

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

В статье рассмотрены вопросы повышения долговечности машин и механизмов на различных стадиях жизненного цикла изделия. Показаны составляющие, от которых зависит долговечность техники. Приведены требования к материалам анода, составу рабочей жидкости, результаты испытаний при реализации технологии репарации. Представлены результаты разработанной и запатентованной технологии повышения долговечности деталей трибосистем; получены новые составы рабочих жидкостей для реализации способа репарации и обработки деталей на этапе изготовления; разработаны, изготовлены и испытаны в условиях эксплуатации новые устройства, повышающие ресурс деталей на различных этапах жизненного цикла изделия, новые стенды для проведения испытаний разработанных технологий. Разработанные способы, устройства узлов машин и механизмов, позволяющие реализовать компенсацию износа при эксплуатации, обеспечивают значительное (в 1,5–3 раза) повышение ресурса.

**Ключевые слова:** надежность, долговечность, сохраняемость, коэффициент технической готовности, машины и механизмы, эффективность.

Ресурс машин напрямую связан с показателями эффективности использования. Расход горюче-смазочных материалов, стоимость технического обслуживания и ремонта, коэффициент технического использования зависят от свойств, заложенных в конструкцию при разработке и производстве изделия. Наличие отработанной документации на производство, эксплуатацию и ремонт изделия, совершенного оборудования для изготовления, обслуживания и ремонта, высококвалифицированного персонала — залог достижения поставленных целей при разработке высокотехнологичной продукции.

Организация производственного процесса, контроль качества комплектующих, выходной контроль сборочных единиц и изделия в целом позволяют выполнить поставленные в техническом задании цели.

Расходы на производство с каждым годом растут из-за повышения цен на энергоносители, стоимости материалов, транспортных расходов и других.

Низкая долговечность машин и изделий связана с износом узлов трения.

Ежегодно в мире расходуются сотни миллиардов долларов на восстановление узлов и механизмов из-за износа. Это приводит к снижению основных показателей эксплуатации машин. Ремонт требует значительно больших затрат, чем само их производство. До 95 % выхода из строя машин происходит из-за износа. Повышение долговечности только на 10 % может сократить расходы в десятки миллиардов рублей. Причиной досрочного выхода из строя могут быть недостатки при проектирова-

нии, изготовлении, неправильной эксплуатации. Приблизительно равные доли по значимости имеют эти факторы, они отличаются в зависимости от конкретных условий.

Замена на ряде производств ГОСТов СТП внутренними требованиями, устранение на каждом предприятии программ обеспечения надежности привели к снижению ресурса выпускаемых изделий. Так, пробег без капитального ремонта отечественных автомобилей в разы ниже, чем зарубежных.

В России имеется значительное количество выдающихся работ фундаментальной науки в области повышения долговечности машин и механизмов. Но от разработки до внедрения в производство проходит много времени, финансирование НИОКР значительно отстает от ведущих стран в этой области.

Как указывалось, неоднократно в документах, производительность труда на отечественных предприятиях значительно ниже, чем на зарубежных. И причина в этом не лень или недостаток навыков наших специалистов (при переходе их на предприятия за рубежом они показывают отличные результаты), а отсутствие эффективной системы управления производством (управления проектами).

Отдельно остановимся на системе подготовки специалистов в области общего машиностроения. Такая важная дисциплина, как теория решения инженерных задач отсутствует в инженерных вузах, может, потому, что программу и тематический план подготовки специалистов педагоги готовят под свой уровень знаний.

В плане новых технологий повышения долговечности механизмов в статье рассмотрен способ регенерации трущихся деталей машин и механизмов, который предполагает восстановление массы изношенного слоя детали с использованием вещества и энергии от сторонних источников [1].

Основное влияние на эффективность процесса репарации оказывает материал анода, плотность тока в цепи анод-катод, концентрация и ингридиенты рабочей жидкости.

Рабочая жидкость должна обеспечивать низкий коэффициент трения и перенос ионов анода на катод, поэтому масла нефтяного происхождения не отвечают предъявляемым требованиям.

Анализ существующих масел для работы машин и механизмов, исследования и испытания позволили определить круг масел, позволяющих реализовать предлагаемую технологию [2, 3].

