

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.892.86

doi: 10.30987/2782-5957-2023-12-42-49

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ СОЖ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Семен Михайлович Пилюгин^{1✉}, Алексей Николаевич Абрамов², Владимир Сергеевич Жернаков³, Денис Генрихович Тюленев⁴, Андрей Владимирович Шолом⁵

^{1,2,3,4,5}Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института, Уфа, Россия

¹ pilyugin@rosoil.ru

² abramov@rosoil.ru

³ zhvs@mail.rb.ru

⁴ zavlab@rosoil.ru

⁵ asholom@mail.ru

Аннотация

Предложена методика комплексной оценки эффективности смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), включающая триботехнические, физико-химические и охлаждающие свойства. Приведены результаты внедрения СОЖ на предприятиях ВПК. Показаны результаты выполнения работ по импортозамещению СОЖ на предприятиях военно-промышленного комплекса (ВПК). Представлены результаты сравнительных испытаний импортных

смазочных материалов в сравнении с отечественными СОЖ «Росойл». Показано, что СОЖ «Росойл» не уступают импортным аналогам по основным эксплуатационным характеристикам.

Ключевые слова: смазывающе-охлаждающие жидкости, металлообработка, импортозамещение, критерии, оценка, применимость СОЖ.

Ссылка для цитирования:

Пилюгин С.М. Импортозамещение СОЖ для процессов металлообработки на машиностроительных предприятиях / С.М. Пилюгин, А. Н. Абрамов, В. С. Жернаков, Д. Г. Тюленев, А. В. Шолом // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 12. – С. 44-49. doi: 10.30987/2782-5957-2023-12-42-49.

Original article

Open Access Article

IMPORT SUBSTITUTION OF LIQUID COOLANTS FOR METALWORKING PROCESSES AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Semyon Mikhailovich Pilyugin^{1✉}, Aleksey Nikolaevich Abramov², Vladimir Sergeevich Zhernakov³, Denis Genrikhovich Tyulenev⁴, Andrey Vladimirovich Sholom⁵

^{1,2,3,4,5} Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute, Ufa, Russia

¹ pilyugin@rosoil.ru

² abramov@rosoil.ru

³ zhvs@mail.rb.ru

⁴ zavlab@rosoil.ru

⁵ asholom@mail.ru

Abstract

A method is proposed to give a comprehensive assessment of the effectiveness of liquid coolants (LC), including tribo-engineering, physicochemical and cooling properties. The results of introducing LCs at military-industrial enterprises are presented. The work results on the import substitution of LCs at military-industrial enterprises are shown. The results of com-

parative tests of imported lubricants in comparison with domestic coolant Rosoil are presented. It is shown that Rosoil LC is not worse than imported analogues in terms of basic operational characteristics.

Keywords: liquid coolants, metalworking, import substitution, criteria, assessment, LC applicability.

Reference for citing:

Pilyugin SM, Abramov AN, Zhernakov VS, Tyulenev DG, Sholom AV. Import substitution of liquid coolants for metal-working processes at machine-building enterprises. *Transport Engineering*. 2023;12:42-49. doi: 10.30987/2782-5957-2023-12-42-49.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию технологии механической обработки, увеличению производительности и точности обработки деталей машин, повышению стойкости инструмента. На машиностроительных и металлургических предприятиях широко применяется импортное оборудование. Наиболее характерна ситуация, когда оборудование в состоянии поставки комплектуется всей необходимой оснасткой, инструментом и смазками, в том числе смазывающе-охлаждающими жидкостями. Таким образом, первоначальный подбор СОЖ осуществляется поставщиком оборудования. Как следствие в пределах одного предприятия применяются различные СОЖ даже на одном и том же типе оборудования. Такая же ситуация характерна и для отечественного оборудования [10].

Популярность импортных СОЖ легко объяснить высоким уровнем доверия потребителя. Западные компании обеспечивают полное соответствие стандартам качества и выпускают экологичную продукцию. К российским фирмам у покупателей доверия меньше. Производители из России стартовали позже, многие компании не могут проводить полноценных исследований. Хотя сегодня многие руководители фирм понимают, что без научных исследований конкурировать в высокотехнологичной среде невозможно.

