

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 4, июнь, 2016.

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор журнала Кочурко Василий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Заместитель главного редактора журнала Никишова Алла Васильевна, кандидат филологических наук, доцент, проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор серии

Алифанов Александр Викторович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ответственный секретарь серии

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры экономики и организации производства инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Редактор текстов на английском языке

Манкевич Жанна Борисовна, кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры теории и практики английского языка учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Дубень Игорь Викторович (*ответственный за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»*), кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и энергообеспечения производства инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Бетяна Григорий Филиппович, кандидат технических наук, доцент, начальник технологического научно-производственного центра учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, начальник Центра индукционных технологий Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Девойно Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (Минск, Республика Беларусь).

Добышев Анатолий Семёнович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, декан инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ивашко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Калугин Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (Гродно, Республика Беларусь).

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, заведующий лабораторией пластичности Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Ласковнѳ Александр Петрович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь).

Нерода Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Спиридонов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, доцент, директор Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Шелег Валерий Константинович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Адрес редакции:

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.

Телефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: vestnik_barsu@tut.by

Подписные индексы: 00993 — для индивидуальных подписчиков; 009932 — для организаций.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07. 2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам (машиностроение и машиноведение; процессы и машины агроинженерных систем).

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Издатель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь

Заведующий редакционно-издательским отделом Е. Г. Хохол
Технический редактор В. В. Кукреш
Компьютерная вёрстка В. В. Кукреш
Корректор С. А. Березнюк

Подписано в печать 13.06.2016. Формат 60 × 84 ¹/₈. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,70.
Уч.-изд. л. 5,40. Тираж 75 экз. Заказ .

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: открытое акционерное общество «Красная звезда». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя и распространителя печатных изданий № 2/7 от 28.10.2013.

Юридический адрес: пер. 1-й Загородный, 3, 220073 Минск.

Почтовый адрес: ул. Советская, 80, 225409 Барановичи.

© БарГУ, 2016

Репозиторий БарГУ

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 4, чэрвень, 2016.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

Заснавальнік: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Галоўны рэдактар часопіса Качурка Васіль Іванавіч, доктар сельскагаспадарчых навук, прафесар, акадэмік Беларускай інжынернай акадэміі, акадэмік Міжнароднай акадэміі тэхнічнай адукацыі, акадэмік Міжнароднай акадэміі навук педагагічнай адукацыі, акадэмік Акадэміі эканамічных навук Украіны, Заслужаны работнік адукацыі Рэспублікі Беларусь, рэктар установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Намеснік галоўнага рэдактара часопіса Нікішова Ала Васільеўна, кандыдат філалагічных навук, дацэнт, прарэктар па навуковай рабоце ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ СЕРЫІ

Галоўны рэдактар серыі

Аліфанаў Аляксандр Віктаравіч, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі Рэспублікі Беларусь у галіне навукі і тэхнікі, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры абсталявання і аўтаматызацыі вытворчасці ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Адказны сакратар серыі

Горбач Юлія Яўгеньеўна, старшы выкладчык кафедры эканомікі і арганізацыі вытворчасці інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Манкевіч Жанна Барысаўна, кандыдат псіхалагічных навук, старшы выкладчык кафедры тэорыі і практыкі англійскай мовы ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрылена Андрэй Канстанцінавіч (*адказны за напрамак «Машынабудаванне і машыназнаўства»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры агульнанавуковых дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказны за напрамак «Працэсы і машыны аграінжынерных сістэм»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры механізацыі і энергазабеспячэння вытворчасці інжынернага факультэта, дэкан факультэта давузаўскай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Белы Аляксей Уладзіміравіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, намеснік дырэктара па навуковай рабоце Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Бяцэня Рыгор Піліпавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, начальнік тэхналагічнага навукова-практычнага цэнтра ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Гардзіенка Анатолій Іларыёнавіч, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, начальнік Цэнтра індукцыйных тэхналогій Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчая частка» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Добышаў Анатолій Сямёнавіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры механізацыі жывёлагадоўлі і электрыфікацыі сельскагаспадарчай вытворчасці ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дэкан інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Івашка Віктар Сяргеевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Калугін Юрый Канстанцінавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры машыназнаўства і тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў установы адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы» (Гродна, Рэспубліка Беларусь).

Карташэвіч Анатолій Мікалаевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры трактараў і аўтамабіляў установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клубовіч Уладзімір Уладзіміравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, загадчык лабараторыі пластычнасці Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Ласкаўнёў Аляксандр Пятровіч, доктар тэхнічных навук, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, акадэмік-сакратар аддзялення фізіка-тэхнічных навук Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Нярода Міхаіл Уладзіміравіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Спірыдонаў Мікалай Васільевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Таміла Вячаслаў Анатольевіч, доктар тэхнічных навук, дацэнт, дырэктар Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Шэлег Валерый Канстанцінавіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Адрас рэдакцыі:

вул. Войкава, 21, 225404, г. Баранавічы.

Тэлефон: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik_barsu@tut.by

Падпісныя індэксы: 00993 — для індывідуальных падпісчыкаў; 009932 — для арганізацый.

Пасведчанне аб рэгістрацыі сродкаў масавай інфармацыі № 1533 ад 30.07.2012, выдадзенае Міністэрствам інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

У адпаведнасці з загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 21 студзеня 2015 г. № 16 навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» серыя «Тэхнічныя навукі» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па тэхнічных навуках (машынабудаванне і машыназнаўства; працэсы і машыны аграінжынерных сістэм).

Навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» ўключаны ў РІНЦ (Расійскі індэкс навуковага цытавання), ліцэнзійны дагавор № 06-01/2016.

Выдавец: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Выходзіць на рускай, беларускай і англійскай мовах.

Часопіс распаўсюджваецца на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь.

