

УДК 62-383.1

## Способ повышения ресурса импортных поршневых уплотнений в период действия санкционного режима

Р.Э. Кобыльский, С.С. Бусаров

ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет»

## A way to increase service life of the imported piston seals during the period of the sanctions'

R.E. Kobylsky, S.S. Busarov

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Omsk State Technical University

Рассмотрена проблема ремонта и дальнейшей эксплуатации импортных поршневых компрессоров, работающих без смазки. На сегодняшний день зарубежные фирмы-производители отказались от проведения сервиса, шеф-ремонтов и поставки запасных частей, инструментов и принадлежностей. Ввиду того, что довольно сложно, а зачастую практически невозможно подобрать отечественный аналог зарубежному материалу или технологию его производства, комплектующие изделия, изготовленные средствами ремонтно-механических заводов, работают в 10 раз меньше и снижают качественные показатели технологического оборудования. Проведено исследование по определению способа повышения ресурса зарубежных изделий, применяемых в поршневых компрессорах, работающих без смазки, на примере пары трения гильза — поршневое кольцо. Выдвинуто предположение о замене стальной гильзы на гильзу из антифрикционного самосмазывающегося материала, твердость которого меньше, чем у материала, из которого выполнено поршневое кольцо. Для проверки этого предположения изготовлены экспериментальные образцы из следующих материалов: АФГМ, Ф4, Ф4К15М5, полиамид 6 и сталь 45. Результаты испытаний образцов подтвердили возможность повышения ресурса пары трения предложенным способом.

EDN: UBDQIJ, <https://elibrary/ubdqij>

**Ключевые слова:** поршневой компрессор, массовый износ, антифрикционный материал, пара трения

The paper considers a problem of repairing and further use of the foreign piston compressors operating without lubrication. As of today, the foreign manufacturing companies refused to provide services, repair supervision and supply of the spare parts, tools and accessories. Taking into account that it is quite difficult, and often almost impossible, to find a domestic analogue of a foreign material or technology of its production, components manufactured by the mechanical repair plants work several times less and reduce the technological equipment quality indicators. A study was carried out to determine a method in increasing service life of the foreign products used in the piston compressors operating without lubrication on the example of a liner - piston ring friction pair. The paper proposes to replace the steel liner with the one made of the anti-friction self-lubricating material, which hardness is lower than that of material used in the piston ring manufacture. To test the proposal, experimental samples were manufactured from the following materials: AFGM, F4, F4K15M5, polyamide 6 and steel 45. The samples' test results confirmed a possibility of increasing the friction pair service life using the proposed method.

EDN: UBDQIJ, <https://elibrary/ubdqij>

**Keywords:** piston compressor, mass wear, antifriction material, friction pair

С середины прошлого столетия почти во всех отраслях народного хозяйства происходит замена поршневых компрессоров (ПК), функционирующих со смазкой цилиндра, на ПК, работающие без смазки цилиндра. Основные причины такой замены и достоинства ПК подробно описаны в публикациях [1–4].

Основной проблемой при переходе на бессмазочный режим работы стал чрезвычайно быстрый износ цилиндропоршневых уплотнений, приводящий к продолжительным простоям технологического оборудования. Главной задачей на ближайшие десятилетия стала разработка и исследование антифрикционных самосмазывающихся материалов для ПК без смазки, а также подбор оптимальной пары трения.

В результате многолетних исследований, выполненных И.И. Новиковым, П.И. Пластининым, М.И. Френкелем, В.П. Захаренко и другими ведущими отечественными учеными, в лаборатории «Компрессоры без смазки», открытой при ЛенНИИХиммаш и Всесоюзном научно-исследовательском институте кислородного машиностроения, были разработаны три перспективные конструкции ПК без смазки [1, 2, 5–7]: с графитовыми кольцами, с композитными кольцами на основе фторопласта и с нанесенным на зеркало цилиндра антифрикционным материалом.

Несмотря на обширную наработанную базу типоразмерного ряда ПК, крупные отечественные заводы, выпускающие ПК (Краснодарский компрессорный завод, Кировский завод «Маяк», Сумское НПО, Борец, Бежевский завод, Румо и т. д.), оснащены импортным оборудованием (до 60 %) [6–9], включая ПК, работающие без смазки. Особо широкое применение нашли ПК зарубежных фирм Howden Thomssen Compressors, Neuman & ESSER GmbH & Co, HOERBIGER и Burckhardt Compression.

