

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 665.9.046

doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-13-19

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ВОДОПОЛИМЕРНЫХ ЗАКАЛОЧНЫХ СРЕД

Денис Генрихович Тюленев<sup>1✉</sup>, Владимир Юрьевич Шолом<sup>2</sup>, Алексей Николаевич  
Абрамов<sup>3</sup>, Владимир Сергеевич Жернаков<sup>4</sup>, Дмитрий Федорович Пузырьков<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> «Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института», Уфа, Россия

<sup>1</sup> zavlab@rosoil.ru

<sup>2</sup> rosoil@rosoil.ru

<sup>3</sup> abramov@rosoil.ru

<sup>4</sup> zhvs@mail.rb.ru

<sup>5</sup> rosoil@rosoil.ru

### Аннотация

Целью данной работы являлось разработка и внедрение импортозамещающих водорастворимых закалочных сред «Росойл» для термической обработки металлов.

Приведены сравнительные результаты лабораторных испытаний охлаждающей способности закалочных сред «Росойл» и импортных аналогов. Лабораторные испытания по определению охлаждающей способности закалочных сред проводили

с использованием установки УЗС-2 отечественного производства, позволяющей проводить испытания в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9950, ASTM D6200 - 01 и ASTM D6482 – 06. Описаны результаты опытно-промышленных испытаний и внедрения новых водополимерных закалочных сред «Росойл».

**Ключевые слова:** термообработка, закалочные среды, охлаждающая способность, масла.

Ссылка для цитирования:

Тюленев Д.Г. Результаты разработки и внедрения новых водополимерных закалочных сред / Д. Г. Тюленев, В.Ю. Шолом, А.Н. Абрамов, В.С. Жернаков, Д.Ф. Пузырьков // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 1. – С.13-19. doi: 10.30987/2782-5957-2024-1-13-19.

Original article

Open Access Article

## THE RESULTS OF DEVELOPING AND IMPLEMENTING NEW WATERPOLYMER

Denis Genrikhovich Tyulenev<sup>1✉</sup>, Vladimir Yurievich Sholom<sup>2</sup>, Aleksey Nikolaevich  
Abramov<sup>3</sup>, Vladimir Sergeevich Zhernakov<sup>4</sup>, Dmitry Fedorovich Puzyrkov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Ufa, Russia.

<sup>1</sup> zavlab@rosoil.ru

<sup>2</sup> rosoil@rosoil.ru

<sup>3</sup> abramov@rosoil.ru

<sup>4</sup> zhvs@mail.rb.ru

<sup>5</sup> rosoil@rosoil.ru

### Abstract

The paper objective is to develop and implement import-substituting water-soluble quenching media Rosoil for heat treatment of metals.

Comparative results of laboratory tests of Rosoil quenching media cooling capacity and imported analogues are presented. Laboratory tests to determine the cooling capacity of quenching media were carried out using УЗС-2 domestic installation, which allows test-

ing in accordance with the requirements of international standards ISO 9950, ASTM D6200 - 01 and ASTM D6482 – 06. The results of pilot tests and the introduction of new Rosoil waterpolymer quenching media are described.

**Keywords:** heat treatment, quenching media, cooling capacity, oils.

## Введение

Результаты закалки металлических изделий зависят от правильности выбора режимов и закалочной среды. Наиболее распространенными для закалки стальных изделий получили такие среды, как вода и масло.

В качестве альтернативы стандартно применяемым закалочным средам были разработаны многочисленные полимерные среды на водной основе [11-15], допускающие разную интенсивность охлаждения (от охлаждения в воде до охлаждения в масле) путем варьирования концентрации раствора. Тем не менее, их применение ограничено [16] ввиду недостаточной информации об их охлаждающей способности и поведении при термической обработке.

В качестве альтернативы стандартно применяемым закалочным средам были разработаны многочисленные полимерные среды на водной основе [11-15], допускающие разную интенсивность охлаждения (от охлаждения в воде до охлаждения в масле) путем варьирования концентрации раствора. Тем не менее, их применение ограничено [16] ввиду недостаточной информации об их охлаждающей способности и поведении при термической обработке.