Загадчык рэдакцыйна-выдавецкага аддзела А. Г. Хахол

Тэхнічны рэдактар В. У. Кукраш

Камп'ютарная вёрстка В. У. Кукраш

Карэктар С. А. Березнюк

Падпісана да друку 13.06.2016. Фармат 60 × 84 ¹/₈. Папера ксераксная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,70. Ул.-выд. арк. 5,40. Тыраж 75 экз. Заказ .

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: адкрытае акцыянернае таварыства «Чырвоная зорка». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 2/7 ад 28.11.2013.

Юрыдычны адрас: завул. 1-ы Загарадны, 3, 220073 Мінск.

Паштовы адрас: вул. Савецкая, 80, 225409 Баранавічы.

Educational Institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013

Issue 4, June, 2016.

Series “Engineering”

Promoter: Educational Institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief: Vasily Ivanovich Kochurko, Rector of Baranovichi State University, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, Academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of the Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Deputy Chief Editor: Alla Vasilyevna Nikishova, Ph. D. in Philology, Vice-rector for Scientific Work of Baranovichi State University, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

THE EDITORIAL BOARD OF THE EDITION

Editor of the issue

Aleksandr V. Alifanov, State-Prize Winner of the Republic of Belarus in the Science and Technology Field, Professor of the Equipment and Manufacturing Automation Chair of Engineering Department, Baranovichi State University, Doctor of Technical Sciences (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Executive secretary of the issue

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer of the Economic Organization of Production Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Editor of English texts

Zhanna B. Mankevich, Senior lecturer of the English Language Theory and Practice Chair of Slavic and Germanic Languages Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Psychology (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilena (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Head of the Scientific Disciplines Chair of Mechanization and Energy Production Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agroengineering Systems”*), Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gennady I. Aniskovich, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University, Ph. D. in Technical Sciences (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexey V. Bely, Deputy Director for Scientific Work of the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute, the National Academy of Sciences”, A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Grigory F. Betenya, Head of the Technology Research and Production Center of the Belarusian State Agrarian Technical University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly I. Gordienko, Head of the Induction Technology Center of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Oleg G. Devoino, Head of the Research Laboratory of Innovative Plasma and Laser Technology of the Belarusian National Technical University branch “Research Section”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly S. Dobysh, Professor of the Animal Husbandry Mechanization and Electrification of Agricultural Production Chair of “The Belarusian State Agricultural Academy”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir A. Dremuk, Head of Engineering Department of Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Viktor S. Ivashko, Professor of the Automobile Technical Maintenance Chair of the Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Yury K. Kalugin, Associate Professor of the Engineering Science and Automobile Technical Maintenance Chair of "Grodno State University of Ya. Kupala", Ph. D. in Technical Sciences (Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Head of the Tractors and Vehicles Chair of the Belarusian State Agricultural Academy, Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Professor, Professor of the Belarusian State Agricultural Academy, Doctor of Technical Sciences (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Head of the Plasticity Laboratory of the Belarusian National Technical University, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexandr P. Laskovnyov, Academician-secretary of the Physics and Technical Sciences Department of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences (Minsk, the Republic of Belarus).

Michail V. Neroda, Head of the Mechanical Engineering Chair of Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Nicholai V. Spiridonov, Professor of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Vyacheslav A. Tomilo, Director of the State Scientific Institution "The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Valery K. Sheleh, Head of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Editorial address:

Voikov Str. 21, 225404, Baranovichi.

Phone: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by

Subscription indices: 00993 — for individual subscribers; 009932 — for companies.

The certificate of the registration of mass media № 1533 of 30.07. 2012 issued by the Ministry of Information of Belarus.

In accordance with the order of the board of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus on January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal "Bulletin of BarSU" the series "Engineering" was included on the list of the scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).

Scientific and practical journal Vestnik BarSU is included into RSCI (Russian Science Citation Index), license agreement № 06-01/2016.

Published: Educational Institution "Baranovichi State University".

Issued in Russian, Belarusian and English.

The journal is distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor E. G. Hohol

Technical editor V. V. Kukresh

Desktop Publishing V. V. Kukresh

Proofreader S. A. Bereznyuk

Signed print 13.06.2016. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox. Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 10.70. Acc.-pub. s. l. 5.40. Circulation of 75 copies. Order

Free price.

Printing performance: Open Joint Stock Company "Red Star". Certificate of the state registration of the publisher, the manufacturer and the distributor of publications № 2/7 since 28.10.2013.

Legal address: 3, 1 Zagorodni Pereulok, 220073 Minsk.

Postal address: 80 Sovietskaya Str., 225409 Baranovichy.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Милюкова А. М., Лях А. А., Шишмолин В. Н. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на микротвёрдость и микроструктуру образцов сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей	11
Бакулин Б. А., Калугин Ю. К. Анализ химического состава и физико-механических свойств материалов для изготовления деталей батанного механизма ткацкого станка	22
Жоглик И. Н. Эмиссия моноэнергетических ионов V^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} в вакуумном электродуговом разряде	29
Здор Г. Н. Экспериментальные исследования прессования вытяжных матриц совместным действием статических и динамических нагрузок высокой интенсивности	35
Ищенко М. В. Износ конвейерной ленты в условиях абразивной химически активной среды калийного предприятия	44
Маркевич М. И., Чапланов А. М., Малышко А. Н., Солодуха В. А., Соловьев Я. А., Сарычев О. Э., Щербакова Е. Н. Формирование и исследование диодов Шоттки на основе силицидов платины и никеля	48
Михайлов М. И. Анализ нагрузочного резервирования сборных внутренних фрез	55
Ракицкий А. А. Исследование усталостной прочности деталей машин с термонапылёнными порошковыми покрытиями в условиях циклического растяжения/сжатия	62