В период действия санкционного режима со стороны западных стран проблема ремонта и дальнейшей эксплуатации ПК без смазки становится наиболее актуальной, так как зарубежные фирмы-производители отказались от проведения сервиса, шеф-ремонтов и поставки запасных частей, инструментов и принадлежностей.

Ввиду того, что довольно сложно, а зачастую практически невозможно подобрать отечественный аналог зарубежному материалу или

технологии его изготовления (особенно полимерных композиционных материалов), комплектующие изделия, изготовленные средствами ремонтно-механических заводов, работают в 10 раз меньше и снижают качественные показатели технологического оборудования.

Основными зарубежными материалами, которым стремятся подобрать отечественный аналог, являются Nimonic 90, Hastelloy C276 и Inconel X-750.

Цель работы — поиск способа повышения ресурса зарубежных изделий, применяемых в ПК, работающих без смазки на примере пары трения гильза — поршневое кольцо.

Предполагается, что это можно реализовать путем замены гильзы, выполненной из стали, на гильзу, изготовленную из антифрикционного самосмазывающегося материала, чья твердость меньше, чем у материала, из которого сделано поршневое кольцо. Как известно, гильзу изготовить дешевле и проще, чем поршневое кольцо, так как ее производство включает в себя шесть технологических операций, а его — тринадцать [10–15].

**Объект исследования.** Для подтверждения выдвинутого предположения изготавливали прямоугольные и квадратные образцы, имитировавшие соответственно гильзу — контртело (рис. 1) и поршневое кольцо — тело (рис. 2). Тело выполняли из стали 45, Ф-4 и полиамида 6, контртело — из Ф4К15М5 и АФГМ. Указанные материалы имели следующие

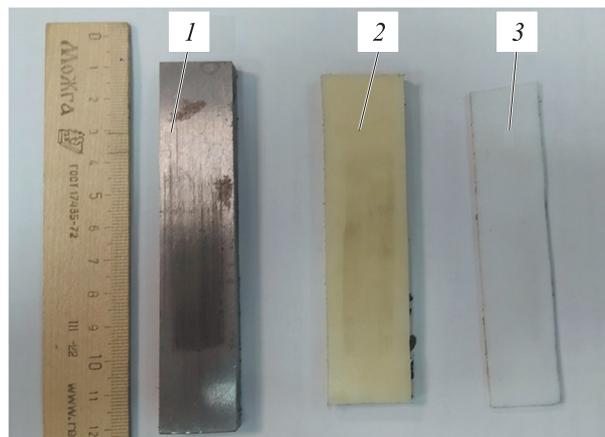


Рис. 1. Внешний вид образцов контртела, выполненных из стали 45 (1), полиамида 6 (2) и Ф4 (3)

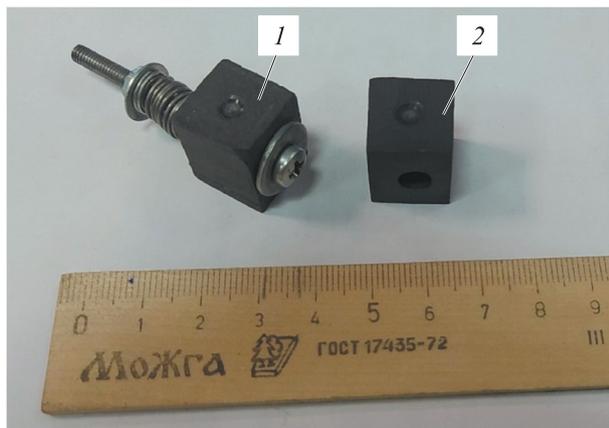


Рис. 2. Внешний вид образцов тела, изготовленных из АФГМ (1) и Ф4К15М5 (2)

щую твердость по Бринеллю [1, 2, 16], МПа: сталь 45 — 170; Ф4 — 29...39; полиамид 6 — 50; Ф4К15М5 — 60; АФГМ — 67...143.

Ширина всех контртел составляла 22 мм, длина — 110 мм, размер стороны тела — 15,5 мм. Шероховатость поверхностей контртела и тела  $Ra = 1,5$  мм.

Испытания на износостойкость проводили на лабораторном экспериментальном стенде (рис. 3), позволяющем в полной мере воссоздать условия работы действительного ПК [16, 17]. В разработанном стенде присутствует возможность регулирования скорости скольжения поршня, температуры в зоне трения и нагрузки.

