Но так как прочность раскатника в несколько раз выше прочности метчика, поломки инструмента не наблюдаются.

Шероховатость боковых поверхностей раскатанной резьбы в несколько раз ниже, чем нарезанной метчиком. При соблюдении приведенных выше технологи-

ческих рекомендаций получены значения параметров шероховатости боковых сторон профиля раскатанных резьб представлены в табл. 2.

Получаемая в резьбовых отверстиях шероховатость контактируемых боковых сторон профиля в резьбовых соединениях близка к оптимальной, устраняющей заедание при высоких силах предварительной затяжки. При этом снижается возможность уменьшения силы затяжки из-за смятия микронеровностей при переменных нагрузках на резьбовом соединении.

Стойкость раскатников значительно выше стойкости метчиков. Износ происходит по вершинам витков. Критерием износа считают износ (скругление) вершин первых калибрующих витков до состояния, когда проходной резьбовой калибр не ввинчивается в отверстие.

Таблица 2

Шероховатость поверхности боковых сторон профиля резьбы

Table 2

*Surface roughness of the sides of the thread profile*

Обрабатываемый материал	Сталь 1X18H9T	Сталь 20	Алюминиевый сплав АЛ9	Алюминиевый сплав Д1	Медь М3	Латунь
$R_z$ , мкм	5,0...6,0	4,5...5,0	3,7...4,1	1,0...1,5	3,0...3,9	2,9...3,1

Раскатники рекомендуют применять для резьб с шагом до 2,0...2,5 мм в стальных деталях и с шагом до 5 мм в деталях из цветных сплавов. При больших значениях шага  $P \geq 3$  мм толщина стенки отверстия должна быть не менее диаметра резьбы.

Высокое качество раскатанных резьб, повышения их прочности способствует повышению надежности и долговечности резьбовых соединений.

Для резьб с шагом  $P \geq 2,5$  в материалах средней и низкой пластичности рекомендуется способ чистовой обработки резьбы комбинированным режуще-деформирующим метчиком после предварительно нарезания черновым метчиком.

Комбинированный режуще-деформирующий метчик (метчик-раскатник) имеет чередующие режущие лезвия и деформирующие выступы. Режущие лезвия вырезают часть вытесняемого деформирующими выступами металла и создают пространство для его пластического перемещения, что значительно уменьшает усилия деформации. Резьбы обрабатывают комплектом из двух метчиков на универсальных станках и станках с ЧПУ (токарные, фрезерно-сверлильно-расточные и др.). Обрабатываемые материалы – конструкционные углеродистые и легированные стали с  $\sigma_b = 500...800$  МПа (кроме коррозионностойких и жаропрочных), ковкие чугуны, бронзы.

### Технологические возможности использования комбинированных метчиков

Конструкция комбинированного метчика [5, 8] для обработки резьб в глу-

хих отверстиях показана на рис. 2. Отличительной особенностью конструкции

данного метчика является то, что его рабочее перо имеет режущий зуб 1 и следующий за ним деформирующий выступ 2. Задачей режущих зубьев является срезание части вытесняемого металла в нижней зоне резьбовых впадин и образование пространства для облегчения пластического течения металла при работе деформирующих выступов.

Материал рабочей части – сталь Р6М5 или Р6М5К5, твердость  $HRC\epsilon$  63...66. Шероховатость резьбы деформирующих выступов по всему профилю и режущих зубьев по боковым сторонам профиля  $Ra = 0,16$  мкм. Как и для бесстружечных метчиков, резьбу деформирующих выступов полируют. Шероховатость

передней и задней поверхностей режущего зуба  $Ra = 0,32$  мкм. Рекомендуемые скорости обработки и СОЖ принимают как для обычных режущих метчиков.

Резьбы с шагом  $P \geq 4$  мм обрабатывают комплектом метчиков из трех штук. В этом случае принимают первый метчик в комплекте стандартным, размеры второго и третьего определяют по приведенной выше методике.

При обработке резьб в гайках больших диаметров можно совмещать в одном инструменте черновую рабочую часть и режуще-деформирующую. Такие конструкции известны под названием «метчик-протяжка».