Методика исследований

Для сравнительной оценки охлаждающих и триботехнических характеристик водорастворимых СОЖ, применяемых в процессах металлообработки, авторы предла-

Для обрабатываемых центров необходимы высокотехнологичные СОЖ, так как на таком оборудовании производятся сразу несколько технологических операций, каждая из которых требует индивидуального подбора СОЖ прежде всего по охлаждающим и триботехническим характеристикам, которые можно регулировать режимами обработки.

В рамках обеспечения технологического суверенитета вопрос импортозамещения СОЖ как на импортном, так и на отечественном металлообрабатывающем оборудовании приобретает острую актуальность. В то же время отсутствует единый подход к определению критериев оценки применимости той или иной СОЖ, что также актуально и в вопросах импортозамещения СОЖ. Набор физико-химических показателей, описывающих импортную СОЖ, не позволяет однозначно принять решение о ее замене на отечественный аналог, так как не учитывает всех условий ее эксплуатации, связанных с триботехническими и охлаждающими характеристиками [1-6, 10].

Для эффективной замены импортных СОЖ на отечественные необходимо уже на стадии лабораторных исследований проводить сравнительные испытания основных характеристик разрабатываемой продукции с импортными аналогами.

гают способ определения комплексной эффективности в лабораторных условиях [7], который можно оценить по формуле:

$$K = \frac{P_{с(СОЖ)}}{P_{с(вода)}} \times \frac{V_{\max(СОЖ)}}{V_{\max(вода)}} \times \frac{T_{(вода)}}{T_{(СОЖ)}} \times \frac{D_{и(вода)}}{D_{и(СОЖ)}},$$

где $P_{с(СОЖ)}$ – нагрузка сваривания, полученная с применением испытываемой СОЖ; $P_{с(вода)}$ – нагрузка сваривания, полученная с применением воды; $V_{\max(СОЖ)}$ –

максимальная скорость охлаждения, полученная с применением испытываемой СОЖ; $V_{\max(вода)}$ – максимальная скорость охлаждения воды; $T_{(вода)}$ – сила трения, по-

лученная с применением воды; $T_{(СОЖ)}$ – сила трения, полученная с применением испытываемой СОЖ; $Ди_{(вода)}$ – диаметр пятна износа, полученный с применением воды; $Ди_{(СОЖ)}$ – диаметр пятна износа, применением испытываемой СОЖ.

Наиболее эффективную СОЖ определяют по наибольшему значению коэффициента K . Выбор данных параметров оценки СОЖ обоснован тем, что они отражают эффективность СОЖ по смазочному и охлаждающему действиям.

Триботехнические свойства исследуемых СОЖ оценивали на четырехшариковой машине трения (ЧМТ-1, рис.1) по ГОСТ 9490. Силу трения определяют с помощью датчика силы, специально уста-

новленном на четырехшариковой машине трения (рис. 1, позиция 2). Датчик силы – 2 позволяет в любой момент времени фиксировать момента трения, возникающего при трении верхнего шарика о нижние. Вся информация о значениях момента трения после обработки специальным процессором поступает в ПЭВМ и выдается в виде графика «момент трения-время».

По величине момента трения определяли силу трения по формуле:

$$T = \frac{M_{тр}}{L}, \quad (1)$$

где $M_{тр}$ – момент трения, Н·м; где T – сила трения, Н; L – расстояние от оси вращения верхнего шарика до места крепления датчика силы, м.

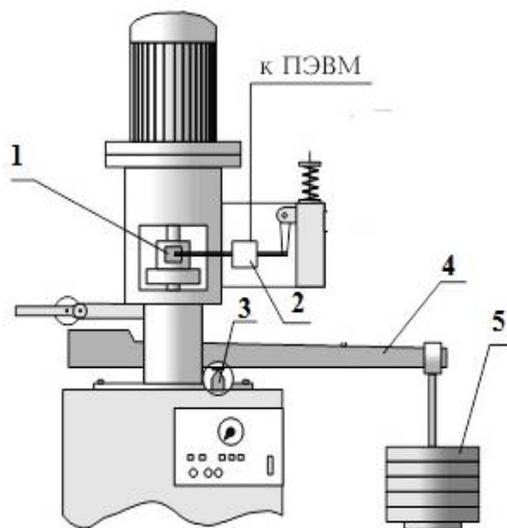


Рис.1. Схема четырехшариковой машины трения:
1 – узел трения; 2 – датчик силы; 3 – призма; 4 – рычаг; 5 – грузы
*Fig.1. Diagram of four-ball friction machine:
1 – friction unit; 2 – Force sensor; 3 – prism; 4 – lever; 5 – loads*