Недостатки масла обусловлены следующими факторами – легкая воспламеняемость (пожароопасность), задымленность в термических цехах, большой расход за счет выноса с садкой; из-за протекания разнообразных химических процессов, приводящих к загустению, загрязнению масел и окислению, ограничивается срок службы и остро стоит проблема регенерации закалочных масел. Кроме того, масло пригорает к поверхности детали и образует налет (пригар) [1].

Один из путей решения данного вопроса – создание закалочных сред на водной основе, охлаждающие свойства которой могут регулироваться концентрацией основного вещества в растворе,

что позволяет получать необходимую скорость охлаждения поверхности и объема детали в заданном диапазоне температур и, соответственно, требуемый уровень механических свойств обрабатываемых деталей.

Водополимерные среды, по сравнению с маслом, улучшают экологическую обстановку и пожаробезопасны. Изменяя концентрацию растворов, можно регулировать скорость охлаждения деталей в широком диапазоне от воды до масла. В России используют как импортные, так и отечественные закалочные среды [2, 3].

В настоящее время известно большое количество закалочных сред на основе водных растворов полимеров, предлагаемых взамен масел. Они, как и масла, обеспечивают низкую скорость охлаждения из-за развитого пленочного кипения (наличие «паровой рубашки»), поэтому и предназначены в первую очередь для закалки легированных сталей [2-7].

К сожалению, на российских предприятиях широко используют импортные водополимерные закалочные среды, такие как «*Feroquench-2000*», «*Feroquench WR*» компании «*PETROFER*» Германия и другие продукты аналогичного назначения, которые поставлялись в Россию вместе с зарубежным оборудованием. Разработка отечественных аналогов водополимерных закалочных сред, особенно в текущий период времени, является актуальной научно-технической задачей.

Кроме этого, отсутствие сравнительных и справочных данных об охлаждающих свойствах разнообразных закалочных сред приводит к тому, что подбор водополимерной закалочной среды в каждом конкретном случае осуществляется методом «проб и ошибок».

В данной статье приводятся результаты работ по разработке и внедрению отечественных аналогов импортных закалочных сред с использованием установки, отечественного производства,

позволяющей проводить испытания в соответствие с требованиями международ-

### Материалы и методы испытаний

Определение охлаждающих характеристик разработанных водополимерных закалочных сред «Росойл-51» и «Росойл-52» в сравнении с импортными аналогами «*Feroquench-2000*» и «*Feroquench WR*» проводили на установке УЗС-2 производства «ХТЦ УАИ» [8-10].

На установке определяли следующие охлаждающие характеристики закалочных сред: максимальную скорость охлаждения, температуру при максимальной скорости охлаждения, скорость охлаждения при 300 °С, время охлаждения до 600 °С, 400 °С, 200 °С и представляли графические

### Результаты и обсуждение

Водополимерная закалочная жидкость «Росойл-52» (ТУ 20.59.59-112-06377289-2001) является аналогом импортной «*Feroquench-2000*», которая широко применяется на различных предприятиях при закалке деталей из углеродистых и легированных сталей и сплавов. Особенности данной закалочной жидкости – высокая скорость охлаждения при температурах наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита (650...550 °С), что исключает его распад на ферритно-цементитную смесь, а также более медленное охлаждение, по сравнению с водой, в интервале температур мартенситного превращения, что уменьшает внутренние напряжения и склонность к образованию закалочных трещин.

Протоколы испытаний с графическими зависимостями «температура-время», «температура-скорость» закалочных сред «Росойл-52» и «*Feroquench-2000*» 10% концентрации, представлены на рис. 1 и 2. Средние значения охлаждающих характеристик закалочных сред приведены в табл. 1.

Результаты лабораторных испытаний показали:

1. Охлаждающие характеристики «Росойл-52» и «*Feroquench-2000*», такие как время охлаждения до 600 °С, 400 °С, 200 °С, температура при максимальной

ных стандартов ISO 9950, ASTM D6200-01 и ASTM D6482-06.

зависимости «температура-время», «температура-скорость».

Опытно-промышленные испытания закалочной среды «Росойл-52» проводились в условиях ООО «Термосталь» (г. Ижевск) при закалке деталей из углеродистых и легированных сталей и сплавов, где ранее применяли «*Feroquench-2000*». Опытно-промышленные испытания «Росойл-51» были проведены в условиях ПАО «Челябинский металлургический комбинат» при термообработке железнодорожных рельсов, где ранее применяли «*Feroquench WR*».