Процессы и машины агроинженерных систем

Бегеня Г. Ф., Анискович Г. И., Кривцов А. В., Рогожинский С. Н. Инновационная технология упрочнения дисков роторов и оснований башмаков режущего аппарата косилок	68
Богданович П. Н., Михайлов М. И., Михайлов К. М. Исследование влияния электрофрикционного упрочнения ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на их износостойкость	77

ЗМЕСТ

ТЭХНІЧНЫЯ НАВУКІ

Машынабудаванне і машыназнаўства

Аліфанаў А. В., Гарэцкі Г. П., Мілюкова Г. М., Лях А. А., Шышмолін В. Н. Даследаванне ўплыву рэжымаў магнітна-імпульснай апрацоўкі на мікрацвёрдасць і мікраструктуру ўзораў сталяў, якія прымяняюцца для вырабу рубільных нажоў	11
Бакулін Б. А., Калугін Ю. К. Аналіз хімічнага складу і фізіка-механічных уласцівасцяў матэрыялаў для вырабу дэталей батаннага механізма ткацкага станка	22
Жоглік І. М. Эмісія монаэнергетычных йонаў V^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} у вакуумным электрадугавым разрадзе	29
Здор Г. М. Эксперыментальныя даследаванні прэсавання выцяжных матрыц сумесным дзеяннем статычных і дынамічных нагрузкаў высокай інтэнсіўнасці	35
Ішчанка М. В. Зношванне канвеернай стужкі ва ўмовах абразіўнага хімічна актыўнага асяроддзя калійнага прадпрыемства	44
Маркевіч М. І., Чапланаў А. М., Малышка А. М., Саладуха В. А., Салаўёў Я. А., Сарычаў А. Э., Шчарбакова А. М. Фарміраванне і даследаванне дыёдаў Шоткі на аснове сіліцыдаў плаціны і нікеля	48
Міхайлаў М. І. Аналіз нагрузачнага рэзервавання зборных унутраных фрэз	55
Ракіцкі А. А. Даследаванне стомленаснай трываласці дэталей машын з тэрманапыленымі парашковымі пакрыццямі ва ўмовах цыклічнага расцяжэння/сціскання	62

Працэсы і машыны аграінжынерных сістэм

Бяценья Р. Ф., Анісковіч Г. І., Крыўцоў А. В., Рагажынскі С. М. Інавацыйная тэхналогія ўмацавання дыскаў ротараў і асноў башмакоў рэжучага апарата касілак	68
Багдановіч П. М., Міхайлаў М. І., Міхайлаў К. М. Даследаванне ўплыву электрафрыкцыйнага ўмацавання нажоў рэжучага барабана кормаўборачнага камбайна на іх зносаўстойлівасць	77

CONTENTS

TECHNICAL SCIENCES

Machine Building and Engineering Science

Alifanov A. V., Goretsky G. P., Milyukova A. M., Lyakh A. A., Shishmolin V. N. Research of influence of magnetic-pulse treatment modes on microhardness and microstructure steel samples used for chipper knives manufacture	11
Bakulin B. A., Kalugin Ju. K. Analysis of chemical composition and physical-mechanical properties of materials for loom bata mechanism parts production	22
Zhohlik I. N. Emission of monoenergetic flow of V^{2+} , Ti^{2+} , ZR^{2+} ions in vacuum electroarc discharge	29
Zdor G. N. Experimental study of exhaust pressing matrix via the combined action of static and dynamic loads of high intensity	35
Ishchenko M. V. The conveyor belt wear in an abrasive and chemically active environment of the potash plant	44
Markevich M. I., Chaplanov A. M., Malyshko A. N., Solodukha V. A., Solovyev Ya. A., Sarichev O. E., Shcherbakova E. N. Formation and investigation of Schottky diodes based on platinum and nickel silicide	48
Mikhailov M. I. Analysis of prefabricated internal cutters load backup	55
Rakitsky A. A. Investigation of fatigue strength of machine components with thermal spray coatings under cyclic push/pull conditions	62

Processes and Machines of Agroengineering Systems

Betenya G. F., Aniskovich G. I., Krivtsov A. V., Rogozhinsky S. N. Innovative technology for rotor discs and mower cutterbar shoe base strengthening	68
Bogdanovich P. N., Mikhailov M. I., Mikhailov K. M. Research of influence of electrofriction hardening of forage harvester cutting drum knives on their wear resistance	77

УДК 621. 833

П. Н. Богданович¹, М. И. Михайлов², К. М. Михайлов²

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Кирова, 34, 246000 Гомель, Республика Беларусь

² Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Министерство образования Республики Беларусь, пр. Октября, 48, 246746 Гомель, Республика Беларусь, +375 (232) 47 91 61, Mihailov@gstu.by

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ НОЖЕЙ РЕЖУЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Рассмотрена эффективность использования высокопрочного чугуна в конструкциях ножей режущего барабана кормоуборочных комбайнов. Приведены схемы установок для упрочнения и исследования износостойкости. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния электрофрикционного упрочнения ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на их износостойкость. Установлено, что износостойкость ножей повышается в 1,2...1,5 раза.

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн; ножи режущего барабана; электрофрикционное упрочнение.

Табл. 4. Рис. 8. Библиогр.: 15 назв.

P. N. Bogdanovich¹, M. I. Mikhailov², K. M. Mikhailov²

¹ Institution of Education "Belarusian State University of Transport" Ministry of Education of the Republic of Belarus, 34, Kirova str., 246000 Gomel, the Republic of Belarus

² Institution of education "Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi" Ministry of Education of the Republic of Belarus, 48, October ave., 246746 Gomel, the Republic of Belarus, +375 (232) 47 91 61, Mihailov@gstu.by

RESEARCH OF INFLUENCE OF ELECTROFRICTION HARDENING OF FORAGE HARVESTER CUTTING DRUM KNIVES ON THEIR WEAR RESISTANCE

Efficiency of use of high-duty cast iron in constructions of forage harvester cutting drum knives is considered. Installation schemes for hardening and durability studies are suggested. The results of experimental studies of the influence of electrofriction hardening of forage harvester cutting drum knives on their durability are considered. It is found that durability of knives increases 1.2...1.5 times.