Рабочая среда должна обеспечивать смазку трущихся поверхностей, охлаждать детали машин и механизмов, удалять продукты трения, защищать от электрохимической коррозии [4]. Лучшими показателями обладают жидкости типа АМГ-10, МГЕ-10.

Эти смазки маловязкие с  $v_{50} = 4...5$  мм<sup>2</sup>/с и  $v_{-50} = 500$ ; всесезонные с  $v_{50} = 10$  и  $v_{-50} \leq 1500$ ; средневязкие с  $v_{50} = 15$  и  $v_{-50} \leq 4000$ ; вязкие с  $v_{50} = 25...30$  мм<sup>2</sup>/с.

Смазка на основе полиэтиленгликоля ПГВ (ТУ 6-02-762-78) рекомендуется для использования в гидросистемах. Показатели этой жидкости:  $\rho = 1,15$  г/см<sup>3</sup>;  $v_{50} = 12...14$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_{20} = 44...51$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_0 = 160$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_{-53} = 4000$  мм<sup>2</sup>/с;  $\vartheta_3 < -50$  °С;  $pH = 8,2...8,85$ ;  $p_i = 18$  кПа при 60 °С;  $c = 2,5...2,6$  кДж/кг·°С при  $\vartheta = 20$  °С, испаряемость 8,4 % при 60 °С; массовая доля воды 33,5–32,0 %. Состав ПГВ — смазочный материал, негорючий, при температуре 425 °С компоненты, входящие в состав жидкости, воспламеняются.

Кроме ПГВ, рекомендуется применять смазки П20, П20М1, М20М2 (ТУ 6-02-1140-78) со следующими характеристиками:  $\rho = 1,145...1,155$  г/см<sup>3</sup>;  $v_{50} = 60...90$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_3 = -10$  °С;  $pH = 5,2...8,7$ , температура самовоспламенения 420 °С; П20М1:  $\rho = 1,125...1,140$  г/см<sup>3</sup>;  $v_{50} = 18...25$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_{20} = 50...90$  мм<sup>2</sup>/с;  $\vartheta_3 = -30$  °С;  $pH = 8,1...8,6$ ; П20М2:  $\rho = 1,145...1,155$  г/см<sup>3</sup>;  $v_{50} = 20...27$  мм<sup>2</sup>/с;  $v_{20} = 65...100$  мм<sup>2</sup>/с;  $\vartheta_3 = -45$  °С. Эти жидкости различаются наличием различных присадок и их концентраций.

Лучшие результаты при исследованиях показала рабочая смазочная жидкость на основе полиэтиленгликоля с характеристиками ( $M = 4000$  г/моль), воскообразным веществом ( $M = 4000...6000$  г/моль) и твердым веществом ( $M > 6000$  г/моль).

Разновидностью этой жидкости является ПЭГ–35  $M = 1500$  г/моль и ПЭГ–115  $M = 5000$  г/моль.

Важным показателем используемых водно-глицириновых составов является их электрическое сопротивление, которое определяется по формуле:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L}, [\text{Ом} \cdot \text{м}],$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление базовой жидкости;  
 $R$  — сопротивление объема базовой жидкости в ячейке;

$S$  — площадь поверхности платинового электрода;

$L$  — расстояние между электродами.

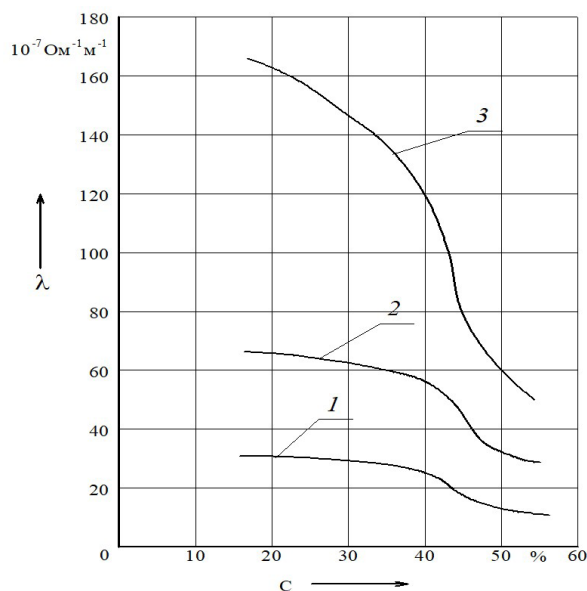


Рис. 1. Графическое представление свойств рабочей жидкости от температуры: 1 — 20 °С; 2 — 50 °С; 3 — 80 °С

