

ISSN 0202-4977

**Т**РЕНИЕ  
И **И**ЗНОС

**F**RICTION  
and **W**EAR

TOM  
VOL. **40**

**4**  

---

**2019**

## Международный научный журнал “ТРЕНИЕ И ИЗНОС”

Главный редактор: **А. Я. Григорьев** (Беларусь)

Заместители главного редактора: **И. Г. Горячева** (Россия), **Н. К. Мышкин** (Беларусь), **А. И. Свириденко** (Беларусь)

Ответственный секретарь: **И. Н. Ковалева** (Беларусь)

### Редакционная коллегия:

**А. В. Белый** (Беларусь), **Ф. М. Бородич** (Великобритания), **М. А. Броневец** (Россия), **Б. Бушан** (США),  
**И. А. Буяновский** (Россия), **Веймин Лю** (КНР), **П. А. Витязь** (Беларусь), **И. И. Гарбар** (Израиль),  
**Н. Ф. Дмитриченко** (Украина), **С. Ф. Ермаков** (Беларусь), **С. М. Захаров** (Россия), **А. Ф. Ильющенко** (Беларусь),  
**В. И. Колесников** (Россия), **А. П. Краснов** (Россия), **Э. Кюлли** (Италия), **А. Мэтьюз** (Великобритания),  
**Ю. Падгурскас** (Литва), **Г. Стаховяк** (Австралия), **С. А. Чижик** (Беларусь), **Ф. Франек** (Австрия),  
**К. Фридрих** (Германия), **К. Холмберг** (Финляндия), **М. Щерек** (Польша), **А. Эрлемир** (США)

### Редакционный совет:

**В. Н. Адериха** (Беларусь), **Н. Антонеску** (Румыния), **В. Н. Анциферов** (Россия), **В. Ф. Безязычный** (Россия),  
**А. В. Белецкий** (Беларусь), **П. Н. Богданович** (Беларусь), **А. Н. Болотов** (Россия), **М. В. Голуб** (Беларусь),  
**А. Х. Джанахмедов** (Азербайджан), **А. А. Евтушенко** (Польша), **Б. Ивкович** (Сербия), **В. В. Клубович** (Беларусь),  
**А. В. Колубаев** (Россия), **Ю. М. Лужнов** (Россия), **Ю. К. Машков** (Россия), **В. В. Мешков** (Россия),  
**Ф. И. Пантелеенко** (Беларусь), **Ю. М. Плескачевский** (Беларусь), **Л. И. Погодаев** (Россия), **А. П. Семенов** (Россия),  
**И. А. Солдатенков** (Россия), **Г. М. Сорокин** (Россия), **А. Г. Суслов** (Россия), **Я. Суханек** (Чехия),  
**О. В. Холодильов** (Беларусь), **А. С. Чаус** (Словакия), **С. Г. Чулкин** (Россия), **В. М. Шаповалов** (Беларусь)

### Адрес редакции:

Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32-а  
телефон: +375 (232) 34-06-36, факс: +375 (232) 34-17-11  
e-mail: mpri@tut.by, fwj@tut.by  
<http://mpri.org.by/izdaniya/trenie-i-iznos/>

## International Scientific Journal of Friction and Wear

Editor-in-Chief: **A. Ya. Grigoriev** (Belarus)

Deputy Editors-in-Chief: **I. G. Goryacheva** (Russia), **N. K. Myshkin** (Belarus), **A. I. Sviridenok** (Belarus)

Executive Secretary: **I. N. Kavaliova** (Belarus)

### Editorial board:

**A.V. Belyi** (Belarus), **B. Bhushan** (USA), **F. M. Borodich** (Great Britain), **M. A. Bronovets** (Russia),  
**S. A. Chizhik** (Belarus), **E. Cully** (Italy), **I. A. Buynovskii** (Russia), **N. F. Dmitrichenko** (Ukraine), **A. Erdemir** (USA),  
**S. F. Ermakov** (Belarus), **F. Franek** (Austria), **K. Friedrich** (Germany), **I. Garbar** (Israel), **K. Holmberg** (Finland),  
**A. Ph. Il'yshenko** (Belarus), **V. I. Kolesnikov** (Russia), **A. P. Krasnov** (Russia), **Veimin Liu** (China),  
**A. Matthews** (Great Britain), **J. Padgurskas** (Lithuania), **G. Stachowiak** (Australia), **M. Scherek** (Poland),  
**P. A. Vityaz** (Belarus), **S. M. Zakharov** (Russia)