Key words: forage harvester; knives; cutter drum; electrofriction hardening.

Table 4. Fig. 8. Ref.: 15 titles.

Введение. На современном этапе развития сельскохозяйственного машиностроения стоит задача разработки и выпуска машин, позволяющих обеспечить максимальное сбережение сырьевых, топливных и энергетических ресурсов на всех этапах производства, переработки и использования сельскохозяйственной продукции [1].

В условиях современного производства растёт производительность, экономичность и надёжность сельскохозяйственной техники, снижается её масса на единицу мощности, повышается точность изготовления изделий. Современные машиностроительные предприятия выпускают изделия с высокими эксплуатационными качествами при минимальных трудозатратах общественного труда. Большое влияние на безотказность технического устройства оказывают условия его работы, а именно воздействующие как на него, так и на составляющие элементы механические, климатические нагрузки и т. д. При проектировании устройства необходимо максимально уменьшить влияние внешних и внутренних нагрузок на его элементы [2].

Процесс измельчения растительной массы проходит при высоких окружных скоростях и является самым энергоёмким во всём технологическом процессе работы комбайна. Наиболее нагруженными, подверженными интенсивному изнашиванию являются ножи измельчающего барабана. Качество измельчённой массы может характеризоваться длиной резки и степенью измельчения, т. е. объёмной величиной частиц [3].

Перемещаемая питающими вальцами растительная масса движется на противорежущую пластину со скоростью, вычисляемой по формуле

$$V_n = \eta \pi D_n / 60,$$

где η — коэффициент пробуксовывания стеблей, равный 0,85...0,9;

D_n — диаметр одного из питательных вальцов, м.

Длина частиц определяется по выражению

$$l_{\text{расч}} = V_n \cdot 60 / (nZ),$$

где n — частота вращения барабана;

Z — число ножей.

Загрязнённость и засорённость убранной массы почвой, остатками органических и минеральных удобрений или гербицидов, а также частицами раздробленных инородных предметов являются сопутствующими факторами работы измельчающего аппарата.

При резании толстого слоя усилие затрачивается не только на разрушение материала, но и на преодоление трения между фасками лезвия и материалом. При этом сила возникающего трения между фасками и материалом пропорциональна площади контакта этих фасок с материалом. С увеличением угла скольжения τ площадь контакта F увеличивается:

$$F = \frac{F_0}{\cos \tau},$$

где F_0 — площадь контакта при τ , равном 0.

Согласно исследованиям Н. Е. Резника, чем тоньше слой, тем меньше удельная работа, необходимая для его перерезания, и, следовательно, рациональнее процесс резания [4].

В рамках мероприятий по импортозамещению и внедрению в производство новых материалов создан высокопрочный чугун с шаровидным графитом марки ВЧТГ (патент № 15617) с особым химическим составом (таблица 1). Основные свойства данного материала, регулируемые термообработкой, находятся в следующих пределах: твёрдость до 55 HRC; предел прочности при растяжении ~ 900...1 400 МПа; относительное удлинение при разрыве ~ 1,5...3,5%. Главной особенностью чугуна марки ВЧТГ является то, что его характеристики сопротивления усталости практически достигают таковых для высокопрочной легированной стали. Поэтому в качестве материала для ножей измельчающего барабана используют высокопрочный чугун ВЧТГ, который по основным прочностным характеристикам практически не уступает стали. Кроме того, для изготовления ножей использовались сталь 51CrV4 (производства Германии) и сталь 65Г. Рассмотрим химический состав и механические свойства стали 65Г (таблицы 2 и 3).

В условиях СКБ ПО «Гомсельмаш» проведены натурные краш-тесты на дубовых и сосновых досках со стальными стержнями диаметром 20 мм и твёрдостью 40 HRC. При работе чугунных ножей происходило их локальное разрушение. В полевых условиях стойкость ножей составляло 30 000 т, что на 10...20% ниже, чем стальных ножей. Нестабильность условий испытания не позволяет установить относительную износостойкость материалов ножей.

Т а б л и ц а 1. — Химический состав высокопрочного чугуна

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
3,2...3,6	3... 3,8	0,4...0,7	до 0,8	до 0,01	до 0,1	до 0,15	до 0,6

Т а б л и ц а 2. — Химический состав стали 65Г

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,63... 0,67	0,17... 0,37	0,9...1,2	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2

Т а б л и ц а 3. — Механические свойства стали 65Г

σ_B	σ_T	δ_5	Ψ	KCU
МПа	МПа	%	%	кДж/м ²
980	785	8	30	76

Основная часть. Методика проведения испытаний. В качестве способа упрочнения был выбран экспериментальный метод электрофрикционного упрочнения. Приведём его принципиальную схему (рисунок 1). Режимы упрочнения были выбраны следующие значения: сила тока I , равная 200 А, скорость перемещения V — 1 м / мин.

Упрочняемая деталь 1 закрепляется в ванне 3 , наполненной рабочей жидкостью (водой) 4 таким образом, чтобы деталь была полностью покрыта жидкостью. На участок детали, подвергающийся упрочнению, опускается вращающийся диск 2 , изготовленный из серого чугуна, который имеет возможность совершать продольное перемещение относительно детали. Упрочняемая деталь и чугунный диск замыкаются в электрический контур. При соприкосновении диска с деталью происходит электрический пробой, вследствие чего происходит быстрый нагрев локального участка упрочняемой детали. Так как упрочнение проводится в воде, то происходит быстрое охлаждение, благодаря чему достигается поверхностная закалка детали.

Одновременно на поверхность осуществляется перенос серого чугуна, который отбеливается вследствие воздействия высоких температур. Наличие на поверхности белого чугуна приводит к увеличению триботехнических свойств упрочняемой поверхности.