скорости охлаждения, имеют практически равные значения.

2. Максимальная скорость охлаждения (128,58 °С/с) у «Росойл-52» выше, чем у «*Feroquench-2000*» на 25 %. Это позволяет говорить о большей устойчивости аустенитной структуры при закалке с применением «Росойл-52».

3. Скорость охлаждения при 300 °С «Росойл-52» (14,29 °С/с) в среднем ниже на 19 % по сравнению с «*Feroquench-2000*». Более медленное охлаждение «Росойл-52» в интервале температур мартенситного превращения обеспечит минимизацию внутренних напряжений и снижение вероятности трещинообразования у закаливаемых деталей, что особенно важно при закалке высоколегированных сталей, крупных деталей и деталей сложной формы.

5. Учитывая вышеизложенное, следует, что закалочная жидкость «Росойл-52» 10 % концентрации обладает высокой закаливающей способностью, и имеет ряд преимуществ по сравнению с «*Feroquench-2000*» 10% концентрации.

6. Закалочная жидкость «Росойл-52» 10 % концентрации предложена в качестве замены «*Feroquench-2000*» для применения в процессах закалки деталей из углеродистых и легированных сталей и сплавов.

Значения охлаждающих характеристик закалочных жидкостей «Росойл-52» и «Feroquench-2000», 10 % концентрация, температура 40 °С

Table 1

Values of cooling characteristics of Rosoil-52 and Feroquench-2000 quenching fluids, 10 % concentration, temperature 40°C

Вид закалочной жидкости	Время охлаждения, сек			Максимальная скорость охлаждения, °С/с	Температура при максим. скорости охлаждения, °С	Скорость охлаждения при 300 °С, °С/с
	до 600°С	до 400°С	до 200°С			
«Росойл-52»	5,79	8,04	23,31	128,6	630,6	14,29
«Feroquench-2000»	5,73	8,80	21,76	96,22	619,1	17,60

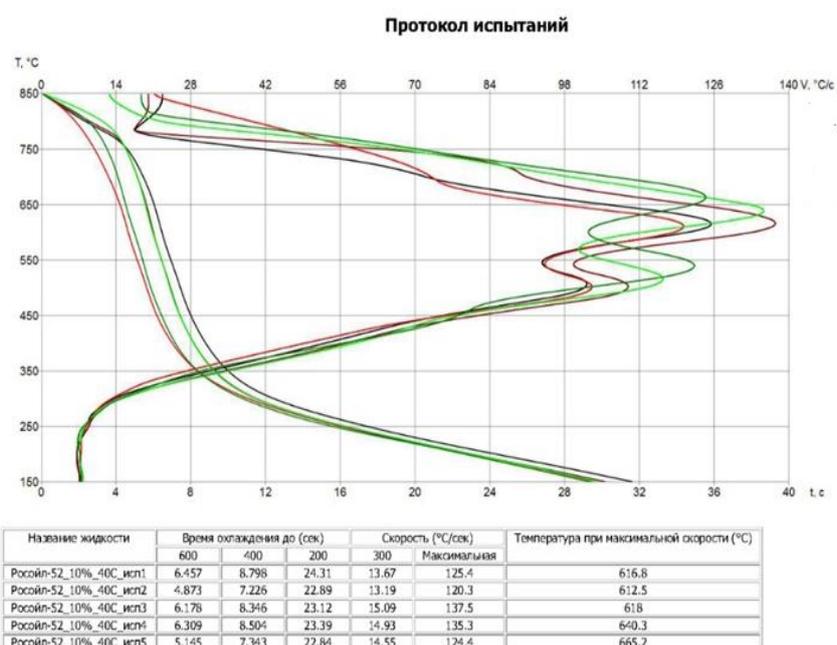


Рис. 1. Кривые охлаждения закалочной жидкости «Росойл-52», 10 % концентрация  
Fig. 1. Cooling curves of Rosoil-52 quenching fluid, 10% concentration.