Для определения охлаждающих характеристик СОЖ применяли установку для оценки охлаждающих характеристик технологических жидкостей УЗС-2 [8, 9]. Основные технические характеристики установки соответствуют требованиям международных стандартов ISO 9950

Результаты и их обсуждение

В качестве примера приводится задача по импортозамещению смазывающе-охлаждающей жидкости *Blaser Vasco 7000* (Швейцария) – высококачественная смазочно-охлаждающая жидкость, не содер-

(1999 г.), ASTM D6200-01(2017г.) и ASTM D6482-06 (2016 г.).

При проведении лабораторных исследований были использованы импортные и отечественные СОЖ в виде 5 % концентраций в воде.

жащая хлора, бора, формальдегида и цинка на основе сложнэфирного синтетического масла, на обрабатывающем центре *Hermle C30U* для обработки высоколегированных сталей деталей авиационного двигателя.

СОЖ *Blaser Vasco 7000* предназначена для металлов, сложных в обработке, таких, как титан, сплавы на основе никеля или хром-кобальтового сплава, а также при общей обработке в тяжелых режимах резания стали и сплавов алюминия. Данные материалы характерны для деталей газовых турбин.

СОЖ *Blaser Vasco 7000* поставлялась в составе большого количества оборудова-

ния, а именно высокопроизводительных обрабатывающих центров, шлифовальных центров, токарных, фрезерных, сверлильных станков.

Первичный анализ физико-химических показателей СОЖ (табл. 2) и параметров технологического процесса не позволяет сделать однозначный вывод о замене аналогом.

Таблица 1

Физико-химических показателей СОЖ [10]

Table 1

Physicochemical parameters of liquid coolants [10]

№ п/п	Показатель	<i>Blaser Vasco 7000</i>	Росойл 940	Росойл 921
1	Содержание минерального масла, %	0	0	0
2	Плотность при 20 °С, г/см ³	0,98	1,0	1,2
3	Вязкость при 40 °С, мм ² /с	74	9,6*	5*
4	рН	8.8-9.5	9,9	8,5-10,5
5	Внешний вид эмульсии	полупрозрачная	молочная	полупрозрачная

*Вязкость измерена по ГОСТ 33 при температуре 50 °С

Сделать вывод, о возможности замещения исходя исключительно из физико-химических показателей, не представляется возможным, поэтому были проведены дополнительные исследования материалов.

В результате анализа был выбран комплекс параметров для корректной и обоснованной оценки свойств СОЖ. В качестве этих параметров были выбраны характеристики, которые можно получить в

ходе испытаний на унифицированном испытательном оборудовании. Исследования предложено выполнить на четырехшариковой машине трения по следующим параметрам: нагрузка сваривания, P_c , кгс; диаметр пятна износа D_i , мм.

В табл. 2 приведены триботехнические показатели некоторых СОЖ Росойл и *Blaser Vasco 7000* для сравнения и оценки [10].

Таблица 2

Триботехнические показатели СОЖ при испытании на четырехшариковой машине трения [10]

Table 2

Tribo-engineering parameters of liquid coolants when tested on a four-ball friction machine [10]

№ п/п	Наименование СОЖ	Концентрат (в состоянии поставки)		5% водная эмульсия	
		P_c , кгс	D_i (20 кгс, 1ч), мм	P_c , кгс	D_i (20 кгс, 1ч), мм
1	Росойл 921	133	1,42	106	1,42
2	Росойл 911	150	0,62	119	0,89
3	Росойл 940	282	1,44	126	1,5
4	<i>Blaser Vasco 7000</i>	141	1,1	141	1,03

На рис. 2 приведены результаты исследований, с использованием установки УЗС-2, по определению максимальных

скоростей охлаждения импортных и отечественных СОЖ для 5 % концентраций в воде.