### Editorial advisory board:

**V. N. Aderikha** (Belarus), **N. Antonescu** (Rumania), **V. N. Antsiferov** (Russia), **A. V. Beletskii** (Belarus),  
**V. F. Bezyazychnyi** (Russia), **P. N. Bogdanovich** (Belarus), **A. N. Bolotov** (Russia), **A. S. Chau** (Slovakia),  
**S. G. Chulkin** (Russia), **A. A. Evtushenko** (Poland), **M. V. Golub** (Belarus), **B. Ivkovich** (Serbia),  
**A. Kh. Janahmadov** (Azerbaijan), **O. V. Kholodilov** (Belarus), **V. V. Klubovich** (Belarus), **A. V. Kolubaev** (Russia),  
**Yu. M. Luzhnov** (Russia), **Yu. K. Mashkov** (Russia), **V. V. Meshkov** (Russia), **F. I. Panteleenko** (Belarus),  
**Yu. M. Pleskachevsky** (Belarus), **L. I. Pogodaev** (Russia), **A. P. Semenov** (Russia), **V. M. Shapovalov** (Belarus),  
**I. A. Soldatenkov** (Russia), **G. M. Sorokin** (Russia), **Ya. Sukhanek** (Czechia), **A. G. Suslov** (Russia)

### Editorial board address:

Republic of Belarus, 246050, Gomel, Kirov Str., 32-a  
tel.: +375 (232) 34-06-36, fax: +375 (232) 34-17-11  
e-mail: mpri@tut.by, fwj@tut.by  
<http://en.mpri.org.by/publications/journal-of-friction-and-wear/>

# ТРЕНИЕ И ИЗНОС

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

*Издается с января 1980 г.*

Выходит один раз в два месяца, один том в год

---

---

ГОМЕЛЬ • ИММС НАН БЕЛАРУСИ • 2019, ТОМ 40, № 4

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Леванцевич М. А., Харченко М. В., Дёма Р. Р. Исследование условий образования режима адсорбционного смазывания тяжело нагруженных фрикционных пар трения с помощью моделирования процесса на лабораторной установке .....	353
Бойко М. В., Колесников И. В., Бичеров А. А., Бойко Т. Г. Экологически чистое трансмиссионное масло для хвостового редуктора вертолета .....	362
Симдянкин А. А., Слюсарев М. Н. Исследование влияния параметров ультразвуковой обработки моторного масла на износ пар трения при приработочных испытаниях .....	368
Осенин Ю. И., Соснов И. И., Чесноков А. В., Антошкина Л. И., Осенин Ю. Ю. Узел трения дискового тормоза на основе комбинирования фрикционных материалов .....	374
Колесников В. И., Озябкин А. Л., Новиков Е. С. Инновационный подход к изучению процессов трения, износа и мониторинга тяжело нагруженных трибосистем .....	380
Тамаргазин А. А., Варюхно В. В., Довгаль А. Г., Сидоренко А. Ю. Изнашивание композиционных покрытий SiC–Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> для юбок поршней двигателей внутреннего сгорания авиационной наземной техники .....	389
Сербиновский М. Ю., Попова О. В., Шкуракова О. Э. Антифрикционные композиты с нанонаполнителями для оборудования в пищевых производствах и медицине .....	396
Морозов А. В., Цуканов И. Ю., Мезрин А. М., Солдатенков И. А., Миньков К. Н. Оценка влияния температуры и микрогеометрии поверхности контртела на износостойкость протекторной резины .....	403
Данюшина Г. А., Дерлугян П. Д., Шишка В. Г., Любченко С. Н., Кужаров А. А., Стрельников В. В., Шишка Н. В. Повышение триботехнических свойств изделий из полиэтилена путем модификации хелатными комплексами металлов .....	411
Степанов Ф. И., Торская Е. В. моделирование индентирования относительно жестких покрытий индентором произвольной формы .....	417