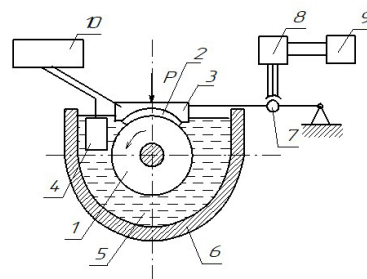


Рис. 2. Схема лабораторной установки для испытания рабочих жидкостей: 1 — образец для испытаний; 2 — контртело; 3 — держатель контртела; 4 — вставка — анод; 5 — смазочная рабочая жидкость; 6 — ячейка; 7 — тензометрическое кольцо; 8 — тензоусилитель; 9 — осциллограф; 10 — источник тока

Показатель удельной проводимости определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{\rho}, [\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}],$$

Результаты исследований представлены на рис. 1. Для определения требуемого результата функционирования системы (весовой износ за единицу времени) потребовалось исследовать влияние различных сочетаний влияющих параметров:

$$y = f(x) = f(x_1, x_2...x_n).$$

Экспериментальные испытания проводились на типовых парах трения, предназначенных для машины СМТ-1 (рис. 2).

Область экспериментирования ограничена тремя определяющими факторами:

$$j - (x) - 17,7...45,5 \text{ Ам}^{-2};$$

$$C - (y) - 35...55 \%;$$

$$\varphi^0 - (z) - 0,126...0,763 \text{ В.}$$

Основным показателем эффективности трибо-системы принят весовой износ:

$$J = J_1 + \frac{l}{2\pi R} \cdot J_2,$$

где  $J_1$  — интенсивность изнашивания «колодки»;  
 $J_2$  — интенсивность изнашивания «вала»;  
 $l$  — наибольший путь трения точек «вала» (дли-  
на сектора «колодки» при контакте);  
 $R$  — радиус сочленения «колодки» с «валом».  
При этом интенсивность изнашивания «колод-  
ки» определялась по формуле:

$$J_1 = \frac{\Delta q_1}{2\pi R n F \gamma_1},$$

где  $\Delta q_1$  — потеря массы «колодки» за время испы-  
тания;

$R$  — радиус сочленения «колодки» с «валом»;

$n$  — количество оборотов (циклов) за время ис-  
пытания;

$F = l \cdot b_1$  — площадь контакта «колодки» с «ва-  
лом»;

$l$  — длина сектора «колодки» при контакте  
(определялась по методике расчета подшипника  
скольжения на износ  $i$ ;

$b_1$  — ширина «колодки»;

а интенсивность изнашивания «вала» определялась  
по формуле:

$$J_2 = \frac{\Delta q_2}{2\pi R n b_2 l \gamma_2},$$

где  $\Delta q_2$  — потеря массы «вала» за время испытания;

$R$  — радиус «вала» (радиус сочленения);

$b_2$  — ширина «вала»;

$l$  — наибольший путь трения точек поверхности  
«вала» (длина сектора «колодки» при контакте);

$\gamma_2$  — плотность материала «вала».

Итогом экспериментальных исследований явля-  
ется зависимость изнашивания от величины элек-  
трического тока (рис. 3), концентрации загустителя  
(рис. 4), электродного потенциала материала анода  
(рис. 5).

При функционировании любой машины и меха-  
низма с применением репарации присутствует два  
процесса: износ и компенсация износа. Износ опре-  
деляется формулой:

$$u = Vt; u = VL,$$

где  $V$  — скорость износа,  $t$  — время,  $L$  — путь  
трения.

Условие стабильного состояния системы:

$$m_{\text{осаждения}} - m_{\text{изнашивания}} = k,$$

причем, если  $k > 0$ , идет восстановление;  $k < 0$  — из-  
нос;  $k = 0$  — стабилизация состояния.