Выбраны следующие пары трения: АФГМ–Ф4, Ф4К15М5–Ф4, Ф4К15М5–сталь 45 и

АФГМ–полиамид 6, где первым указан материал, из которого изготовлено тело, вторым — контртело. За критерий оценки принят массовый износ, который в первую очередь определяли для пары трения Ф4К15М5–сталь 45, результаты остальных пар трения оценивали по массовому износу в сравнительном анализе с массовым износом пары трения Ф4К15М5–сталь 45.

**Методика проведения эксперимента.** Испытания включали в себя следующие этапы:

1) проверка исправности основного и вспомогательного оборудования;

2) выбор испытываемой пары трения и проведение ее притирки (рис. 4);

3) обработка тела и контртела влажной спиртовой салфеткой и их высушивание при комнатной температуре в течение 60 мин;

4) подготовка аналитических весов ЛВ-210А к взвешиванию образцов;

5) определение начальной массы  $M_1$  тела и контртела до испытаний (рис. 5); внесение полученных результатов в таблицу;

6) установление испытываемой пары трения на экспериментальный стенд, нагружение тела (8,4 кг), обеспечение требуемой скорости и температуры в зоне трения;

7) по истечении требуемого времени завершение эксперимента, удаление пары трения с экспериментального стенда, протирание тела и контртела влажной спиртовой салфеткой и их

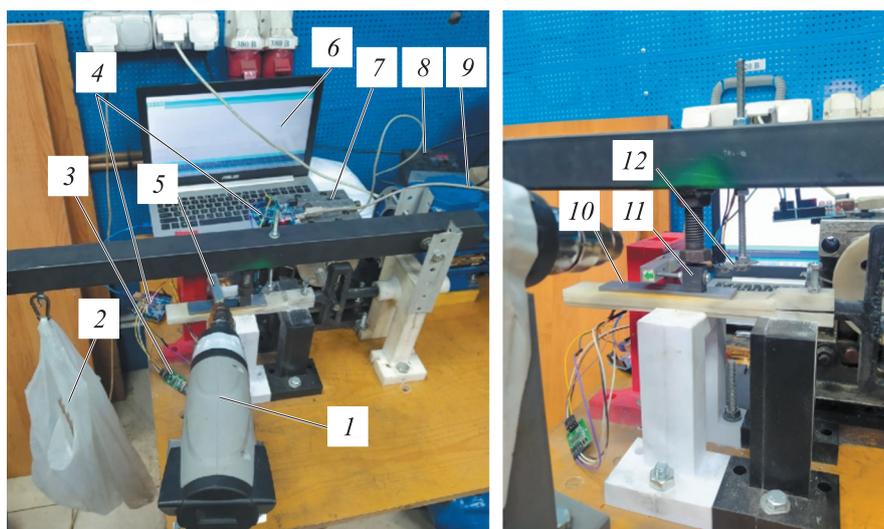


Рис. 3. Внешний вид лабораторного экспериментального стенда:

- 1 — строительный фен ПЕСАНТА ФЭ-2000К; 2 — нагрузка; 3 — электронный усилитель НХ711; 4 — контроллер Arduino Uno; 5 — тензодатчик YZC131; 6 — персональный компьютер; 7 — редуктор; 8 — частотный преобразователь Hyundai N700E; 9 — электродвигатель; 10 — контртело; 11 — тело; 12 — бесконтактный температурный сенсор GY-906-ВАА



Рис. 4. Внешний вид пары трения после процесса притирки

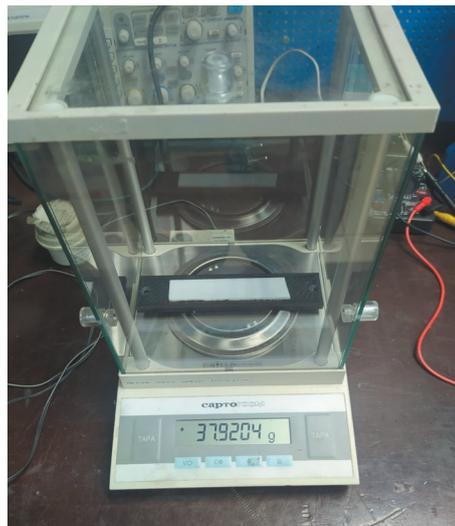


Рис. 5. Фрагмент процесса взвешивания

высушивание при комнатной температуре в течение 60 мин;

8) определение конечной массы  $M_2$  тела и контртела после испытаний; внесение полученных результатов в таблицу;

9) расчет скорости изнашивания материала по формуле

$$I_M = \frac{M_1 - M_2}{t}$$

( $t$  — время одного эксперимента); внесение полученных результатов в таблицу;

10) выбор следующей пары трения и выполнение ее притирки;

11) повтор п. 3–10.