Испытания образцов на абразивное изнашивание проводились на торцевой машине трения (рисунок 2). В качестве контртела использовалась стальная деталь (поддон 4) в водной взвеси (NaCl и KCl (3 масс. %), SiO₂ (5...10 масс. %)). Данный состав примесей моделировал реальные условия работы ножей (калийная соль — удобрение, песок — естественная среда). Принцип испытания заключался в том, что образец 1 , закреплённый в держателе 6 , опускался на поддон 4 , в котором находилась водная взвесь калийной соли и песка (рабочая жидкость 2). Поддон приводился во вращение от электродвигателя в корпусе 5 . Износ происходил путём попадания абразива между поддоном и образцом, а также по причине коррозионных процессов. На край кронштейна 3 навешивался груз 7 из набора разновесов, что позволяло проводить испытания при различных нагрузках.

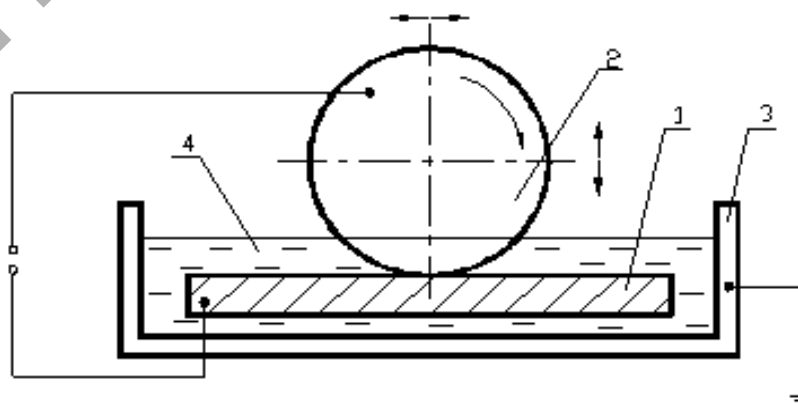


Рисунок 1. — Принципиальная схема электрофрикционного упрочнения

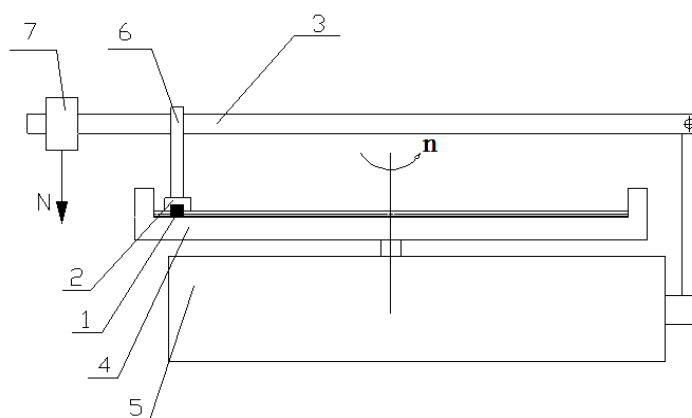


Рисунок 2. — Схема установки трения

Держатель имел возможность перемещаться вдоль кронштейна, что позволяло менять радиус от центра диска до образца и проводить испытания с изменением скорости.

В качестве критерия определения триботехнических свойств была выбрана массовая интенсивность изнашивания. Образцы взвешивались до и после проведения испытаний, и по потере массы можно было определить наиболее износостойкий образец при данных условиях проведения эксперимента. Поддон устанавливался и закреплялся на вращающемся столе, в него наливалась водная взвесь калийной соли и песка. При вращении центробежными силами твёрдые частицы абразива выносило к краям поддона, поэтому для равномерности концентрации абразивных частиц на кронштейне дополнительно закреплялась кисточка, которая непрерывно перемешивала рабочую среду.

В ходе предварительного подбора режимов проведения экспериментов были выбраны следующие основные параметры: грузы весом 0,5; 1,0 и 1,5 кг, скорости вращения поддона 0,28...0,57 м / с, время проведения одного опыта — 15 мин.

По окончании каждого опыта определялись потери массы по формуле

$$\Delta m = m_1 - m_2,$$

где m_1 и m_2 — массы образцов до и после испытания соответственно, кг.

Затем производился расчёт массовой интенсивности изнашивания по формуле

$$I_m = \Delta m / \rho s,$$

где ρ — плотность материала, кг / м³;

s — площадь поверхности трения, м².

Опыты повторялись четыре раза для каждого образца из различных материалов, что повышало достоверность получаемых результатов.

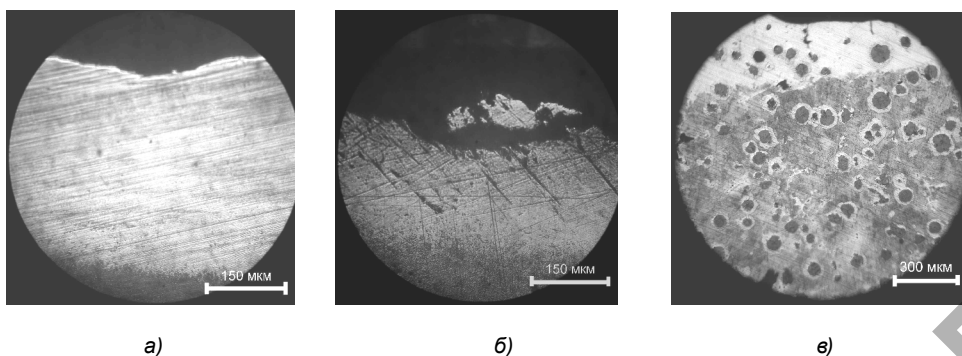
Результаты испытаний. Представлены микроструктуры образцов после упрочнения (рисунок 3).

В нижней части изображения (см. рисунок 3, а) видна неупрочнённая основа стали (тёмный участок). Зона упрочнения составляет 300...350 мкм, однако может достигать 400 мкм, присутствует также зона термического влияния и зона легирования (отбеленный чугун).