Интенсивность восстановления изнашивае-  
мых деталей машин зависит от величины элек-  
трического тока, электрохимического потенциала  
анода и свойств рабочей жидкости, применяемой  
в системе:

$$dm_2 / dt = \eta \epsilon \chi u / \rho,$$

где  $\eta$  — выход по току;

$\epsilon$  — электрохимический эквивалент материала  
анода;

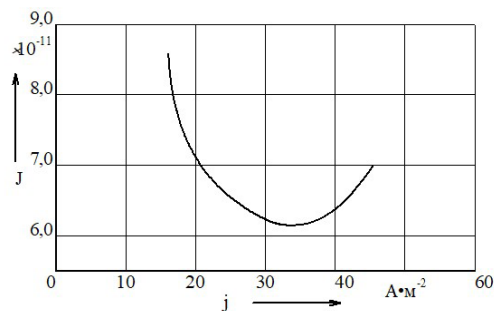


Рис. 3. Интенсивность износа от величины тока  
в цепи анод-катод (пара трения —  
сталь 45–БрОСЦ-5-5;  $N = 1600$  Н;  $V = 2,1$  м·с<sup>-1</sup>)

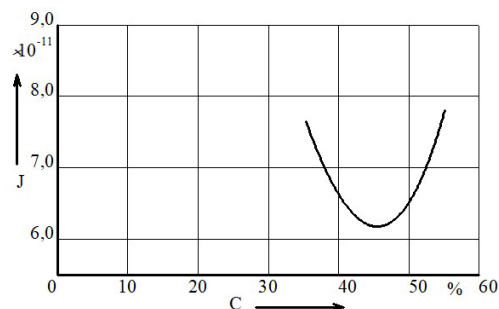


Рис. 4. Показатели эффективности  
функционирования трибосистемы  
для различных пар трения  
(пара трения — сталь 45–БрОСЦ-5-5;  
 $N = 1600$  Н;  $V = 2,1$  м·с<sup>-1</sup>)

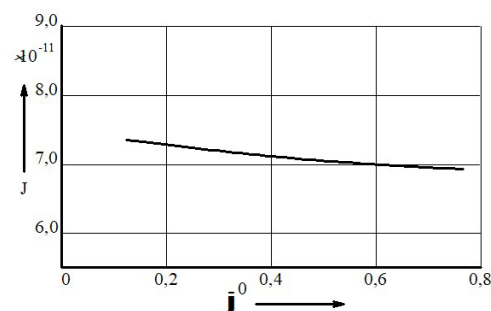


Рис. 5. Износоустойчивость материала в зависимости  
от материала анода  
(пара трения — сталь 45–БрОСЦ-5-5;  
 $N = 1600$  Н;  $V = 2,1$  м·с<sup>-1</sup>)

$\chi$  — удельная проводимость рабочей жидкости;

$u$  — напряжение на электродах;

$\rho$  — межэлектродный зазор.

Показатели движения рабочей жидкости — ла-  
минарное перемещение:

$$dm_1 / dt = \rho D \frac{d_c}{d_y},$$

где  $\rho$  — плотность рабочей жидкости (2500...  
3000 кг/м<sup>3</sup>);

$D$  — коэффициент диффузии, изменяется в за-  
висимости от концентрации электролита и его тем-  
пературы;

$c$  — массовая концентрация продуктов обра-  
ботки;

$y$  — длина по направлению, перпендикулярному  
обрабатываемой поверхности.

Для установившегося режима диффузии:

$$d_c/d_y \approx (c_a - c_{вх})/\delta,$$

где  $c_a$  — концентрация ионов металла в рабочей жидкости ( $c_a = 0,92...0,97$ );

$c_{вх}$  — массовая доля продуктов обработки в рабочей жидкости на входе в рабочую зону;

$\delta$  — толщина диффузионного слоя.

Глубина проникновения ионов металла в поверхностный слой обрабатываемых деталей имеет зависимость:

$$\delta = R\sqrt{v l_p / v^1} / \sqrt[3]{v / D},$$

где  $R = 4,64$  — безразмерный коэффициент;

$v$  — кинематическая вязкость жидкости в пределах диффузионного слоя:  $v = 1,2...1,8$  мм<sup>2</sup>/с;

$l_p$  — длина участка детали, на котором происходит осаждение металла в течение электролита, мм;

$v^1$  — средняя по потоку скорость течения жидкости, мм/с;

$D$  — коэффициент диффузии.