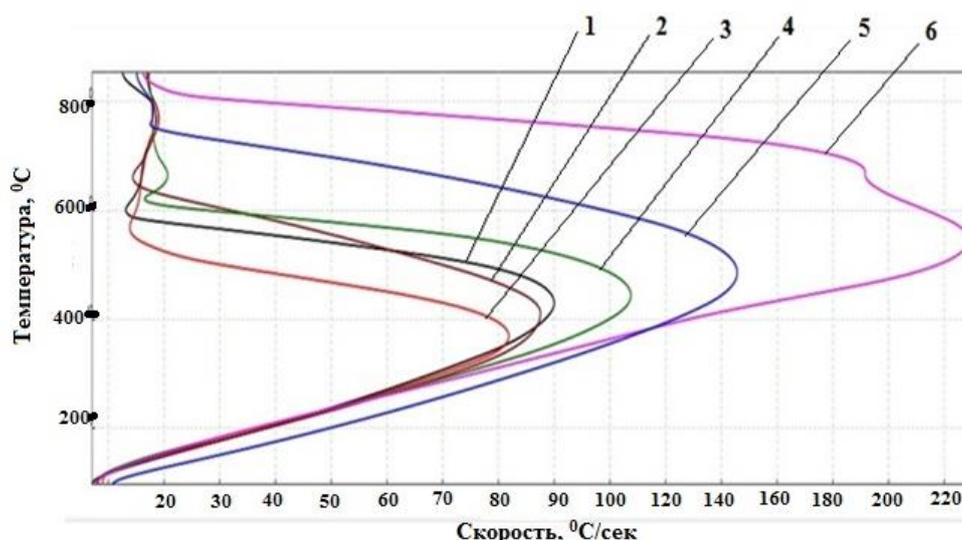


Рис. 2. Максимальные скорости охлаждения СОЖ 5% концентрации в воде: 1 – Росойл 940; 2 – *Blaser Vasco 7000*; 3 – *Blasocut 2000*; 4 – *Blasocut BC 35 LF SW*; 5 – *Blasocut 2000*; 6 – Росойл 921
 Fig. 2. Maximum coolant cooling rates of 5% concentration in water: 1 – *Rosoil 940*; 2 – *Blaser Vasco 7000*; 3 – *Blasocut 2000*; 4 – *Blasocut BC 35 LF SW*; 5 – *Blasocut 2000*; 6 – *Rosoil 921*

Коэффициента K для СОЖ *Blaser* равен 0,72, для Росойл 940 соответственно – 0,85 и для Росойл 921 – 1,2.

Полученные данные можно интерпретировать следующим образом: в качестве аналога СОЖ *Blaser Vasco 7000* может быть применена СОЖ Росойл 940, при этом будут сохраняться параметры технологического процесса. В случае необходимости более интенсивного отвода тепла из зоны резания и/или продуктов износа (например, абразивного), то следует в качестве аналога рассмотреть СОЖ Росойл 921 [10].

Промышленные испытания указанных выше СОЖ показали, что такой под-

ход позволяет дать объективную оценку эффективности охлаждающих жидкостей при механической обработке и произвести замену СОЖ в рамках программ импортозамещения. На основании проведенных лабораторных исследований были изготовлены промышленные партии СОЖ «Росойл» и проведены испытания последних на предприятиях ВПК.

В табл. 3-5 приведены практические результаты внедрения СОЖ Росойл по программам импортозамещения на предприятиях АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» ГК Ростех [10].

Таблица 3

Практические результаты внедрения СОЖ на ПАО «ОДК-УМПО» [10]

Table 3

Practical results of introducing of liquid coolants at OJSC ODK -UMPO [10]

№ п/п	Заказчик	Производитель	Наименование	Аналог
1	ПАО «ОДК-УМПО»	Blaser, Швейцария	<i>Vasco 2000</i>	Росойл 520
2			<i>Blasocut BC 35 LF SW</i>	Росойл 940, Росойл 921
3			<i>Blasomill 15</i>	Росойл 102
4			<i>Vasco 7000</i>	Росойл 940, Росойл 921
5		Castrol, Германия	<i>Variocut B9</i>	Росойл 423
6		Bechem, Германия	<i>Avantin 361</i>	Росойл 940
7			<i>Mobilcut 140</i>	Росойл 911
8		Mobil, Германия	<i>Mobilmet 423</i>	Росойл 423
9				