После проведения лабораторных исследований, была приготовлена опытная партия водополимерной закалочной жидкости «Росойл-52» для проведения промышленных испытаний в условиях ООО «Термосталь» (г. Ижевск). Опытно-промышленные испытания закалочной жидкости «Росойл-52» при закалке деталей из углеродистых и легированных сталей и сплавов прошли с положительными результатами.

Публичное акционерное общество «Челябинский металлургический комбинат» при закалке железнодорожных рельсов применяли водополимерную закалочную жидкость «Feroquench WR». В настоящее время возникли сложности с постав-

кой «Feroquench WR» из Германии. В связи с этим «ЧМК» обратилось в «ХТЦ УАИ» с целью импортозамещения водополимерной жидкости «Feroquench WR».

Производство рельсов на ПАО «Челябинский металлургический комбинат» это единая технологическая линия от выплавки стали до прокатки и термообработки на рельсобалочном стане. Процесс закалки рельсов обеспечивает необходимый комплекс свойств: твердость, механические свойства и микроструктуру в соответствии требованиями ГОСТ Р 51045-2014.

Рабочий раствор закалочной среды имеет концентрацию 15 %. Температура раствора составляет 45 °С и поддерживается автоматически.

В результате исследований в лаборатории испытаний технологических смазочных материалов «ХТЦ УАИ» создана водополимерная закалочная жидкость «Ро-

сойл-51» (ТУ 20.59.59-166-06377289-2023), которая является аналогом «Feroquench WR».

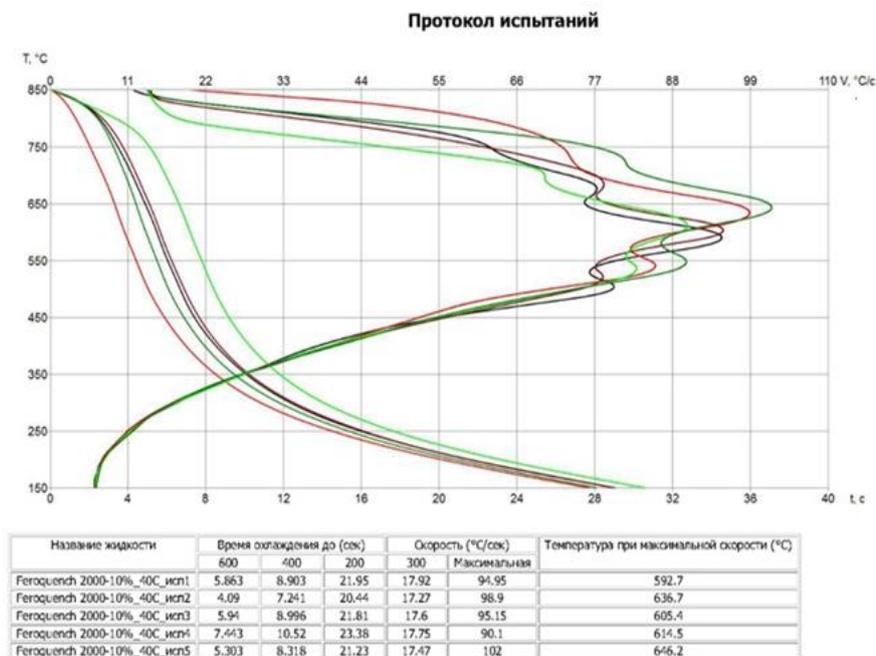


Рис. 2. Кривые охлаждения закалочной жидкости «Feroquench-2000», 10 % концентрация  
 Fig. 2. Feroquench-2000 quenching fluid cooling curves, 10 % concentration

Значения характеристик охлаждающей способности закалочных сред «Ро-

сойл-51» и «Feroquench WR» 15 % концентрации в табл. 2.

Таблица 2

Значения характеристик охлаждающей способности закалочных жидкостей «Росойл-51» и «Feroquench WR», 15 % концентрация, температура раствора 45 °C

Table 2

Values of cooling capacity characteristics of Rosoil-52 and Feroquench-2000 quenching liquids, 15 % concentration, temperature 45 °C

Закалочная жидкость	Время охлаждения, сек			Максимальная скорость охлаждения, °C/c	Температура при максимальной скорости охлаждения, °C	Скорость охлаждения при 300 °C, °C/c
	до 600°C	до 400°C	до 200°C			
«Росойл-51»	15,25	27,19	32,33	45,58	263,8	43,43
«Feroquench WR»	16,52	28,63	34,3	40,58	269,9	39,36

В результате проведения лабораторных испытаний установили:

1. Охлаждающие характеристики «Росойл-51» и «Feroquench WR», имеют близкие значения.