**Результаты исследований.** Проведенные экспериментальные исследования позволили определить массовый износ различных пар трения, а также силу трения. Результаты проведенных ис-

**Результаты испытаний пар трения**

| Элемент пары трения                       | $M_1$ , г | $M_2$ , г | $\Delta M$ , г | $F_{тр}$ , Н | $\tau$ , ч | $I_M$ , г/ч |
|---|-----------|-----------|----------------|--------------|------------|-------------|
| <i>Для пары трения АФГМ-Ф4</i>            |           |           |                |              |            |             |
| Тело                                      | 17,7904   | 17,7900   | –              | 11,0         | 30         | 0,001350    |
| Контртело                                 | 37,9208   | 37,8801   | 0,0407         |              |            |             |
| <i>Для пары трения Ф4К15М5-Ф4</i>         |           |           |                |              |            |             |
| Тело                                      | 18,1272   | 18,1269   | –              | 9,2          | 40         | 0,001270    |
| Контртело                                 | 37,8709   | 37,8201   | 0,0508         |              |            |             |
| <i>Для пары трения Ф4К15М5-сталь 45</i>   |           |           |                |              |            |             |
| Тело                                      | 18,1269   | 18,1259   | –              | 5,5          | 36         | 0,000028    |
| Контртело                                 | 200,8     | 200,8     | 0,001          |              |            |             |
| <i>Для пары трения Ф4К15М5-полиамид 6</i> |           |           |                |              |            |             |
| Тело                                      | 18,1252   | 18,1250   | –              | 8,3          | 35         | 0,000431    |
| Контртело                                 | 45,2452   | 45,2301   | 0,0151         |              |            |             |
| <i>Для пары трения АФГМ-полиамид 6</i>    |           |           |                |              |            |             |
| Тело                                      | 17,7877   | 17,7881   | –              | 8,2          | 30         | 0,000430    |
| Контртело                                 | 45,2172   | 45,2043   | 0,0129         |              |            |             |

пытаний приведены в таблице, где  $\Delta M = M_1 - M_2$ ;  $F_{тр}$  — сила трения;  $\tau$  — продолжительность испытания; знак «—» означает что, изменение массы тела или контртела меньше либо равно погрешности весов (0,0004 г).

Из таблицы следует, что наименьший массовый износ контртела (0,000431 г/ч) имеют пары трения Ф5К15М5–полиамид 6 и АФГМ–полиамид 6 (0,000430 г/ч), а наименьшую силу трения (5,5 Н) — пара трения Ф4К15М5–сталь 45.

## Вывод

Подтверждено предположение о том, что использование гильзы из антифрикционного самосмазывающегося материала позволяет почти полностью исключить износ поршневого кольца, вследствие чего появляется возможность продлить срок службы зарубежного оборудования. При критическом износе гильзы ее заменяют с минимальными потерями для производства.

