

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).

Бетяга 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 даву-заўскай 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 ін-стытут 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 жывёлага-доўлі і электрыфікацыі сельскагаспадарчай вытворчасці ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспа-дарчая 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., Чапманов 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 677.054.842

Б. А. Бакулин¹, Ю. К. Калугин²

¹ Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, 8 (0163) 58 37 13, bakulinb@mail.ru

² Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Ожешко, 22, 230023 Гродно, Республика Беларусь, +375 (152) 73 19, kgk-oap@bk.ru

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ БАТАННОГО МЕХАНИЗМА ТКАЦКОГО СТАНКА

Рассматриваются методы и результаты исследования поверхностного слоя деталей батанного механизма ткацкого станка СТБ, подвергающихся интенсивному износу. Известно, что физико-механические свойства материалов, из которых изготавливаются ответственные детали ткацких станков, определяют их износостойкость и надёжность. На основе результатов исследования выявлен процентный состав легирующих добавок и твёрдость материалов, из которых изготовлены детали механизма различных производителей, а также предложены основные направления повышения износостойкости контактирующих деталей, работающих в условиях трения скольжения.

Ключевые слова: ткацкий станок; нитепрокладчик; зуб батана; сила трения; износ; спектральный анализ; твёрдость материала.

Табл. 1. Рис. 9. Библиогр.: 1 назв.

B. A. Bakulin¹, Ju. K. Kalugin²

¹ Baranovichi State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21, Voykova str., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, 8 (0163) 58 37 13, bakulinb@mail.ru

² Yanka Kupala State University of Grodno, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 22, Ozheshko str., 230023 Grodno, the Republic of Belarus, +375 (152) 73 19, kgk-oap@bk.ru

ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS FOR LOOM BATA MECHANISM PARTS PRODUCTION

The article deals with the methods and results of the study of the surface layer of Bata mechanism parts for STB looms, which are exposed to intensive wear. As is known, physical and mechanical properties of materials for the important parts of looms determine their durability and reliability. The research results reveal the percentage of codopants and hardness of the materials used in the Bata mechanism manufactured by different producers. Some ideas of improving the wear resistance of parts, working in conditions of friction are suggested.

Key words: loom; plotter yarn; batan tooth; friction force; wear pattern; spectral analysis; hardness of the material.

Table 1. Fig. 9. Ref.: 1 titles.

Введение. На предприятиях Республики Беларусь и ближнего зарубежья используются преимущественно ткацкие станки бесчелночного типа марки СТБ, на которых прокладывание уточных нитей осуществляется малогабаритным нитепрокладчиком утка. Эти станки являются более универсальными по сравнению с машинами, использующими другие способы прокладывания утка. Однако данный способ прокладывания утка имеет некоторые недостатки: прерывность введения уточной нити в зев, большая интенсивность износа элементов механизмов движения нитепрокладчика, сложность конструкции отдельных механизмов.

По своей кинематике текстильные машины являются одними из самых сложных машин и состоят из множества сборочных единиц и деталей, имеющих самую различную долговечность. Основную роль в фор-

мировании процесса движения нитепрокладчика выполняют механизмы, детали и узлы, которые подвергаются достаточно большим силовым и динамическим нагрузкам, приводящим к значительным энергетическим потерям и повышенному износу. К таким деталям относятся зуб батана и нитепрокладчик.

Для устранения вышеперечисленных недостатков были проведены исследования воздействия факторов, влияющих на износ в паре «зуб батана—нитепрокладчик», определены физико-механические свойства деталей батанного механизма, позволяющие выбрать наиболее эффективные методы упрочняющей обработки для быстроизнашиваемых деталей.

Основная часть. Материал пар трения контактирующих деталей батанного механизма должен иметь повышенное сопротивление износу и коррозии, обеспечивать малый шум и вибрацию при движении, а также стабильность свойств при повышении температуры, возникающей из-за трения в зоне контакта.

Износ контактирующих поверхностей зависит от их шероховатости, нагрузочно-скоростных факторов, физико-механических свойств материалов, условий смазывания, температуры на поверхности трения, наличия загрязнений в смазке и т. д. Неточности механической обработки и некачественная сборка трущейся пары вызывают остаточные напряжения усталостного износа и колебания упругих элементов контактов, что ускоряет разрушение соответствующих деталей.

Для исследования прочностных свойств материалов и выявления их устойчивости к воздействию абразивного износа, определения влияния физико-механических свойств и легирующих элементов в образцах деталей на их изнашиваемость в процессе эксплуатации проведены лабораторные исследования соответствующих деталей, изготовленных различными производителями (таблица 1).