Получим формулу для расчета  $v^1$ :

$$v^1 < \frac{R^2 v l_p \eta^2 \epsilon^2 \chi^2 u^2}{\rho^2 D^2 (c_a - c_{вх})^2 \rho^2 (v / D)^{2/3}}.$$

Процесс протекает при растворении материала анода, транспортировании его при помощи циркуляционной рабочей жидкости к трущимся деталям и осаждения на их поверхности ионов металла за счет разности электродных потенциалов анода и катода [5–8].

Процесс трибоэлектрохимической компенсации износа требует незначительных мощностей (в пределах 40...100 Вт) и позволяет в несколько раз увеличить ресурс машины или механизма.

В ходе исследования разработаны и запатентованы: новая технология повышения долговечности деталей трибосистем, получены новые составы рабочих жидкостей для реализации способа репарации и обработки деталей на этапе изготовления; разработаны, изготовлены и испытаны в условиях эксплуатации новые устройства, повышающие ресурс деталей на различных этапах жизненного цикла изделия, новые стенды для проведения испытаний разработанных технологий [9–11].

Разработанные способы, устройства узлов машин и механизмов, позволяющие реализовать компенсацию износа при эксплуатации, обеспечивают значительное (в 1,5–3 раза) повышение ресурса.

#### Библиографический список

1. Шаргаев А. А., Макаренко Н. Г., Мамей С. А. [и др.]. Методика повышения долговечности опор качения двигателя внутреннего сгорания электрохимикомеханической обработкой // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 36–40.
2. Рыжкин А. А., Шучев К. Г., Фоминов Е. В. Труды Южного научного центра Российской академии наук. Т. 2. Физика. Механика. Техника / под ред. академика Г. Г. Матишова. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. 344 с. ISBN 978-5-902982-19-7.
3. Чулкин С. Г., Алексеев С. П., Бреки А. Д. [и др.]. Снижение износа и энергетических потерь на трение в оборудовании механической обработки посредством применения консистентных смазочных материалов: моногр. Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. 194 с. ISBN 978-5-7679-4394-4.
4. Бреки А. Д., Гвоздев А. Е., Колмаков А. Г. Использование обобщенного треугольника Паскаля для описания коле-

баний силы трения материалов // Материаловедение. 2016. № 11. С. 3–8. EDN WZRDJ.

5. Бреки А. Д., Чулкин С. Г., Гвоздев А. Е. [и др.]. Обобщенная математическая модель внешнего трения скольжения твердых тел // Материаловедение. 2021. № 10. С. 44–48. DOI: 10.31044/1684-579X-2021-0-10-44-48. EDN HXVMDA.

6. Бреки А. Д., Чулкин С. Г., Гвоздев А. Е. [и др.]. Закономерности трения скольжения стали Р6М5 по стали 45 в среде смазочного материала Литол-24 с дисперсными частицами // Деформация и разрушение материалов. 2021. № 10. С. 28–34. DOI: 10.31044/1814-4632-2021-10-28-34. EDN XGVNTU.

7. Яхимович В. А., Бреки А. Д., Альхименко А. А. [и др.]. Методика исследования износа резьбы буровых труб при многократном свинчивании и выдержке под нагрузкой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 8–20. DOI: 10.21869/2223-1560-2020-24-3-8-20.

8. Программа для ЭВМ № 2018664179 RU. Программный комплекс для расчета напряженного и деформированного состояния металлических, порошковых, аморфных, неметаллических, наноструктурных композиционных систем и материалов конструкционного, инструментального и триботехнического назначения в различных условиях / Гвоздев А. Е., Журавлев Г. М., Минаев И. В. [и др.]. № 2018660758; заявл. 05.10.18; опубл. 12.11.18. Бюл. № 11.

9. Пат. 2694683 Российская Федерация, МПК F 02 D 17/04. Электролит для электрохимикомеханического упрочнения сталей. Устройство защиты двигателя танка от аварийных ситуаций / Макаренко Н. Г., Шаргаев А. А., Винник А. И. [и др.]. № 2017102818; заявл. 27.01.17; опубл. 16. 07.19. Бюл. № 20.