## Литература

- [1] Захаренко В.П. *Основы теории уплотнений и создание поршневых компрессоров без смазки*. Дисс. ... док. тех. наук. Санкт-Петербург, СПбГУНиПТ, 2001. 159 с.
- [2] Новиков И.И., Захаренко В.П., Ландо Б.С. *Бессмазочные поршневые уплотнения в компрессорах*. Ленинград, Машиностроение, 1981. 238 с.
- [3] Щерба В.Е. *Теория, расчет и конструирование поршневых компрессоров объемного действия*. Москва, Юрайт, 2023. 323 с.
- [4] Никифоров А.Г., Анатольевна М.Л. Анализ работы одноступенчатых поршневых компрессоров при различных режимах эксплуатации. *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*, 2023, т. 7, № 3, с. 9–14, <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2023-7-3-9-14>
- [5] Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Баршадский Л.И. *Надежность и долговечность машин*. Киев, Техніка, 1975. 408 с.
- [6] ГОСТ 31843–2013. Нефтяная и газовая промышленность. *Компрессоры поршневые*. Общие технические требования. Москва, Стандартинформ, 2015. 173 с.
- [7] *Дайджест Нефтегаз*, 2018, № 4. 22 с.
- [8] Алиев В.И., Гасанов И.И. Повышения эффективности уплотнения компрессорных цилиндров газомотокомпрессоров в системе газлифтной добычи нефти морских месторождений. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2023, № 6, с. 96–101.
- [9] Кульбякина А.В., Савельева А.И., Озеров Н.А. и др. Системный анализ как инструмент реализации малоотходного и безотходного производства на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*, 2023, т. 7, № 3, с. 36–45, doi: <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2023-7-3-36-45>
- [10] Крагельский И.В. *Трение и износ*. Москва, Машиностроение, 1968. 480 с.
- [11] Гаркунов Д.Н. *Триботехника. Конструирование, изготовление и эксплуатация машин*. Москва, Изд-во МСХА, 2002. 632 с.
- [12] Ястребова Н.А., Кондаков А.И., Лубенец В.Д. и др. *Технология компрессоростроения*. Москва, Машиностроение, 1987. 336 с.
- [13] Корсаков В.С. *Основы технологии машиностроения*. Москва, Высшая школа, 1974. 335 с.
- [14] Корсаков В.С., Замятин В.К., ред. *Сборка и монтаж изделий машиностроения*. Москва, Машиностроение, 1983. 480 с.
- [15] Трухин А.Х. *Повышение надежности и долговечности поршневых компрессорных машин*. Москва, Машиностроение, 1972. 176 с.
- [16] Кобыльский Р.Э., Бусаров С.А. Прогнозирование ресурса работы цилиндропоршневых уплотнений поршневых компрессоров. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2023, № 3, с. 38–41.
- [17] Кобыльский Р.Э. Применение комбинированного уплотнения для снижения нагрузки, действующей на цилиндропоршневое уплотнение. *Вестник БГТУ им. Шухова*, 2022, № 7, с. 117–125, doi: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-7-117-125>

## References

- [1] Zakharenko V.P. *Osnovy teorii uplotneniy i sozдание porshnevnykh kompressorov bez smazki*. Diss. dok. tekhn. nauk [Fundamentals of seal theory and development of piston compressors without lubrication. Doc. tech. sci. diss.]. Sankt-Petersburg, SPbGUNIPT Publ., 2001. 159 p. (In Russ.).
- [2] Novikov I.I., Zakharenko V.P., Lando B.S. *Bessmazochnye porshnevnye uplotneniya v kompressorakh* [Lubricantless piston seals in compressors]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1981. 238 p. (In Russ.).
- [3] Shcherba V.E. *Teoriya, raschet i konstruirovaniye porshnevnykh kompressorov obemnogo deystviya* [Theory, calculation and design of reciprocating compressors of volumetric action]. Moscow, Yurayt Publ., 2023. 323 p. (In Russ.).
- [4] Nikiforov A.G., Anatolyevna M.L. The analysis of single-stage piston compressors operation under various conditions. *Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatcionno-raketnoe i energeticheskoe mashinostroenie* [Omsk Scientific Bulletin. Ser. Aviation-Rocket and Power Engineering], 2023, vol. 7, no. 3, pp. 9–14, <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2023-7-3-9-14> (in Russ.).
- [5] Kostetskiy B.I., Nosovskiy I.G., Barshadskiy L.I. *Nadezhnost i dolgovechnost mashin* [Reliability and durability of machines]. Kiev, Tekhnika Publ., 1975. 408 p. (In Russ.).
- [6] GOST 31843–2013. *Neftyanaya i gazovaya promyshlennost. Kompresory porshnevnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [State standard GOST 31843–2013. Petroleum and natural gas industries. Reciprocating compressors. General technical requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 173 p. (In Russ.).
- [7] *Neftgaz Digest*, 2018, no. 4. 22 p. (In Russ.).
- [8] Aliev V.I., Gasanov I.I. Increase of efficiency of sealing of compressor cylinders of gas motor compressors in the system of gas-lift oil production of offshore fields. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2023, no. 6, pp. 96–101. (In Russ.).
- [9] Kulbyakina A.V., Savelyeva A.I., Ozerov N.A. et al. System analysis as a tool for implementing low-waste and waste-free production at oil and gas industry enterprises. *Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatcionno-raketnoe i energeticheskoe mashinostroenie* [Omsk Scientific Bulletin. Ser. Aviation-Rocket and Power Engineering], 2023, vol. 7, no. 3, pp. 36–45, doi: <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2023-7-3-36-45> (in Russ.).
- [10] Kragelskiy I.V. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 480 p. (In Russ.).
- [11] Garkunov D.N. *Tribotekhnika. Konstruirovaniye, izgotovleniye i ekspluatatsiya mashin* [Tribotechnology. Design, manufacture and operation of machines]. Moscow, Izd-vo MSKhA Publ., 2002. 632 p. (In Russ.).
- [12] Yastrebova N.A., Kondakov A.I., Lubenets V.D. et al. *Tekhnologiya kompressorostroeniya* [Technology of compressor design]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 336 p. (In Russ.).
- [13] Korsakov V.S. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Fundamentals of machine building technology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 335 p. (In Russ.).
- [14] Korsakov V.S., Zamyatin V.K., eds. *Sborka i montazh izdeliy mashinostroeniya* [Assembly of machine-building products]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 480 p. (In Russ.).
- [15] Trukhin A.Kh. *Povysheniye nadezhnosti i dolgovechnosti porshnevnykh kompressornykh mashin* [Increase of reliability and durability of piston compressor machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 176 p. (In Russ.).
- [16] Kobylskiy R.E., Busarov S.A. Prediction of the service life of cylinder piston seals of reciprocating compressors. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, 2023, no. 3, pp. 38–41. (In Russ.).
- [17] Kobylskiy R.E. The use of a combined seal to reduce the load acting on the cylinder piston seal. *Vestnik BGTU im. Shukhova* [Bulletin of Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov], 2022, no. 7, pp. 117–125, doi: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-7-117-125> (in Russ.).