Показана схема взаимодействующих элементов батанного механизма (рисунок 1). Направляющая гребёнка включает набор зубьев батана 1 и нитепрокладчик, состоящий из корпуса нитепрокладчика 2, захвата 3 и заклёпок 4.

Одним из самых скоростных звеньев в ткацком станке является нитепрокладчик утка.

Движение нитепрокладчиков ограничено узким пространством направляющих гребёнки, поэтому предъявляются высокие требования к точности изготовления соответствующих деталей и их базирования [1]. В результате столкновения с отдельными зубьями по касательной плоскости контактирующие поверхности деталей испытывают повышенный износ. Фрагменты поверхностей некоторых деталей подвергаются наибольшему механическому воздействию (рисунок 2).

Корпус нитепрокладчика 1 (см. рисунок 2) представляет собой сварную пластину из двух половинок или цельнотянутую сплюснутую трубку с приваренным мыском, имеющую в сечении форму неравносторонней восьмигранной призмы. Разница в толщине стенок по всем направлениям не должна превышать 0,1 мм. Шероховатость поверхности корпуса — 0,32 мкм. Зубья батана 2 образуют направляющий канал для нитепрокладчиков утка, их устанавливают в обоймы по шесть зубьев в каждой. От качества изготовления зубьев батана и всей обоймы будет зависеть работа батанного механизма.

Т а б л и ц а 1. — Образцы деталей различных производителей

Номер образца	Название детали	Производитель
1	Корпус нитепрокладчика	Чебоксары, РФ
2	Корпус нитепрокладчика	Новосибирск, РФ
3	Корпус нитепрокладчика	Фирма «Зульцер», Германия
4	Зуб батана	Чебоксары, РФ
5	Зуб батана	Новосибирск, РФ
6	Зуб батана	Фирма «Зульцер», Германия
7	Захват нитепрокладчика утка	Чебоксары, РФ
8	Захват нитепрокладчика утка	Новосибирск, РФ
9	Захват нитепрокладчика утка	Фирма «Зульцер», Германия

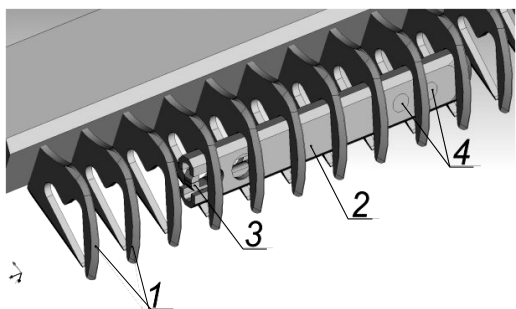
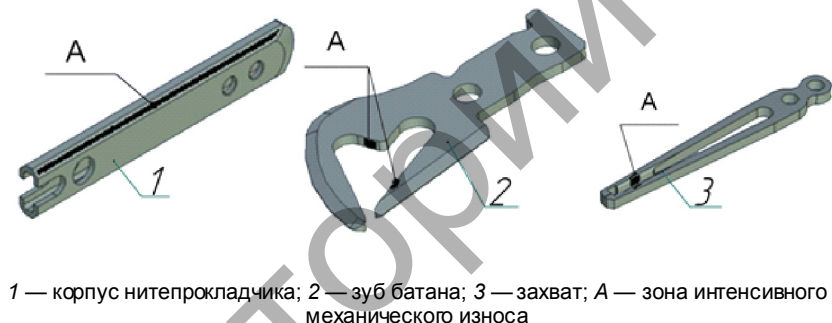


Рисунок 1. — Схема батанного механизма ткацкого станка СТБ

Внутри корпуса нитепрокладчика на двух заклёпках 4 закреплён захват (пружина) 3, который оканчивается двумя губками (см. рисунок 2). Глухие заклёпки создают надёжное крепление захвата с корпусом прокладчика утка и позволяют избежать загрязнения ткани в процессе работы.

На первом этапе исследования был произведён спектральный анализ испытуемых образцов на спектрометре СПАС-02А. По цвету спектра, видимому в оптический прибор, можно судить об имеющихся в проверяемом образце стали тех или иных легирующих элементах.



1 — корпус нитепрокладчика; 2 — зуб батана; 3 — захват; А — зона интенсивного механического износа

Рисунок 2. — Детали батанного механизма с обозначением зон, наиболее подверженных абразивному трению

На основании лабораторных исследований построены графики спектрального анализа образцов 1—6 и 7—9 (рисунки 3 и 4).