<b>Леонов О. А., Шкаруба Н. Ж.</b> Модель параметрического отказа для расчета точностных параметров соединения с зазором.....	424
<b>Седакова Е. Б., Козырев Ю. П.</b> Физико-химическое обоснование выбора материала контртел для пар трения с полимерным материалом.....	431
<b>Чернец М. В.</b> Метод прогнозирования контактных давлений, износа и долговечности червячных передач с архимедовым и эвольвентным червяком с учетом коррекции зубьев.....	437
<b>Семенов В. И., Алемайеу Д. Б., Шустер Л. Ш., Рааб Г. И., Чертовских С. В., Астанин В. В., Хуанг С.-Дж., Черняк И. Н.</b> Триботехнические характеристики технически чистого титана с различной зернистостью и покрытиями TiC TiO <sub>2</sub> .....	446
<b>КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ</b> .....	454

---

Подписано в печать 04.05.2019. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Напечатано на ризографе. Усл. печ. л. 13,5. Тираж 120 экз. Заказ № 9-19

---

ИММС НАН Беларуси, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32-а. Регистрация № 1/244 от 25.03.14.

© ИММС НАН Беларуси

© Редакторы-составители: Григорьев А. Я., Мышкин Н. К., Ковалёва И. Н., 2019

# FRICITION AND WEAR

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

*Published since January 1980*

Released bimonthly, one volume a year

---

---

GOMEL • MPRI NAS OF BELARUS • 2019, VOLUME 40, N 4

---

---

## CONTENTS

<b>Levancevich M. A., Kharchenko M. V., and Dema R. R.</b> Study of the Conditions of the Formation of the Mode of Adsorption Lubrication of the Heavy-Loaded Friction Couples by Means of Modeling the Process on the Laboratory Installation .....	353
<b>Boiko M. V., Kolesnikov I. V., Bicherov A. A., and Boiko T. G.</b> Eco-Friendly Transmission Oil for Tail Gearbox of Helicopter .....	362
<b>Simdiankin A. A. and Slyusarev M. N.</b> Influence of Parameters of Engine Oil Ultrasonic Machining on the Wear of Friction Pairs in the Burn-In Period .....	368
<b>Osenin Yu. I., Sosnov I. I., Chesnokov A. V., Antoshkina L. I., and Osenin Yu. Yu.</b> Friction Unit of the Disk Brake on the Basis of Combination of Frictional Materials .....	374
<b>Kolesnikov V. I., Ozyabkin A. L., and Novikov E. S.</b> Friction, Wear and Monitoring of Heavy-Loaded Tribosystems: Innovative Approach to the Study of the Processes .....	380
<b>Tamargazin A. A., Variukhno V. V., Dovgal A. G., and Sidorenko A. Yu.</b> Abrasion Regularities of Composition Coatings for Piston Skirts of Internal Combustion Engines of Aircraft Ground Support Equipment .....	389
<b>Serbinovsky M. Yu., Popova O. V., and Shkurakova O. E.</b> Antifriction Composites with Nano-Fillers for Equipment in Food Production and Medicine .....	396
<b>Morozov A. V., Tsukanov I. Yu., Mezrin A. M, Soldatenkov I. A., and Minkov K. N.</b> Influence of Temperature and Roughness of Counterbody Surface on the Wear of Tire Tread Compound .....	403
<b>Danusina G. A., Derlugian P. D., Shishka V. G., Lyubchenko S. N., Kuzarov A. A., Strelnikov V. V., and Shishka N. V.</b> Improving the Tribotechnical Properties of Polyethylene Products by Modifying with Metal Chelate Complexes .....	411
<b>Stepanov F. I. and Torskaya E. V.</b> Modeling of Indentation of Hard Coatings by Arbitrary Shaped Indenter.....	417
<b>Leonov O. A. and Shkaruba N. Zh.</b> The Calculation of the Fit Tolerance with Clearance According to the Parametric Failure Model .....	424

<b>Sedakova E. B. and Kozyrev Yu. P.</b> Physical and Chemical Explanation of the Choice of Counterbody Material for Friction Pairs with the Polymeric Materials .....	431
<b>Chernets M. V.</b> The Prediction Method of Contact Pressures, Wear and Durability of Worm Gears with Archimedean and Involute Worm Taking into Account Teeth Correction .....	437
<b>Semenov V. I., Alemayehu D. B., Schuster L. Sh., Raab G. I., Chertovskikh S. V., Astanin V. V., Huang S.-J., Chernyak I. N.</b> Tribotechnical Characteristics of Commercially Pure Titanium with Various Grains and TiC TiO <sub>2</sub> Coatings .....	446
CONFERENCE CALENDAR.....	454

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала "Трение и износ", должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Материал статьи должен соответствовать профилю журнала и излагаться предельно ясно, а также соответствовать паспорту специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах» ВАК Беларуси и России.