В нижней части изображения (см. рисунок 3, б) видна неупрочнённая основа стали. В средней наблюдается зона упрочнения, состоящая из светлого слоя толщиной 150...250 мкм (светлый участок). Видны глобулярные включения графита (тёмные округлые участки), окружённые слоем феррита (светлые участки) в тёмной перлитной матрице (см. рисунок 3, в). В верхней части видна зона упрочнения (светлый участок) с образованием отбеленного чугуна. Видно, что толщина зоны упрочнения достигает примерно 300...400 мкм.

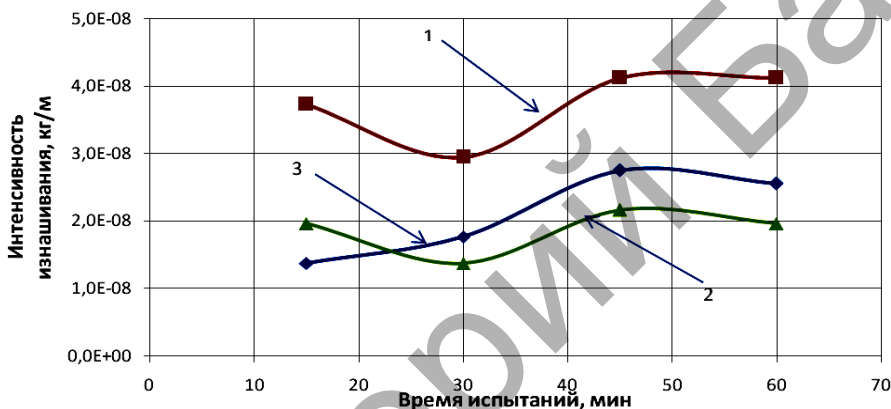
Представлена интенсивность изнашивания упрочнённых образцов при режиме трения № 1 (давление P в зоне контакта, равное 9,1 кПа, и скорость V — 0,57 м / с) во времени (рисунок 4).

Сталь 65Г проявляет наиболее высокую интенсивность изнашивания по сравнению с другими материалами (см. рисунок 4). Это связано с тем, что у неё наименьшая твёрдость и, следовательно, наименьшее сопротивление абразивному изнашиванию. Высокие значения интенсивности изнашивания



а — сталь 51CrV4; б — сталь 65Г; е — чугун ВЧТГ

Рисунок 3. — Микроструктуры образцов после упрочнения



1 — сталь 65Г; 2 — сталь 51CrV4; 3 — чугун ВЧТГ

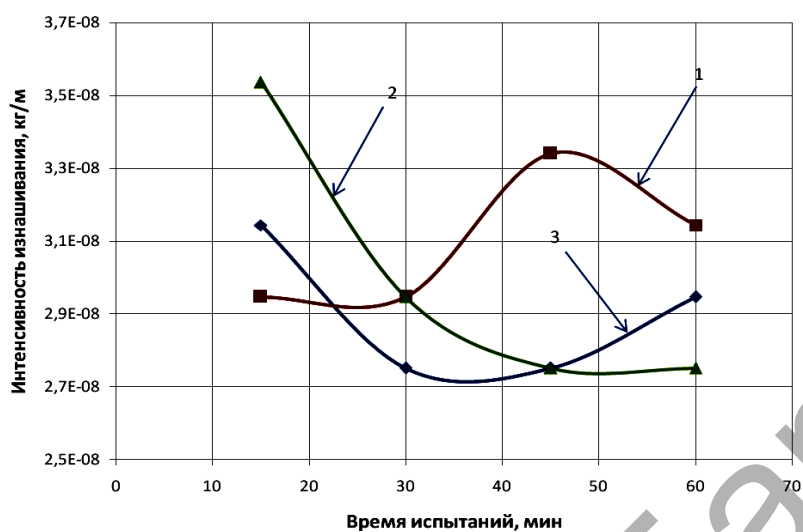
Рисунок 4. — Графики влияния времени испытания на интенсивность изнашивания

у образцов из сталей 65Г и 51CrV4 связаны с высокой шероховатостью образцов после упрочнения и, как следствие, сколом небольших участков острых кромок образцов. Дальнейшее увеличение интенсивности изнашивания у образцов из всех материалов связано с увеличением фактической площади трения. Стабилизация или небольшое снижение интенсивности изнашивания связано с уменьшением размера абразивных частиц. По сравнению с неупрочнёнными упрочнённые образцы на режиме испытаний № 1 (P равно 9,1 кПа, V — 0,57 м / с) обладают значительно более высокой (в 1,5 раза) износостойкостью.

Представлена интенсивность изнашивания упрочнённых образцов при режиме трения № 2 (P равно 18,2 кПа, V — 0,57 м / с) во времени (рисунок 5).