По данным интенсивности различных спектров для разных легирующих добавок выявлен химический состав элементов, а по их содержанию определён материал деталей. Представлены данные о процентном содержании химических элементов деталей различных производителей (рисунки 5 и 6).

Из полученных данных определено: образец 1 выполнен из хромокремнистой конструкционной стали 40ХС, ГОСТ 4543-71, образец 2 — из хромоникельмолибденовой конструкционной стали 40ХН2МА ГОСТ 4543-71, образец 3 (производства фирмы «Зульцер», Германия) — из хромистой конструкционной стали типа 40Х. Образцы 4, 5 и 6 выполнены из стали 35 ГОСТ 1050-88, а материалом образцов 7, 8 и 9 является хромованадиевая сталь 15ХФ, 40ХФА (ГОСТ 4543-71).

Затем производилось определение твёрдости материала образцов методом Роквелла (ГОСТ 9013-59), шкала С. Представлены результаты исследований (рисунки 7 и 8).

На основании вышеприведённых данных получено соотношение твёрдостей материалов пар «зуб батана—нитепрокладчик» (K_t) (рисунок 9). Данное соотношение позволяет сделать вывод, что твёрдости материалов пар разных производителей близки по значению и не оказывают решающего влияния на их износостойкость.

Эксплуатационные испытания пар «зуб батана—нитепрокладчик», проведённые на ОАО «БПХО» (г. Барановичи), показали следующие результаты по периоду их стойкости: пара «зуб батана—ните-

