

ISSN 0202-4977

ТРЕНИЕ
И **И**ЗНОС

FRICTION
and **W**EAR

TOM
VOL. **40**

6

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. Ильюшенко** (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. Эрдемир** (США)

Редакционный совет:

В. Н. Адериха (Беларусь), **Н. Антонеску** (Румыния), **В. Н. Анциферов** (Россия), **В. Ф. Безъязычный** (Россия),
А. В. Белецкий (Беларусь), **П. Н. Богданович** (Беларусь), **А. Н. Болотов** (Россия), **А. И. Буря** (Украина),
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), **В. А. Смугугов** (Беларусь), **И. А. Солдатенков** (Россия),
Г. М. Сорокин (Россия), **В. Е. Старжинский** (Беларусь), **А. Г. Суслов** (Россия), **Я. Суханек** (Чехия),
О. В. Холодиллов (Беларусь), **А. С. Чаус** (Словакия), **С. Г. Чулкин** (Россия).

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. Ilyushenko (Belarus), **V. I. Kolesnikov** (Russia), **A. P. Krasnov** (Russia), **Veimin Liu** (China),
A. Matthews (Great Britain), **J. Padgurskas** (Lithuania), **G. Stachowiak** (Australia), **M. Szczerek** (Poland),
P. A. Vityaz (Belarus), **S. M. Zakharov** (Russia)

Editorial advisory board:

V. N. Aderikha (Belarus), **N. Antonescu** (Romania), **V. N. Antsiferov** (Russia), **A. V. Beletskii** (Belarus),
V. F. Bezъязыchnyi (Russia), **P. N. Bogdanovich** (Belarus), **A. N. Bolotov** (Russia), **A. I. Burya** (Ukraine),
A. S. Chaus (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. A. Smurugov (Belarus), **I. A. Soldatenkov** (Russia), **G. M. Sorokin** (Russia), **V. E. Starzhinskii** (Belarus),
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, № 6

СОДЕРЖАНИЕ

Бухаров С. Н., Сергиенко В. П., Григорьев А. Я. Влияние шероховатости стального контртела на триботехнические характеристики фрикционных композитов при трении в среде масла.....	635
Крупич Б., Барсуков В. Г., Свириденко А. И. Моделирование микроконтактных взаимодействий при газоабразивном изнашивании сталей с учетом деформационного упрочнения.....	644
Лешок А. В., Дьячкова Л. Н., Ильющенко А. Ф., Роговой А. Н., Алексеенко Н. А. Влияние состава фрикционного материала на основе меди на его структуру и триботехнические свойства	654
Панин С. В., Бочкарева С. А., Буслович Д. Г., Корниенко Л. А., Люкшин Б. А., Панов И. Л., Шилько С. В. Компьютерный дизайн состава экструдированных полимерполимерных СВМПЭ композитов с заданными антифрикционными и механическими свойствами.....	661
Макеев В. В., Врублевская В. И. Абразивное изнашивание стального контртела при трении о прессованную модифицированную древесину	673
Горошков М. В., Краснов А. П., Шапошникова В. В., Салазкин С. Н., Любимова А. С., Наумкин А. В., Полуниин С. В., Быков А. В. Антифрикционные свойства аморфных сополиариленаэфиркетонатов с низким содержанием карбовых групп.....	678
Балякин В. Б. Перспективы использования комбинированных демпферов в опорах роторов турбомашин	687
Филиппова Е. О., Пичугин В. Ф., Филиппов А. В., Градобоев А. В. Механическо-трибологические свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата после паровой и лучевой стерилизации.....	694
Бойко М. В., Колесников И. В., Бойко Т. Г., Бичеров А. А. Кинетика формирования антифрикционной пленки в среде подсолнечного масла	700

Левченко В. А., Буяновский И. А., Самусенко В. Д., Матвеев В. Н., Щербаков Ю. И. Антифрикционные свойства алмазоподобного покрытия и алюминитрида титана в модельных смазочных средах.....	706
Поляков С. А., Куксенова Л. И., Кулешова Е. М. Особенности формирования несущей способности сопряжений скольжения при использовании наномодифицированных смазочных материалов.....	712
Шилов М. А., Смирнова А. И., Гвоздев А. А., Рожкова Н. Н., Дьячкова Т. П., Бурков А. А., Столбов Д. Н., Савилов С. В., Усольцева Н. В. Реология пластичных смазочных материалов с присадками углеродных наноструктур различного типа.....	720
Крейвайтис Р., Радзевичюте У., Купчинкас А., Казанцев К. Использование ионной жидкости в качестве присадки для экологически чистых смазочных материалов.....	731
Мирсалимов В. М., Ахундова П. Э. Оптимальное проектирование узла трения с равномерным контактным давлением.....	740
Матлин М. М., Каунов А. М., Мозгунова А. И., Казанкина Е. Н., Казанкин В. А. Исследование контактного сближения цилиндра с плоской поверхностью при повторном внедрении.....	750
Балакина Е. В. Расчет коэффициента сцепления устойчивого эластичного колеса с твердой опорной поверхностью при наличии боковой силы.....	756
Агеев О. В., Наумов В. А., Фатыхов Ю. А. Математическое моделирование силы сопротивления формы ножа с прямым обухом.....	766
Ипатов А. Г., Харанжевский Е. В. Триботехнические свойства сверхтвердых функциональных покрытий на основе карбида и нитрида бора.....	776
Бабак В. П., Щепетов В. В., Харченко С. Д. Антифрикционные наноконструктивные покрытия, содержащие карбид магния.....	783
Копченков В. Г. Феноменологический механизм изнашивания эластомеров косым ударом твердых частиц в водной среде.....	791
ЛЮДИ НАУКИ	
Дмитрий Николаевич ГАРКУНОВ (100 лет со дня рождения).....	797
ПАМЯТИ УЧЕНОГО	
Владимир Алексеевич СМУРУГОВ	798
Содержание тома 40 (январь—декабрь 2019 г.).....	799
Авторский указатель	804