10. Пат. 181414 Российская Федерация, МПК F 16 C 41/02. Устройство для приработки и повышения долговечности подшипника качения / Макаренко Н. Г., Шаргаев А. А. [и др.]. № 2017127866; заявл. 03.08.17; опубл. 13.07.218. Бюл. № 20.

11. Пат. 2554236 Российская Федерация, МПК В 24 С 7/00. Способ безразборного восстановления трущихся сопряжений двигателя дизель-генераторной установки локомотива / Макаренко Н. Г., Войчак С. А., № 2013141964; заявл. 13.09.13; опубл. 27.05.15. Бюл. № 24.

**МАКАРЕНКО Николай Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент (Россия), старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (экспериментальных исследований и испытаний) Военного инновационного технополиса «ЭРА», г. Анапа. Адрес для переписки: era\_1@mil.ru

**ЯКОВЛЕВА Юлия Сергеевна**, научный сотрудник научно-исследовательского отдела (экспериментальных исследований и испытаний) Военного инновационного технополиса «ЭРА», г. Анапа.

SPIN-код: 3474-0490

AuthorID (РИНЦ): 657954

Адрес для переписки: era\_1@mil.ru

**МИХАЛЕВИЧ Олег Алексеевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела (экспериментальных исследований и испытаний) Военного инновационного технополиса «ЭРА», г. Анапа.

Адрес для переписки: era\_1@mil.ru

#### Для цитирования

Макаренко Н. Г., Яковлева Ю. С., Михалевич О. А. Способы повышения долговечности машин и механизмов // Омский научный вестник. 2023. № 3 (187). С. 39–44. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-39-44.

Статья поступила в редакцию 20.02.2023 г.

© Н. Г. Макаренко, Ю. С. Яковлева, О. А. Михалевич

## WAYS TO INCREASE THE DURABILITY OF MACHINES AND MECHANISMS

The article deals with the issues of increasing the durability of machines and mechanisms at various stages of the product life cycle. The components on which the durability of equipment. The requirements for the anode materials, the composition of the working fluid, the test results for the implementation of the reparation technology are given. The results of the developed and patented technology for increasing the durability of tribosystem parts are presented, new compositions of working fluids are obtained to implement the method of repair and processing of parts at the manufacturing stage, new devices are developed, manufactured and tested under operating conditions that increase the life of parts at various stages of the product life cycle, new stands for testing of developed technologies. The developed methods, arrangements of machine and mechanism units, which allow to implement wear compensation during operation, provide a significant (1.5–3 times) increase in the resource.

**Keywords:** reliability, durability, storability, coefficient of technical readiness, machines and mechanisms, efficiency.

### References

1. Shargayev A. A., Makarenko N. G., Mamey S. A. [i dr.]. Metodika povysheniya dolgovechnosti opor kacheniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya elektrokhimikomekhanicheskoy obrabotkoy [Durability improvement of rolling-contact bearings in internal combustion engine by electrochemical and mechanical processing] // Omskiy nauchnyy vestnik. *Omsk Scientific Bulletin*. 2017. no. 6 (156). P. 36–40. (In Russ.).
2. Ryzhkin A. A., Shuchev K. G., Fominov E. V. Trudy Yuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. T. 2. Fizika. Mekhanika. Tekhnika [Studies of the Southern scientific center of the Russian academy of science. Vol. 2. Physics. Mechanics. Technic] / ed. by G. G. Matishov. Rostov-on-Don, 2007. 344 p. ISBN 978-5-902982-19-7. (In Russ.).
3. Chulkin S. G., Alekseev S. P., Breki A. D., Gvozdev A. E. Snizheniye iznosa i energeticheskikh poter' na treniye v oborudovanii mekhanicheskoy obrabotki posredstvom primeneniya konsistentnykh smazochnykh materialov [Reduction of wear and friction energy losses in mechanical processing equipment through the use of greases]. Tula, 2019. 194 p. ISBN 978-5-7679-4394-4. (In Russ.).
4. Breki A. D., Gvozdev A. E., Kolmakov A. G. Ispol'zovaniye obobshchennogo treugol'nika Paskalya dlya opisaniya kolebaniy sily treniya materialov [Use of generalized Pascal pyramid for fluctuation description of friction force of materials] // Materialovedeniye. *Materials Science*. 2016. No. 11. P. 3–8. EDN WZRDIJ. (In Russ.).
5. Breki A. D., Chulkin S. G., Gvozdev A. E. [et al.]. Obobshchennaya matematicheskaya model' vneshnego treniya skol'zheniya tverdykh tel [Generalized mathematical model of external sliding friction of solids] // Materialovedeniye. *Materials Science*. 2021. No. 10. P. 44–48. DOI: 10.31044/1684-579X-2021-0-10-44-48. EDN HXVMDA. (In Russ.).
6. Breki A. D., Chulkin S. G., Gvozdev A. E. [et al.]. Zakonomernosti treniya skol'zheniya stali R6M5 po stali 45 v

