

ISSN 0202-4977

ТРЕНИЕ
И **И**ЗНОС

FRICTION
and **W**EAR

TOM
VOL. **40**

2

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. Безъязычный** (Россия),
А. В. Белецкий (Беларусь), **П. Н. Богданович** (Беларусь), **А. Н. Болотов** (Россия), **А. И. Бурия** (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), **И. А. Солдатенков** (Россия), **Г. М. Сорокин** (Россия),
А. Г. Суслов (Россия), **Я. Суханек** (Чехия), **О. В. Холодилов** (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. Bezyazchnyi (Russia), **P. N. Bogdanovich** (Belarus), **A. N. Bolotov** (Russia), **A. I. Burya** (Ukraine),
A. S. Chauš (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, № 2

СОДЕРЖАНИЕ

Панин С. В., Буслович Д. Г., Корниенко Л. А., Алексенко В. О., Донцов Ю. В., Шилько С. В. Структура, трибологические и механические свойства экструдированных полимер-полимерных СВМПЭ композитов для 3D печати	143
Селькин В. П., Копылов С. В. Повышение износостойкости армированного углеродными волокнами поливинилиденфторида методом радиационного модифицирования	153
Петрова П. Н., Маркова М. А., Аргунова А. Г., Охлопкова А. А. Влияние способов смешения компонентов на триботехнические свойства композитов на основе ПТФЭ и углеродных волокон	159
Гумен В. Р., Князькина И. В., Колбая В. Г., Коврига В. В. Исследование связи между естественной кратностью вытяжки и абразивной износостойкостью в полиэтиленах	168
Братковский Е. В., Шаповалов А. Н., Дема Р. Р., Харченко М. В., Платов С. И., Рубаник В. В. Методика оценки ударно-абразивной стойкости сталей	173
Сырейщикова Н. В., Пименов Д. Ю. Износ гибкого абразивного инструмента	180
Марков М. А., Фадин Ю. А., Сычев С. В., Красиков А. В., Быкова А. Д., Беляков А. Н., Жуков А. С. Колебательные процессы при трении в материалах и покрытиях на основе алюминия	188
Босяков С., Тшепицьки Т. Анализ сопротивления трения, возникающего на краю матрицы для вытягивания листового металла	193
Шевеля В. В., Калда Г. С., Соколан Ю. С. Триболого-реологические свойства термообработанной стали при реверсивном трении	200
Вархолински Б., Гилевич А., Куприн А. С., Толмачева Г. Н., Овчаренко В. Д., Кузнецова Т. А., Лапицкая В. А., Чижик С. А. Механические и триботехнические свойства нитридных и оксинитридных покрытий на основе хрома и циркония, полученных электродуговым испарением	209

Блинков И. В., Белов Д. С., Волхонский А. О., Черногор А. В., Сергеевич В. С., Демиров А. П. Исследование разрушения и прочности соединения с твердосплавной основой износостойких ионно-плазменных вакуумно-дуговых покрытий Ti-N, Ti-Al-N, Ti-Al-Cr-N, Ti-Al-Ni-N методом скретч-тестирования.....	218
Сосенушкин Е. Н., Володин И. М., Яновская Е. А., Сосенушкин А. Е., Хроменков А. В., Карнилов А. Ю. Износ штампов объемного деформирования по критериям малоциклового усталости и пластического смятия	227
Гетикова М. А. Особенности трения резины повехностно-модифицированной углеродным покрытием.....	238
Ермаков С. Ф., Чмыхова Т. Г., Тимошенко А. В., Шершнева Е. Б. Трибологические особенности экологически чистых смазочных композиций на основе рапсового масла	245

Подписано в печать 14.01.2019. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Напечатано на ризографе. Усл. печ. л. 13,5. Тираж 120 экз. Заказ № 3-19

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 2

CONTENTS

Panin S. V., Buslovich D. G., Kornienko L. A., Alexenko V. O., Dontsov Yu. V., and Shil'ko S. V. Structure, Tribological and Mechanical Properties of Extrudable Polymer-Polymeric UHMWPE Composites for 3D Printing	143
Selkin V. P. and Kopylov S. V. Increase of Wear Resistance by Carbon Fiber-Reinforced Polyvinylidene Fluoride by the Method of Radiation Modification.....	153
Petrova P. N., Markova M. A., Argunova A. G., and Ohlopkova A. A. Investigation of Influence of Methods of Mixing Components on Properties of Composites Based on PTFE and Carbon Fibers.....	159
Gumen V. R., Knyazkina I. V., Kolbaya V. G., and Kovriga V. V. Investigation of a Correlation between Natural Extension Ratio and Abrasive Resistance for Polyethylene.....	168
Bratkovsky E. V., Shapovalov A. N., Dema R. R., Kharchenko M. V. and Rubanik V. V. Methodology of Estimation of Shock-Abrasive Resistance of Steels.....	173
Syreishchikova N. V. and Pimenov D. Yu. Wear of Flexible Abrasive Tool.....	180
Markov M. A., Fadin Y. A., Sychev S. V., Krasikov A. V., Bykova A. D., Belyakov A. N., and Zhukov A. S. Vibrating Processes at Friction in Materials and Coatings Based on Aluminum.....	188
Bosiakov S. and Trzepiecinski T. Friction Resistance on the Edge of Die Used in the Sheet Drawing Process	193
Shevelya V. V., Kalda G. S., and Sokolan Yu. S. Tribological and Rheological Properties of Thermal Treated Steel under Conditions of Reverse Friction.....	200
Warcholinski B., Gilewicz A., Kuprin A. S., Tolmachova G. N., Ovcharenko V. D., Kuznetsova T. A., Lapitskaya V. A., and Chizhik S. A. Comparison of Mechanical and Tribotechnical Properties of Nitrid and Oxinitride Coatings Based on Chrome and Zirconium Obtained by Electric-Arc Evaporation	209

Blinkov I. V., Belov D. S., Volkhonskii A. O., Chernogor A. V., Sergevnin V. S., and Demirov A. P. Investigation of the Fracture and the Compound Strength with a Carbide Base of a Wear-Resistant Ion-Plasma Vacuum-Arc Ti–N, Ti–Al–N, Ti–Al–Cr–N, Ti–Al–Ni–N Coatings by the Scratch Testing	218
Sosenushkin E. N., Volodin I. M., Yanovskaya E. A., Khromenkov A. V., and Kar-nilov A. Yu. Wear Mechanics of Volume Straining Stamping Tools	227
Hetsikava M. A. Friction Features of Rubber Surface-Modified by Carbon Coating	238
Ermakov S. F., Chmykhava T. G., Timashenka A. V., and Shershnev E. B. Tribological Features of Environmentally Friendly Lubricant Compositions on the Basis of Rapeseed Oil.....	245

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 1,114) и в базе данных Scopus (impact factor за 2016 г. составляет 0,574)