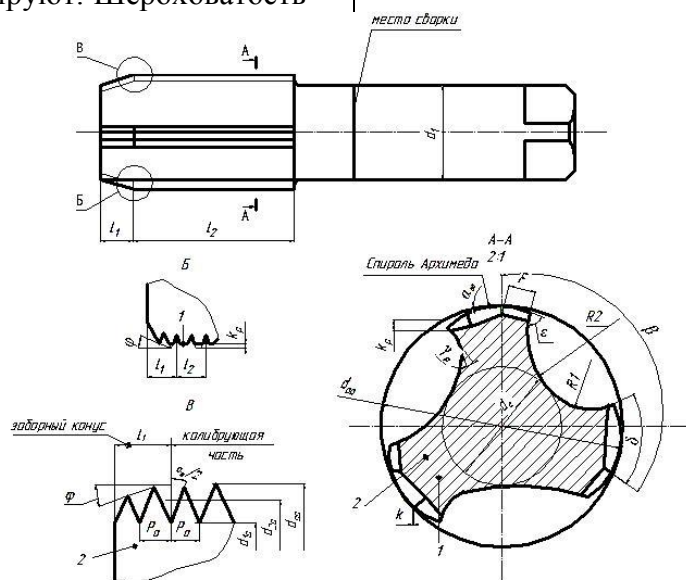


Рис. 2. Конструкция комбинированного режущего-деформирующего чистового метчика: 1 – режущий зуб; 2 – деформирующий выступ  
 Fig. 2. General view The design of the combined cutting-deforming chisty tap: 1 – cutting tooth; 2 – a deform protrusion.

## Заключение

1. Предложенные варианты резьбообразующих инструментов, теоретические установленные геометрические параметры конструкции, технологические режимы позволяют гарантировано обеспечивать качество внутренней резьбы высокой точ-

ности в деталях, выполненных из широкой гаммы материалов.

2. Для обеспечения резьбой своих эксплуатационных свойств вполне достаточно осуществлять контроль параметра шероховатости  $Ra$ .

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сулов А.Г. и др. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т.2. М.: Машиностроение, 2014. 444 с.
2. Сулов А.Г. и др. Справочник технолога: справочник. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.

3. Шешков А.Е., Прокофьев А.Н. Технологическое обеспечение качества резьбовых соединений. Научные технологии в машиностроении. 2012. №9(15). С14-15.
4. Прокофьев А.Н. Технологическое обеспечение качества резьбы отдельными методами. Научные технологии в машиностроении. 2020. №11(113). С.3-7.

5. Берберов С.А., Блюминштейн В.Ю., Болдырев А.И. и др. Справочник по процессам поверхностного пластического деформирования /под ред. С.А. Зайдеса. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. 504 с.
6. Суслов А.Г., Федоров В.П. и др. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения. М.: Инновационное машиностроение, 2022. 552 с.

#### REFERENCE

1. Suslov AG. Technology and tools of finishing and strengthening machining of parts by surface plastic deformation: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 2014.
2. Suslov AG. Engineer's handbook: handbook. Moscow: Innovatsionnoe Mashinostroenie; 2019.
3. Steshkov AE, Prokofiev AN. Providing manufacturing quality of threaded connections. Science intensive technologies in mechanical engineering. 2012;9(15):14-15.
4. Prokofiev AN. Technological support of thread quality with single methods. Science intensive technologies in mechanical engineering. 2020;11(113):3-7.
5. Berberov SA, Bluminstein VYu, Boldyrev AI. Handbook of surface plastic deformation processes.

#### Информация об авторах:

**Прокофьев Александр Николаевич** - доцент, доктор технических наук, тел. 8(919)199-13-11, профессор кафедры «Технология машиностроения», почетный работник ВПО РФ.

#### Information about the authors:

**Prokofiev Aleksander Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology at Bryansk State Technical University, Honorary Worker of Higher Pro-

7. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание. М.: Машиностроение, 2009. 312 с.
8. Стешков А.Е. Проектирование инструментов. Брянск: Изд-во Брянского ГТУ, 2009. 228 с.
9. Дальский А.М. и др. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х томах. Т.2. М.: Машиностроение-1, 2001.944 с.
10. Прокофьев А.Н. Технологическое обеспечение прочности и износостойкости резьбовых соединений. Справочник. Инженерный журнал. Инженерия поверхности. 2006. №4. С.21-24.

In: Zaides SA, editor. Irkutsk: IRNITU Publishing House; 2021.

6. Suslov AG, Fedorov VP. Fundamentals of technological support and reliability improvement of mechanical engineering products. Moscow: Innovatsionnoe Mashinostroenie; 2022.
7. Kirichek AV, Afonin AN. Threading. Moscow: Mashinostroenie; 2009.
8. Steshkov AE. Designing tools. Bryansk: Publishing House of BSTU; 2009.
9. Dalsky AM. Handbook of a machine-building engineer: handbook. Moscow: Mashinostroenie; 2001.
10. Prokofiev AN. Technological support of strength and wear resistance of threaded connections: handbook. Engineering Journal: Science and Innovation. Surface engineering. 2006;4:21-24.

**Стешков Александр Егорович** - профессор, кандидат технических наук, тел. 8(915)530-61-99, пенсионер.

fessional Education of the Russian Federation, phone: 8(919)199-13-11.

**Steshkov Aleksander Egorovich**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Pensioner, phone: 8(915)530-61-99.

**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 01.02.2022; одобрена после рецензирования 05.04.2022; принята к публикации 23.05.2022. Рецензент – Мокрицкий Б.Я., доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 01.02.2022; approved after review on 05.04.2022; accepted for publication on 23.05.2022. The reviewer is Mokritsky B.Ya, Doctor of Technical Sciences, Professor at Komsomolsk-on-Amur State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.**