2. Отличительной особенностью данных водополимерных жидкостей является низкая скорость охлаждения (14...18 °C/c) в области температур 850...450 °C. Это позволяет получать мик-

роструктуру головки рельса – пластинчатый перлит 1-2 балла по ГОСТ 8233-56.

После проведения лабораторных исследований, была приготовлена опытная партия водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» для проведения лабораторно-промышленных испытаний в условиях ПАО «ЧМК».

В рамках программы проведения лабораторно-промышленных испытаний по

подбору отечественных аналогов водорастворимой полимерной закалочной среды «*Feroquench WR*» проведено опытное термоупрочнение рельсовых проб на установке закалки рельсовых проб (УЗРП) в растворе полимера «Росойл-51» для определения диапазона технологических параметров закалки, а также изменения свойств и характеристик данного раствора с течением времени. Результаты лабораторно-промышленных испытаний показали, что рельсовые пробы термоупрочненные в 15 % растворе «Росойл-51» имеют твердость, механические свойства и микроструктуру (пластинчатый перлит 1-2 бал-

ла) в соответствии нормативными значениями.

Далее были проведены опытно-промышленные испытания «Росойл-51» в условиях прокатного цеха № 3. Рабочий раствор 15 %-й концентрации залит в ванну агрегата термоупрочнения. Проведена термообработка партии рельсового проката. Твердость, механические свойства и микроструктура рельсов термоупрочненных в водополимерной закалочной жидкости «Росойл-51» в пределах нормативных значений. В настоящее время водополимерная закалочная жидкость «Росойл-51» серийно внедрена и поставляется на ПАО «ЧМК».

## Выводы

1. Разработаны новые отечественные водополимерные закалочные жидкости «Росойл-52» и «Росойл-51» аналоги импортных «*Feroquench-2000*» и

«*Feroquench WR*».

2. Освоено производство закалочных сред «Росойл-52» и «Росойл-51», которые поставляются предприятиям заказчикам.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. В.М. Зуев. Термическая обработка металлов: 5-е издание, стереотипное – М.: Высшая школа; 2001. 288 с.
2. Кобаско.Н. И.. Закалочные среды. Металловедение и термическая обработка.Т. 23, под ред. Л. А. Петровой. – М., 1989.
3. Горюшин В.В. О применении синтетических закалочных сред в промышленности // МиТОМ. 1991. N2 4. С. 10 — 14.
4. БурковА.Г., ГриценокП.А. Охлаждающая способность различных закалочных сред на основе водорастворимых полимеров // Вестник Национальной Академии Наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2002. 2.
5. Горюшин В.В., Ковалева С.А., Шевченко С.Ю. Применение охлаждающей среды УЗСП-1 при спрейерной закалке зубчатых колес // Металловедение и термическая обработка металлов. 2007. № 6. С. 33-36.
6. Майсурадзе М.В., Антаков Е.В., Назарова В.В. Охлаждающая способность современных промышленных полимерных закалочных сред // Сталь. 2021. № 8. С. 50–59.

7. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics - Nickel-alloy probe test method. - Geneve: International Organization for Standardization, 1995. - 9 p.
8. Шолом В.Ю, Абрамов А.Н., Казаков А.М., Шолом А.В., Иванов В.В. Установка для определения охлаждающих характеристик технологических сред // КШП ОМД. 2014. № 5. С.30–33.
9. Шолом В. Ю., Абрамов А. Н., Казаков А. М., Шолом А. В., Иванов В. В. Установка для определения охлаждающих характеристик технологических сред. / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2014. – № 5. – С. 30-33.
10. Пат. 2699698 Российская Федерация, МПК С21D 11/00 G01N 25/20 Установка для определения охлаждающей способности технологических сред. / А.В. Шолом, А.Б.Поляков, Д.Г.Тюленев и др.; заявитель и патентообладатель ООО ХТЦ УАИ. Заявлено 12.07.2018. Оpubл. 09.09.2019. Бюл. № 25.