## Информация об авторах

**КОБЫЛЬСКИЙ Роман Эдуардович** — аспирант кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология». ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: roman.kobilsky@gmail.com).

**БУСАРОВ Сергей Сергеевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология». ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644050, Омск, Российская Федерация, пр. Мира, д. 11, e-mail: bssi1980@mail.ru).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Кобыльский Р.Э., Бусаров С.С. Способ повышения ресурса импортных поршневых уплотнений в период действия санкционного режима. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 7, с. 88–94.

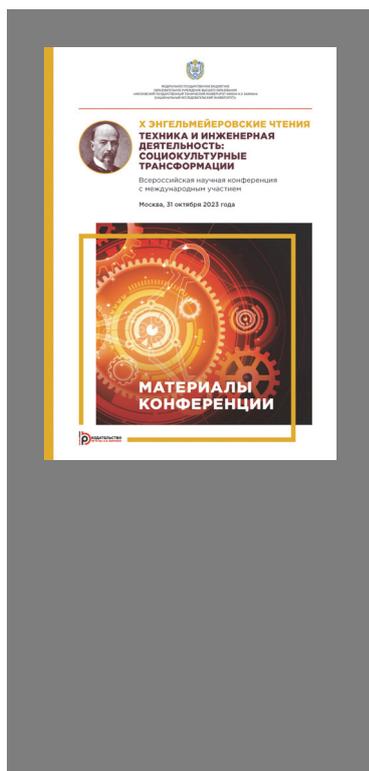
### Please cite this article in English as:

Kobylsky R.E., Busarov S.S. A way to increase service life of the imported piston seals during the period of the sanctions'. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 7, pp. 88–94.

## Information about the authors

**KOBYLSKY Roman Eduardovich** — Postgraduate, Department of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: roman.kobilsky@gmail.com).

**BUSAROV Sergei Sergeevich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Refrigeration and Compressor Engineering and Technology. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: bssi1980@mail.ru).



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
предлагает читателям материалы конференции

### «X Энгельмейеровские чтения. Техника и инженерная деятельность: социокультурные трансформации»

Всероссийская научная конференция с международным участием «Энгельмейеровские чтения» проводится с 1997 года. После продолжительного перерыва была возобновлена традиция ежегодного проведения чтений. П.К. Энгельмейер — российский энциклопедист, выпускник Императорского Московского технического училища, инженер-изобретатель, популяризатор технической мысли, основатель философии техники в России. В сборнике публикуются материалы юбилейных X Энгельмейеровских чтений. В конференции участвовали преподаватели, магистранты и студенты МГТУ им. Н.Э. Баумана, других московских вузов и представители ближнего зарубежья. Ответственность за содержание материала принадлежит авторам и научным руководителям.

### По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>