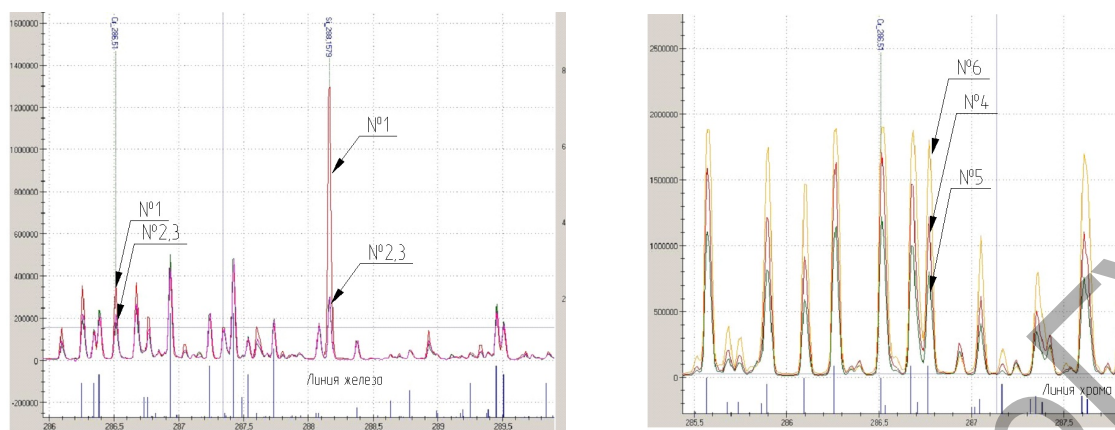


Рисунок 3. — Спектральный анализ пары «зуб батана—нитепрокладчик» образцов 1—6

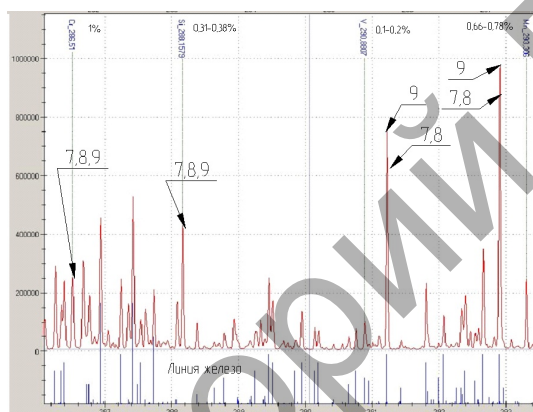
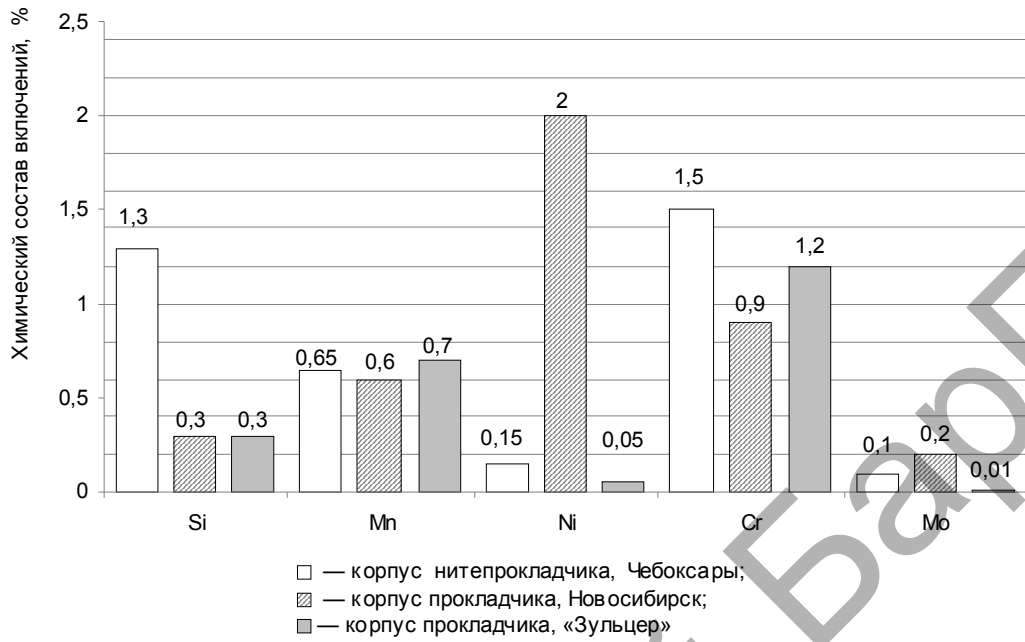


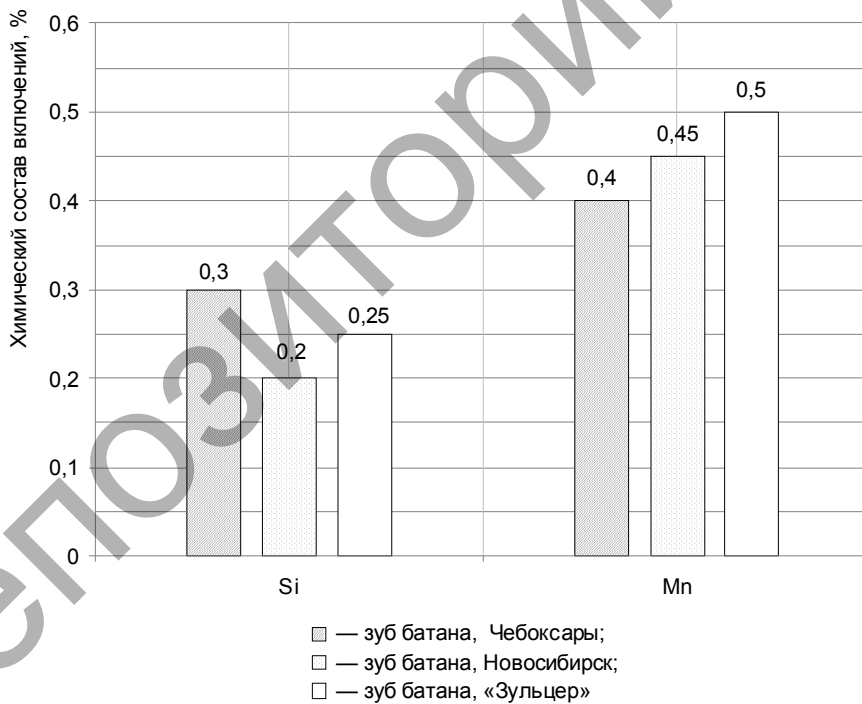
Рисунок 4. — Спектральный анализ пары «зуб батана—нитепрокладчик» образцов 7—9

прокладчик», произведённая в Новосибирске, превосходит по износостойкости пару производства г. Чебоксары в 2 раза; наивысший результат износостойкости (в 3,5 раза превосходит пару производства г. Новосибирск) принадлежит фирме «Зульцер» (Германия).