Practical results of introducing of liquid coolants at OJSC ODK-Kuznetsovo [10]

№ п/п	Заказчик	Производитель	Наименование	Аналог
1	ПАО «ОДК-Кузнецов»	<i>Blaser</i> , Швейцария	<i>Blasocut 7000</i>	Росойл 940
2		<i>Castrol</i> , Германия	<i>Hysol SL 35</i>	Росойл 911
3			<i>Hysol SL 45</i>	Росойл 911
4			<i>Variocut B9</i>	Росойл 423
5			<i>Variocut G 600</i>	Росойл 102
6			<i>Syntilo 81</i>	Росойл 921
7		<i>Cimcool</i> , США	<i>Cimvantage</i>	Росойл 940

Заклучение

1. В ходе выполнения исследований определен комплекс параметров, объективно характеризующих эффективность СОЖ и позволяющих вести инструментальный контроль их количественных значений с использованием унифицированного испытательного оборудования.

2. На основе параметров, характеризующих СОЖ, разработана методика их обоснованного подбора СОЖ, на которую

получен охранный документ на интеллектуальную собственность (патент РФ № 2777395 от 03.08.2022).

3. Разработанная методика успешно прошла лабораторные и производственные испытания и была использована в ходе реализации программ импортозамещения, что подтверждают акты внедрения СОЖ Росойл на предприятиях АО «Объединенная двигателестроительная корпорация».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кисель А. Г., Ражковский А. А., Попов А. Ю., Реченко Д. С., Шнуров Ю. В. Исследование охлаждающей способности водозмульсионных смазочно-охлаждающих жидкостей и их влияния на коэффициент трения при токарной обработке стали 45 // Перспективы развития научных исследований в 21 веке: сб. матер. 1-й Междунар. науч.-практ. конф., 31 января, 2013г. / Издательство Перо. М.: 2013. С. 75–79.
2. Худобин Л. В. Современные СОЖ и их применение при обработке металлических заготовок резанием / Л. В. Худобин, Е. С. Киселев // Справочник. Инженерный журнал. 2006. № S6. (Приложение) 2-24 с.
3. Кисель А. Г. Повышение эффективности токарной обработки жестких заготовок на основе рационального выбора СОЖ: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07: Омский государственный технический университет / Кисель Антон Геннадьевич. Омск: ОмГТУ, 2018. 175 с.
4. Якубов Ф. Я. Экспериментальная оценка эффективности смазывающих технологических сред в периоде приработки металлорежущего инструмента / Ф. Я. Якубов, Ч. Ф. Якубов, В. В. Скакун // Известия ТулГУ. 2016. № 8. С. 246-253.
5. Абдулгасис Д. У., Умеров Э. Д., Подзноев Г. П., Абдулгасис У. А. Повышение стойкости режущего инструмента улучшением триботехнологических и эндотермических свойств масляных СОЖ // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2015. № 1 (49). С. 81-85.
6. Сайт производственной фирмы «Олеокам» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.oleokam.ru/spravinfo/> (Дата 18.06.2022).
7. Патент РФ № 2777395 МПК G01N 33/30, G01N3/56, G01N 11/00, СПК G01N3/56, G01N11/00, G01N33/30 Способ оценки комплексной эффективности смазочно-охлаждающей жидкости / Абрамов К.А., Шолом А.В., Пилюгин С.М., Головин В.П. и др.; Заявл. 12.07.2021, Оpubл. 03.08.2022, Бюл. №22.
8. Пат. 2699698 Российская Федерация, МПК C21D 11/00 G01N 25/20 Установка для определения охлаждающей способности технологической среды. / 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.
9. Пилюгин С.М., Шолом А.В., Абрамов А.Н., Шолом В.Ю., Тюленев Д.Г. Исследование триботехнических свойств водосмешиваемых смазочно-охлаждающих жидкостей в зависимости от их охлаждающих характеристик. // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Трибология – машиностроению» г. Москва, 12-14 октября 2022 г. С. 244-246.
10. Пилюгин С.М., Абрамов А.Н., Тюленев Д.Г., Шолом А.В. Импортозамещающие СОЖ «Ро-

сойл» для предприятий. // Материалы научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Новые материалы и энергетика

в ВС РФ». Г. Анапа, Издательство: Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис «ЭРА», 2023. С.29-33.