среде смазочного материала Litol-24 с дисперсными частистами [Regularities of sliding friction of steel R6M5 on steel 45 in environment of Litol-24 lubricant with dispersed graphite particles] // Deformatsiya i razrusheniye. *Deformation and Fracture of Materials*. 2021. No. 10. P. 28–34. DOI: 10.31044/1814-4632-2021-10-28-34. EDN XGVNTU. (In Russ.).

7. Yakhimovich V. A., Breki A. D., Alkhimenko A. A. [et al.]. Metodika issledovaniya iznosa rez'by buril'nykh trub pri mnogokratnom svinchivani i vyderzhke pod nagruzkoy [Methodology for studying the wear of drill pipe threads during repeated making up and holding under load] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. *Proceedings of Southwest State University*. 2020. Vol. 24, no. 3. P. 8–20. DOI: 10.21869/2223-1560-2020-24-3-8-20. (In Russ.).

8. Computer Program 2018664179 Russian Federation. Programmnyy kompleks dlya rascheta napryazhennogo i deformirovannogo sostoyaniya metallicheskih, poroshkovykh, amorfnykh, nemetallicheskih, nanostrukturnykh kompozitsionnykh sistem i materialov konstruksionnogo, instrumental'nogo i tribotekhnicheskogo naznacheniya v razlichnykh usloviyakh [Software package for calculating the stressed and deformed state of metallic, powdered, amorphous, non-metallic, nanostructured composite systems and materials for structural, instrumental and tribotechnical purposes in various conditions] / Gvozdev A. E., Zhuravlev G. M., Minayev I. V. [et al.]. No. 2018660758. (In Russ.).

9. Patent 2694683 Russian Federation, IPC F 02 D 17/04. Elektrolit dlya elektrokhimikomekhanicheskogo uprochneniya staley [Electrolyte for electrochemical mechanical hardening of steel] / Makarenko N. G., Shargayev A. A., Vinnik A. I. [et al.]. No. 2017102818. (In Russ.).

10. Patent 181414 Russian Federation, IPC F 16 C 41/02. Ustroystvo dlya prirabotki i povysheniya dolgovechnosti podshipnika kacheniya [A device for running-in and increasing the durability of a rolling bearing] / Makarenko N. G., Shargayev A. A. [et al.]. No. 2017127866. (In Russ.).



11. Patent 2554236 Russian Federation, IPC B 24 C 7/00. Sposob bezrazbornogo vosstanovleniya trushchikhsya sopryazheniy dvigatelya dizel'-generatornoy ustanovki lokomotiva [A method of non-disassembly restoration of rubbing interfaces of the engine of a diesel generator set of a locomotive] / Makarenko N. G., Voychak S. A. No. 2013141964. (In Russ.).

**MAKARENKO Nikolay Grigoryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Research (Experimental Research and Testing) Department, Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa.

Correspondence address: era\_1@mil.ru

**YAKOVLEVA Yuliya Sergeevna**, Researcher of Research (Experimental Research and Testing) Department, Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa.

SPIN-code: 3474-0490

AuthorID (RSCI): 657954

Correspondence address: era\_1@mil.ru

**MIKHALEVICH Oleg Alekseyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Research (Experimental Research and Testing) Department, Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa.

Correspondence address: era\_1@mil.ru

#### For citations

Makarenko N. G., Yakovleva Yu. S., Mikhalevich O. A. Ways to increase the durability of machines and mechanisms // Omsk Scientific Bulletin. 2023. No. 3 (187). P. 39–44. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-39-44.

Received February 20, 2023.

© N. G. Makarenko, Yu. S. Yakovleva, O. A. Mikhalevich