Подписано в печать 05.09.2019. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Напечатано на ризографе. Усл. печ. л. 20. Тираж 120 экз. Заказ № 15-19

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

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

Bukharov S. N., Sergienko V. P., and Grigoriev A. Ya. Effect of the Roughness of the Steel Counterbody on the Tribological Characteristics of Friction Composite Materials under Wet Friction.....	635
Krupich B., Barsukov V. G., and Sviridenok A. I. Modeling the Microcontact Interactions at Gas-Abrasive Wearing of Steels Taking into Account Deformation Strengthening	644
Leshok A. V., Dyachkova L. N., Ilyushchenko A. F., Rogovoy A. N., and Alekseenko N. A. Influence of Copper Frictional Material Composition on Structure and Tribotechnical Properties.....	654
Panin S. V., Bochkareva S. A., Buslovich D. G., Kornienko L. A., Lyukshin B. A., Panov I. L., and Shil'ko S. V. Computer Aided Design of Extrudable Polymer-Polymer UHMWPE Composites with Specified Antifriction and Mechanical Properties.....	661
Makeyev V. V. and Vrublevskaya V. I. Abrasive Wear of Steel Counter in Frictional Contact with Pressed Modified Wood.....	673
Goroshkov M. V., Krasnov A. P., Shaposhnikova V. V., Salazkin S. N., Lubimova A. S., Naumkin A. V., Polunin S. V., and Bykov A. V. Antifriction Properties of Amorphous Poly(arylene ether ketone) Copolymers with a Low Content of Cardo Groups.....	678
Balyakin V. B. Prospects of the Application of Compound Dampers in Rotors of Turbomachinery	687
Filippova E. O., Pichugin F., Filippov A. V., and Gradoboev A. V. Mechanical and Tribological Properties of Polyethylene Terephthalate Track Etched Membranes after Steam and Radiation Sterilization	694
Boiko M. V., Kolesnikov I. V., Boiko T. G., and Bicherov A. A. Kinetics of Antifriction Film Formation in Sunflower Oil	700

Levchenko V. A., Bujanovskii I. A., Samusenko V. D., Matveenkov V. N., and Scherbakov U. I. Antifrictional Properties of Diamondlike Coating and Titanium Aluminum Nitride in Model Lubricant Environments.....	706
Poljakov S. A., Kuksenova L. I., and Kuleshova E. M. Kinetics of Formation of the Bearing Ability of Sliding Surfaces when Using the Nanomodified Lubricants	712
Shilov M. A., Smirnova A. I., Gvozdev A. A., Rozhkova N. N., Dyachkova T. P., Burkov A. A., Stolbov D. N., Savilov S. V., and Usol'tseva N. V. Rheology of Greases with Additives of Carbon Nanostructures of Various Types	720
Krevaitis R., Radzevičiūtė U., Kupčinskas A., and Kazantsev K. Usage of the Ionic Liquid as an Additive for Environmentally Friendly Lubricants	731
Mirsalimov V. M. and Axundova P. E. Optimal Design of a Friction Unit with Uniform Contact Pressure	740
Matlin M. M., Kaunov A. M., Mozgunova A. I., Kazankina E. N., and Kazankin V. A. Calculation of Contact Approach in Cylinder upon Reindentation	750
Balakina E. V. Calculation of Friction Coefficient of Steady Elastic Wheel with a Solid Support Surface at the Presence of Lateral Force	756
Ageev O. V., Naumov V. A., and Fatykhov J. A. Mathematical Simulation of Resistance Force of Profile of Flat-Back Knife	766
Ipatov A. G. and Haranzhevskiy E. V. Tribological Properties of Superhard and Functional Coatings on the Basis of Carbide and Boron Nitride	776
Babak V. P., Shchepetov V. V., and Harchenko S. D. Antifriction Nanocomposite Coatings Containing Magnesium Carbide	783
Kopchenkov V. G. Mechanism of Wear of Elastomers at Oblique Impact of Solid Particles in the Water Medium.....	791
PEOPLE OF SCIENCE	
Dmitriy N. Garkunov (100 th anniversary).....	797
OBITUARY	
Vladimir A. Smurugov	798
Contents of Volume 40 (January—December 2019)	799
Author Index of Volume 40, Nos. 1—6	804

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 или 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, 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 1,119) и в базе данных Scopus (impact factor за 2017 г. составляет 0,489)