2. Статья должна быть написана на русском языке, тщательно отредактирована и представлена в двух экземплярах, распечатанных на белой бумаге формата А4 с пронумерованными страницами. К работе в обязательном порядке прилагается экспертное заключение организации (разрешение на опубликование в открытой печати). Одновременно электронный вариант статьи представляется на CD (для почтовой пересылки), либо по электронной почте в формате текстового редактора Word for Windows, шрифт 12 п., интервал 1,5.

3. В левом верхнем углу первой страницы статьи должен стоять индекс УДК, ниже располагаются название статьи, напечатанное прописными буквами, инициалы и фамилия автора (авторов), полный адрес организации, в которой он работает, указывается автор, с которым следует вести переписку и его электронный адрес. Далее следует на русском языке текст статьи, который строится по следующему плану:

- реферат статьи, объем до 5 предложений, отражающих суть работы и дающих представление о предмете исследования и полученных результатах
- ключевые слова, до 10 слов
- введение, объем до 1 стр., где отражается актуальность и новизна работы
- цель работы, объем 1-2 предложения
- материалы и инструменты, объем до 1 стр., где описываются объекты исследования, методы и приборы, используемые при исследованиях.
- обсуждение результатов, объем до 5 стр., не более 5 рисунков, не более 3 таблиц.
- выводы, объем до 1 стр., где отражается не только краткое изложение сущности полученных новых результатов, но дается сравнительная оценка их научной и практической значимости.
- обозначения, приводятся все буквенные и аббревиатурные обозначения и сокращения
- список литературы, не более 10 источников, допускается самоцитирование не более 20 % от общего числа источников
- перевод на английский язык названия, ФИО авторов, реферата и ключевых слов. Не допускается использование электронных переводчиков.

Статья может содержать и другие разделы, например: «Постановка задачи», «Методы испытаний», «Математическое моделирование» и др.

4. Рисунки и графики предоставляются как в полном тексте работы, так и в электронном виде в виде отдельных файлов (формат tif, png, bmp, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf) с разрешением не менее 600 dpi. Формулы оформляются с помощью редактора формул текстового редактора Word.

5. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. В таблицах обязательно указываются единицы измерения величин. В тексте рукописи на полях указывается место для рисунков и таблиц. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо. К статье прилагается список подрисованных подписей.

6. Обозначения, принятые в статье, расшифровываются непосредственно в тексте, и, кроме того, должны быть вынесены в раздел «Обозначения».

7. При упоминании иностранных фамилий в тексте необходимо давать их на языке оригинала в скобках после русского написания (за исключением общеизвестных фамилий, встречающихся в энциклопедии, и фамилий, на которые даются ссылки в списке литературы). При упоминании иностранных учреждений, фирм, фирменных продуктов и т. д. в русской транслитерации в скобках должно быть дано их оригинальное написание.

8. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т. е., и т. д., и т. п.).

9. Литература должна быть приведена в конце статьи в виде списка на отдельной странице и содержать полные библиографические данные. Ссылки даются в оригинальной транслитерации. Список литературы должен быть составлен в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

10. Статья должна быть подписана всеми авторами. Авторам необходимо на отдельной странице сообщить о себе следующие сведения: фамилия, имя, отчество, почтовый индекс и точный адрес для переписки, место работы и занимаемая должность, ученая степень, специалистом в какой области является автор, а также номера телефонов (домашний, служебный), факсимильной связи и адрес электронной почты.

11. **Порядок рецензирования.** Поступившие в редакцию рукописи рецензируются докторами или кандидатами наук, назначаемыми редакционной коллегией, являющимися специалистами в той области, к которой относится рукопись. Все работы проходят процедуру проверки на оригинальность и плагиат. Индекс оригинальности должен составлять не менее 75%. Редакционная коллегия привлекает к рецензированию статей как членов редколлегии и редсовета, так и специалистов из ведущих НИИ и ВУЗов Беларуси, России, и дальнего зарубежья. Срок рецензирования составляет 2-3 месяца. В случае отклонения статьи редакция сообщает автору решение редколлегии и заключение рецензента.