Закключение. Выполнен спектральный анализ химического состава, и определена твёрдость образцов деталей ткацкого станка модели СТБ, проведены их эксплуатационные испытания. Установлено, что детали произведённые в России, выполнены из сложнлегированных сталей 40ХС, 40ХН2МА, 15ХФ, 40ХФА, а подобные детали производства «Зульцер» (Германия) — из сталей типа 40Х и 35. Однако производственные испытания деталей, изготовленных из вышеуказанных материалов, свидетельствуют, что детали, изготовленные германской фирмой, в 3,5...7,0 раз превосходят по стойкости российские детали. Такой результат показывает, что немецкая фирма при изготовлении деталей ткацкого станка использует более эффективные режимы термо- или термомеханической обработки. Следовательно, для изготовления быстроизнашиваемых деталей ткацкого станка можно использовать относительно недорогие малолегированные стали при условии подбора эффективных режимов термообработки или других методов упрочнения (вакуумным нанесением покрытий, химико-термической обработкой, магнитно-импульсным воздействием и др.). Этим вопросам будет посвящена следующая статья после проведения соответствующих научно-исследовательских работ.



а)



б)

Рисунок 5. — Химический состав материала корпуса нитепрокладчика (а) и зуба батана (б) различных производителей

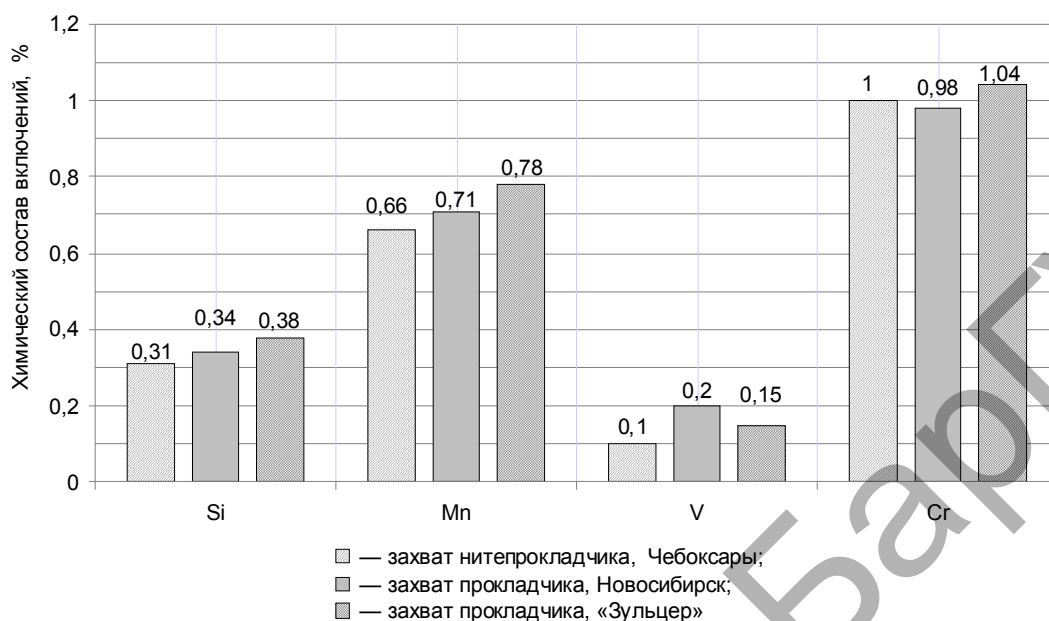


Рисунок 6. — Химический состав материала захвата нитепрокладчика различных производителей