## REFERENCES

1. Zuev VM. Heat treatment of metals. 5th ed. Moscow: Visshaya Shkola; 2001.
2. Kobasko NI. Quenching media. Metall science and heat treatment. Moscow; 1989.
3. Goryushin VV. On the use of synthetic quenching media in industry. Mi-TOM. 1991;2(4):10-14.

4. Burkov AG, Gritsenok PA. Cooling capacity of various quenching media based on water-soluble polymers. Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Physical-technical series. 2002;2.
5. Goryushin VV, Kovaleva SA, Shevchenko SYu. Application of УЗСП-1 cooling medium for spray

- hardening of gears. *Metallo-vedenie I Termicheskaya Obrabotka Metallov*. 2007;6:33-36.
- Maisuradze MV, Antakov EV, Nazarova VV. Cooling capacity of modern industrial polymer quenching media. *Stal*. 2021;8:50-59.
  - ISO 9950. International standard *Industrial quenching oils - Determination of cooling characteristics*. Geneva: International Organization for Standardization; 1995.
  - Sholom VYu, Abramov AN, Kazakov AM, Sholom AV, Ivanov VV. Installation for determining the cooling characteristics of technological media.

- Forging and Stamping Production. *Material Working by Pressure*. 2014;5:30–33.
- Sholom VYu, Abramov AN, Kazakov AM, Sholom AV, Ivanov VV. Installation for determining the cooling characteristics of technological media. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*. 2014;5:30–33.
  - Sholom AV, Polyakov AB, Tyuleev DG, Ivanov VV, Volkova EB. Patent of the Russian Federation No. 2699698. Installation for determining the cooling capacity of a technological medium. 2019 Sep 09.

#### Информация об авторах:

**Тюленев Денис Генрихович** – заведующий триботехнической лаборатории ООО «ХТЦ УАИ», тел. +79649645785.

**Шолом Владимир Юрьевич** – доктор технических наук, доцент, генеральный директор ООО «ХТЦ УАИ», член Межведомственного научного совета по трибологии Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и Союза научных и инженерных объединений, тел. +7(347)272-47-88.

**Абрамов Алексей Николаевич** – доктор технических наук, зам. ген. директора ООО «ХТЦ УАИ», член Межведомственного научного совета по три-

бологии Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и Союза научных и инженерных объединений, тел.+7(937)360-63-55.

**Жернаков Владимир Сергеевич** – академик Академии наук Республики Башкортостан, докт. техн. наук, профессор, научный руководитель ООО «ХТЦ УАИ», заслуженный деятель науки России, тел. +7(347)272-47-88.

**Пузырьков Дмитрий Федорович** – кандидат технических наук, вед. научный сотрудник ООО «ХТЦ УАИ», тел. +7(347)272-47-88.

**Tyulenev Denis Genrikhovich** – Head of the Tribotechnology Laboratory of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(964)964-57-85.

**Sholom Vladimir Yuryevich** – Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Director General of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Member of the Interdepartmental Scientific Council on Tribology of the Russian Academy of Sciences, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Union of Scientific and Engineering Associations; phone: +7(347)272-47-88.

**Abramov Aleksey Nikolaevich** – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director General of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Member of

the Interdepartmental Scientific Council on Tribology of the Russian Academy of Sciences, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Union of Scientific and Engineering Associations; phone: +7(937)360-63-55.

**Zhernakov Vladimir Sergeevich** – Member of the Academy of Sciences of Bashkortostan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Director of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Honored Scientist of Russia; phone: +7(347)272-47-88.

**Puzyrkov Dmitry Fedorovich** – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(347)272-47-88.

**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 14.12.2023; одобрена после рецензирования 20.12.2023; принята к публикации 27.12.2023. Рецензент – Агеев Е.В., доктор технических наук, профессор Юго-Западного государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 14.12.2023; approved after review on 20.12.2023; accepted for publication on 27.12.2023. The reviewer is E.V. Ageev, Doctor of Technical Sciences, Professor of Southwest State University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**