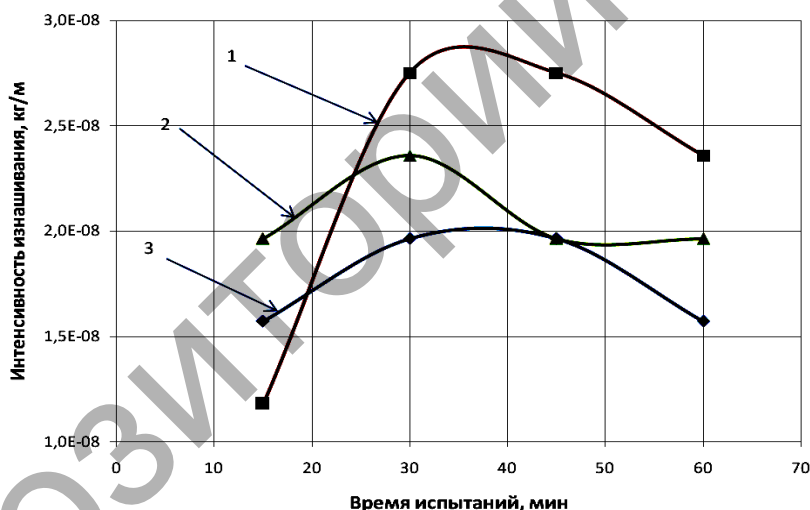
Видно, что высокие начальные значения интенсивности изнашивания (см. рисунок 5) у образцов из стали 51CrV4 и чугуна аналогичным образом объясняются сколом небольших участков острых кромок. Значения интенсивности изнашивания чугуна ВЧТГ и стали 51CrV4 в период времени с 15-й по 60-ю мин относительно стабильны, имеют незначительные отклонения (до $0,2 \cdot 10^{-8}$ кг / м) и могут объясняться как погрешностью измерений, так и совместным увеличением фактической площади трения и уменьшением размера абразивных частиц. Пик интенсивности изнашивания у стали 65Г объясняется однократным сколом хрупкого участка упрочнённой поверхности. По сравнению с неупрочнёнными образцами упрочнённые на этом режиме испытаний также проявляют более высокую износостойкость (в 1,2...1,5 раза).

Представлена интенсивность изнашивания упрочнённых образцов при режиме трения № 3 (P равно 18,2 кПа, V — 0,28 м / с) во времени (рисунок 6).



1 — сталь 65Г; 2 — сталь 51CrV4; 3 — чугун ВЧТГ

Рисунок 5. — Графики влияния времени испытания на интенсивность изнашивания



1 — сталь 65Г; 2 — сталь 51CrV4; 3 — чугун ВЧТГ

Рисунок 6. — Графики влияния времени испытания на интенсивность изнашивания

Очень малое начальное значение интенсивности изнашивания стали 65Г можно объяснить интенсивным переносом высокопрочного чугуна на поверхность образца. Дальнейшее резкое увеличение объясняется снятием поверхностной части твердого отбеленного чугуна и, как следствие, уменьшением износостойкости образца, что вызвано уменьшением размеров абразивных частиц. Увеличение интенсивности изнашивания образцов из стали 51CrV4 и чугуна ВЧТГ объясняется увеличением фактической площади трения. Дальнейшее снижение и стабилизация вызваны уменьшением размеров абразивных частиц. На данном режиме испытаний также отмечено увеличение износостойкости упрочнённых образцов по сравнению с неупрочнёнными (в 1,1...1,4 раза).

Проведённые испытания упрочнённых образцов позволяют заключить, что использованный метод упрочнения в зависимости от режима испытаний повысил износостойкость образцов из всех представленных материалов в 1,1...1,5 раза.

Представлена зависимость интенсивности изнашивания упрочнённых образцов от скорости скольжения (рисунок 7).

Видно, что наименьшую интенсивность изнашивания проявляет сталь 51CrV4, наиболее высокую — сталь 65Г (см. рисунок 7). Интенсивность изнашивания всех образцов с повышением скорости возрастает, что связано с увеличением пути трения за одинаковое время. Также можно отметить, что интенсивность изнашивания упрочнённых образцов значительно ниже, чем неупрочнённых.

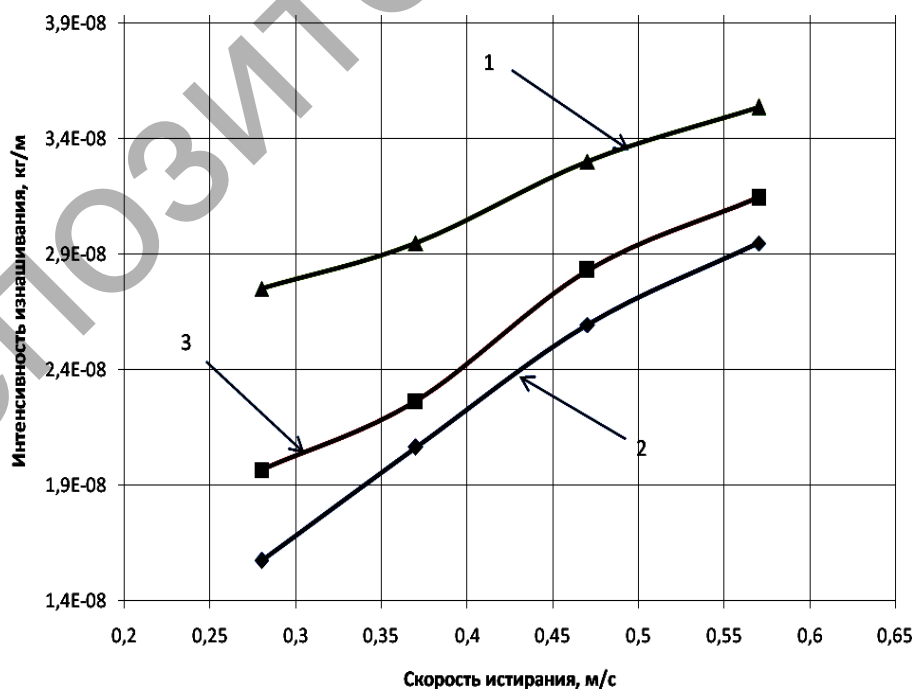
Анализ видов изнашивания производился на всех образцах до и после упрочнения при увеличении изображения в 50 раз. Было выявлено, что характер изнашивания примерно одинаков. Можно увидеть царапины 1, являющиеся результатом абразивного изнашивания (рисунок 8, а). Также можно отметить наличие трещин, расположенных перпендикулярно направлению движения абразивных частиц, что является результатом усталостного изнашивания.

При условии дальнейшего воздействия абразивных частиц вследствие усталостного изнашивания возможны выкрашивания участков материала между царапинами.