Решение о доработке статьи не означает, что она принята к печати. После доработки статья вновь рассматривается рецензентом и редакционной коллегией. Автор отклоненной статьи имеет право обратиться к редколлегии с просьбой повторно рассмотреть вопрос о возможности опубликования статьи, приведя обоснованные доводы.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения, не искажающие основное содержание статьи.

13. После утверждения статьи в номер авторам высылаются корректура и авторский договор. После опубликования статьи редакция высылает оттиски по адресу, указанному для переписки.

14. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются и не возвращаются авторам. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

15. Всю корреспонденцию следует направлять простыми письмами. Ценные письма (бандероли) не принимаются. Почтовый адрес для корреспонденции: Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а, Редакция журнала «Трение и износ»

16. Электронные варианты работы необходимо направлять на [mpri@tut.by](mailto:mpri@tut.by) или [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by).

75014  
750142

## Международный научный журнал «ТРЕНИЕ И ИЗНОС»

Журнал "Трение и износ" — наиболее полный в странах СНГ источник информации о состоянии научных исследований в области трения, изнашивания, смазки и их практических приложений.

В журнале освещаются результаты исследований по следующим разделам: теория трения и изнашивания; физико-химические процессы при трении; механика контактного взаимодействия; теория смазочного действия и разработка смазочных материалов и присадок к ним; трение и изнашивание в коррозионно-активных средах, вакууме, при радиационном облучении, высоких давлениях, скоростях и температурах, в искусственных органах биологических объектов и т. д.; расчет и конструирование фрикционных сопряжений; моделирование и оптимизация процессов трения и изнашивания; методы и приборы для оценки триботехнических характеристик; основы фрикционного материаловедения; технологические методы управления износостойкостью машин; экономические аспекты проблемы износостойкости в промышленности и других отраслях.

Журнал содержит информацию о важнейших событиях научной жизни в области трибологии в странах СНГ и за рубежом; библиографические обзоры и рецензии на новые книги; сведения о новых эффективных решениях в области снижения потерь на трение и изнашивание и повышения износостойкости машин.

Журнал рассчитан на широкие круги работников научно-исследовательских учреждений, высших учебных заведений, конструкторских и проектных организаций, заводских лабораторий.

Журнал публикует рекламу оборудования, приборов, технологий, новых материалов, методов испытаний и пакетов прикладных программ для решения широкого круга задач, связанных с повышением надежности и долговечности машин и механизмов.

Полнотекстовая электронная версия журнала размещена в базе данных Российской универсальной научной электронной библиотеки (<http://www.elibrary.ru>).

Журнал "Трение и износ" с 1980 г. издается на английском языке в твердой копии в США фирмой "Allerton Press, Inc.". Начиная с 2007 г. англоязычная версия журнала "Трение и износ" выпускается новым издателем — компанией Pleiades Publishing, которая обеспечивает одновременный выход с русской версией английского варианта под названием "**Journal of Friction and Wear**", публикацию английского варианта в электронном формате с использованием современных мировых стандартов, распространение материалов с помощью одной из крупнейших коммерческих баз данных, содержащих научную литературу, — <http://www.springerlink.com>, а также индексирование и цитирование в Academic OneFile, EI-Compendex, Expanded Academic, Google Scholar, INSPEC, Journal Citation Reports/Science Edition, OCLC, SCImago, SCOPUS, Science Citation Index Expanded (SciSearch), Summon by Serial Solutions.

Журнал выходит один раз в два месяца на русском языке с резюме на английском языке. Подписаться на журнал "Трение и износ" можно в местных отделениях связи. Журнал включен в каталоги периодической печати Беларуси и России. Индекс журнала: **75014** (для индивидуальных подписчиков), **750142** (для организаций). По вопросу подписки следует обращаться по адресу:

Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а.

Тел: +375 (232) 34-06-36; факс: +375 (232) 34-17-11; e-mail: [mpri@tut.by](mailto:mpri@tut.by), [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)

В редакции также можно приобрести номера журналов прошлых лет.  
*Журнал включен в действующие перечни ВАК Республики Беларусь и Российской Федерации для опубликования результатов диссертационных исследований. Он представлен в проекте "Российский индекс научного цитирования" (импакт-фактор РИНЦ за 2017 г. составляет 1,114) и в базе данных Scopus (impact factor за 2016 г. составляет 0,574)*