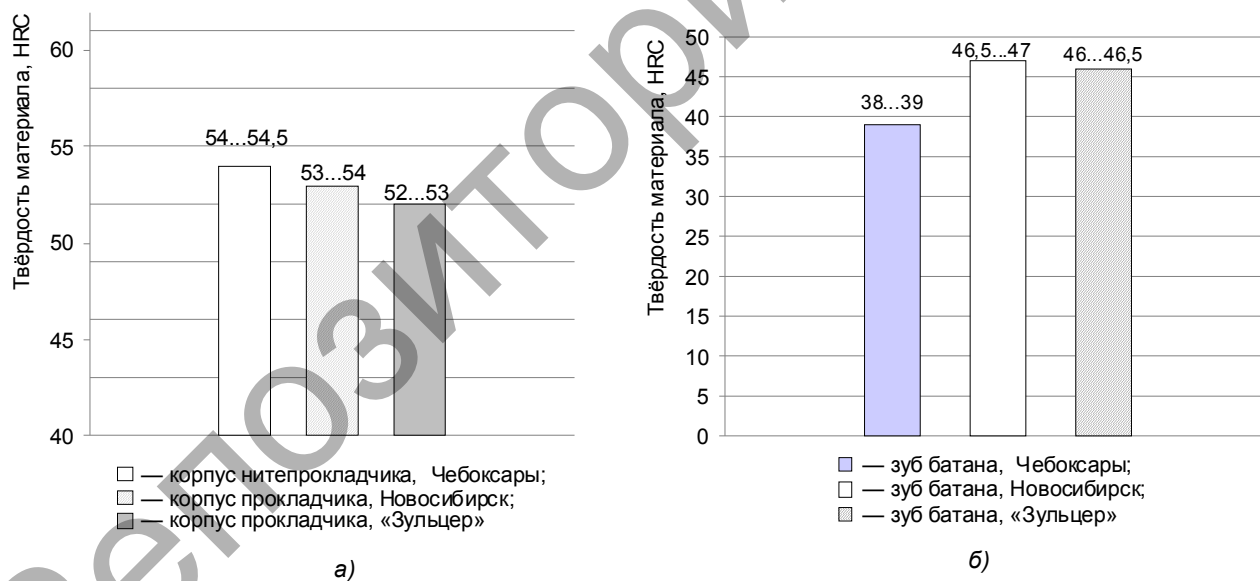


Рисунок 7. — Твёрдость материала корпуса нитепрокладчика (а) и зуба батана (б), HRC

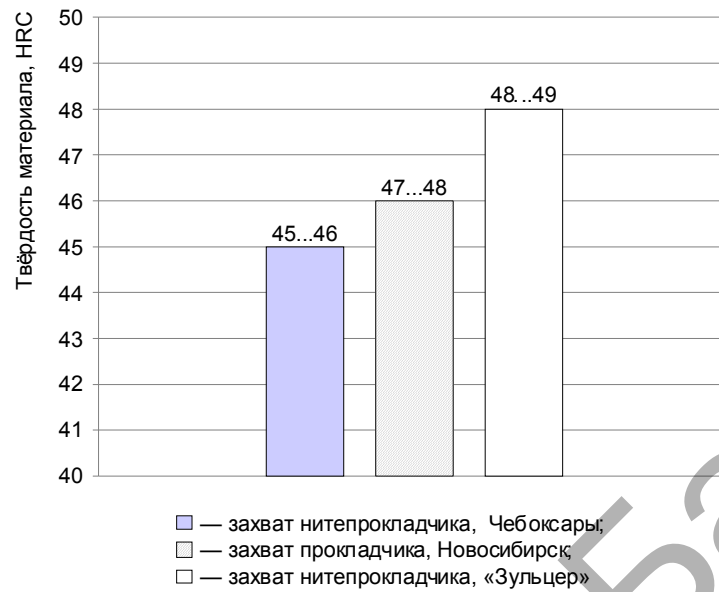


Рисунок 8. — Твёрдость материала захвата нитепрокладчика, HRC

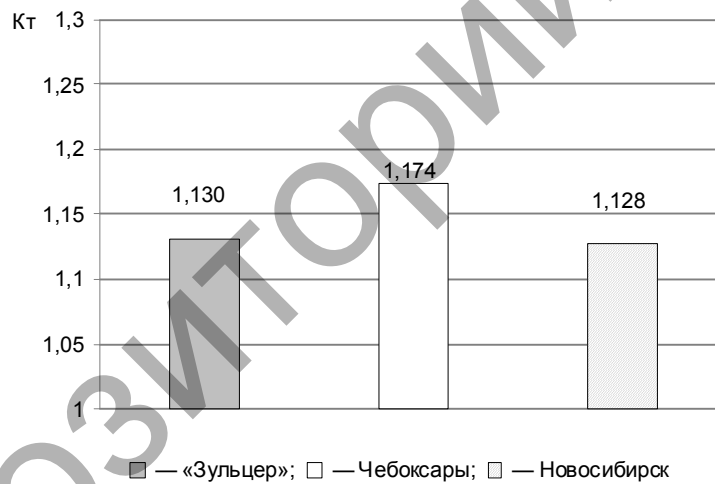


Рисунок 9. — Соотношение твёрдостей поверхностного слоя контактирующих деталей пары «зуб батана—нитепрокладчик»

Список цитируемых источников

1. Гуляев Е.С. Оценка параметров точности нитепрокладчика // Математическое моделирование и информатика : Труды XV научной конференции / под ред. Д.Ю. Рязанова. М. : СТАНКИН, 2013. С. 121—124.

Поступила в редакцию 06.05.2016.