Виден также результат выкрашивания материала между царапинами 1 из-за влияния усталостного и адгезионного изнашивания материала. Отчётливо видна большая усталостная трещина 2, которая впоследствии приведёт к отделению крупного участка материала (см. рисунок 8, б).

Можно сделать вывод, что доминирующим видом изнашивания является абразивное; адгезионное и усталостное изнашивания вносят значительно меньший вклад.

В ходе проведения триботехнических испытаний влияние коррозии на образцы выявить было проблематично вследствие непродолжительности эксперимента (15 мин на одно испытание). Но было отмечено, что коррозии подвергся поддон, который более продолжительное время находился в контакте с коррозионно-активной средой. Поэтому коррозионные испытания производились отдельно. Образцы помещались в водный раствор NaCl и KCl (3...5 масс. %) на 100 ч, затем извлекались, просушивались, промывались в спиртовом растворе, тщательно высушивались, протирались до максимального удаления остатков коррозионных процессов и взвешивались. По потере массы и соотношению полученных данных с результатами триботехнических испытаний можно судить о влиянии коррозионных процессов на общие показатели (таблица 4).



1 — сталь 65Г; 2 — сталь 51CrV4; 3 — чугун ВЧТГ

Рисунок 7. — Влияние скорости испытания на интенсивность изнашивания

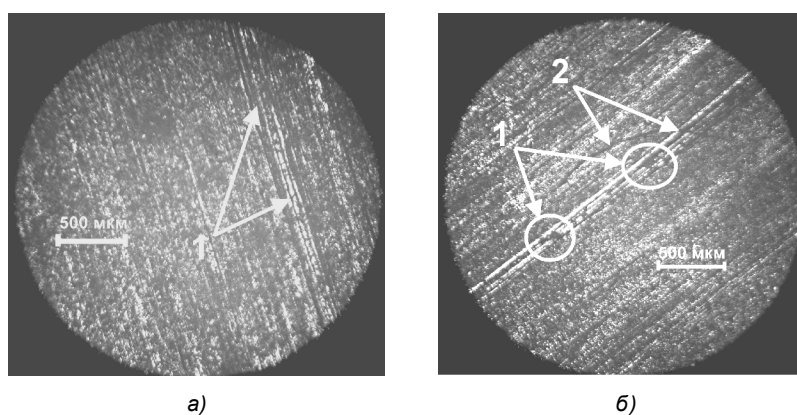


Рисунок 8. — Фотография изношенных поверхностей. $\times 50$

Т а б л и ц а 4. — Результаты коррозионных испытаний

Материал образца	Потеря массы $V m$, г
ВЧТГ	0,00275
65Г	0,00655
51CrV4	0,00315

По полученным результатам можно сделать вывод, что коррозия не оказала существенного влияния на проведённые триботехнические испытания представленных материалов. Потеря массы после коррозионных испытаний в течение 100 ч соответствует потере массы после триботехнических испытаний в течение 5 мин на режиме трения № 2 (P равно 18,2 кПа, V — 0,57 м / с).

Заключение. Проведённые испытания упрочнённых образцов позволяют сделать вывод, что использованный электрофрикционный метод упрочнения в зависимости от режима испытаний повысил износостойкость образцов из всех представленных материалов в 1,1...1,5 раза, причём наибольшей износостойкостью обладали образцы из чугуна ВЧТГ. Зона упрочнения может достигать 400 мкм, присутствует также зона термического влияния и зона легирования.

Доминирующим видом изнашивания является абразивное; адгезионное и усталостное изнашивание вносят значительно меньший вклад.

Список цитируемых источников

1. Измельчающие аппараты современных кормоуборочных комбайнов / М.И. Белов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2012. № 3. С. 43—50.
2. Основные требования к износостойкости режущих элементов кормоуборочных комбайнов / А.А. Дюжев [и др.] // Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2004. С. 57—64 ; Кравченко И.Н., Пучин Е.А. Основы надёжности машин : в 2 ч. М. : Машиностроение, 2007. Ч. 1. 224 с. ; Прейсман В.И. Основы надёжности сельскохозяйственной техники. Днепропетровск, 1972. 340 с. ; Власов П.А. Надёжность сельскохозяйственной техники. Пенза : РИО ПГСХА, 2001. 124 с. ; Босой Е.С., Верняев О.В. Теория, конструкция и расчёт сельскохозяйственных машин. М. : Машиностроение, 1978. 457 с. ; Лезин П.П. Основы надёжности сельскохозяйственной техники. Саранск, 1997. 223 с. Аллилуев В.А. Техническая диагностика тракторов и сложных сельскохозяйственных машин на промышленной основе : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л. : 1984. 33 с. ; Надёжность в технике. Термины и определения : ГОСТ 27.002-83. М. : Изд-во стандартов, 1983. 30 с. ; Надёжность и эффективность в технике : справ. : в 10 т. Т. 8 : Эксплуатация и ремонт / под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. 320 с.
3. Измельчающие аппараты современных кормоуборочных комбайнов / М.И. Белов [и др.]. С. 43—50.
4. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов. М. : Машиностроение, 1975. 311 с. ; Турбин Б.Г., Лурье А.Б., Григорьев С.М. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчёт. М. : Машиностроение, 1967. 357 с.
5. Микрюков В.М., Сазонов О.А. Применение бейнитного высокопрочного чугуна // Чугуны с шаровидным и вермикулярным графитом и аустенитно-бейнитной матрицей. Современные материалы для литых деталей : инф. сб. техн. материалов. М. : Металлургия, 2004. С. 260—262 ; Шебашинов М.П. Высокопрочный чугун в машиностроении. М. : Машиностроение, 1988. 216 с. ; Псырков Н.В., Капитонов А.А., Замятин В.О. Опыт внедрения специального чугуна марки ВЧТГ для изготовления ножей режущих барабанов кормоуборочной техники // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. 2013. Вып. 2. С. 388—390.

Поступила в редакцию 31.05.2016.