REFERENCES

1. Kisel AG, Razhkovsky AA, Popov AYu, Rechenko DS, Shnurov YuV. Study of the cooling capacity of water-based lubricants and their effect on the friction factor while turning steel 45. Collection of papers of the 1st International Scientific and Practical Conference, January 31, 2013: Prospects for the Development of Scientific Research in the 21st Century. Moscow: Publishing House Pero; 2013.
2. Khudobin LV, Kiselyov ES. Modern coolants and their application in metal working. Spravochnik. Inzenerny Zhurnal. 2006;S6(Appendix):2-24.
3. Kisel AG. Improving the efficiency of turning non-rigid workpieces based on a rational choice of coolant [dissertation]. [Omsk (RF)]: Omsk State Technical University; 2018.
4. Yakubov FYa, Yakubov ChF, Skakun VV. Experimental evaluation of the effectiveness of lubricating technological media during running-in of a metal-cutting tool. Izvestiya TUSU. 2016;8:246-253.
5. Abdulgazis DU, Umerov ED, Podznoev GP, Abdulgazis UA. Increasing the durability of cutting tools by improving tribo-engineering and endothermic properties of oil lubricants. Uchyoniye Zapiski Krymskogo Inzenerno-pedagogicheskogo Universiteta. 2015;1(49):81-85.
6. The website of the production company Oleokam [Internet]. [cited 2022 Jun 18]. Available from: <http://www.oleokam.ru/spravinfo>
7. Abramov KA, Sholom AV, Pilyugin SM, Golovin VP. Patent of the Russian Federation No. 2777395 IPC G01N 33/30, G01N3/56, G01N 11/00, SEC G01N3/56, G01N11/00, G01N33/30 Method to evaluate the integrated effectiveness of a coolant. 2022 March 8.
8. Sholom AV, Polyakov AB, Tyulenev DG. Patent of the Russian Federation No. 2699698 IPC C21D 11/00 G01N 25/20 Installation for determining the cooling capacity of the technological medium. 2019 Sep 09.
9. Pilyugin SM, Sholom AV, Abramov AN, Sholom VYu, Tyulenev DG. Study of tribo-engineering properties of water-cooling lubricants depending on their cooling characteristics. Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference, 2022, October 12-14: Tribology - Mechanical Engineering; Moscow; 2022.
10. Pilyugin SM, Abramov AN, Tyulenev DG, Sholom AV. Import-substituting Rosoil coolants for enterprises. Proceedings of the Scientific and Technical Conference: The State and Prospects of Development of Modern Science in the Field of New Materials and Energy in the Armed Forces of the Russian Federation. Anapa: Publishing House of Federal State Autonomous Institution Military Innovative Technopolis ERA; 2023.

Информация об авторах:

Пилугин Семен Михайлович – старший научный сотрудник ООО «ХТЦ УАИ», тел. +7(347)272-47-88.

Абрамов Алексей Николаевич – доктор технических наук, тел.+7(937)360-63-55, зам. ген. директора 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.

Pilyugin Semyon Mikhailovich – Senior Research Associate of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; 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

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

Тюленев Денис Генрихович – заведующий триботехнической лаборатории ООО м«ХТЦ УАИ», тел. +7(964)964-57-85.

Шолом Андрей Владимирович – инженер-исследователь ООО «ХТЦ УАИ», тел.+7(987)616-54-43.

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.

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

Sholom Andrey Vladimirovich - Research Engineer of Self-supporting Creative Center of Ufa Aviation Institute; phone: +7(987)616-54-43.

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 10.11.2023; одобрена после рецензирования 23.11.2023; принята к публикации 27.11.2023. Рецензент – Петрешин Д.И., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 10.11.2023; approved after review on 23.11.2023; accepted for publication on 27.11.2023. The reviewer is Petreshin D.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.