

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 7, июнь, 2019.

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 Климук Владимир Владимирович, кандидат экономических 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 информационных технологий и физико-математических дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Редактор текстов на английском языке

Пинюта Ирина Вячеславовна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры профессиональной иноязычной подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии 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 технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий и организации технического сервиса 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).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник 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).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии 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, автомобилей и машин для природообустройства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (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).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением Белорусского национального технического университета (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.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» включѳн в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включѳн в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-1/2016.

Издатель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой С. А. Березнюк

Технический редактор Е. И. Березич

Компьютерная вѳрстка С. А. Березнюк

Корректор С. А. Березнюк

Подписано в печать 14.06.2019. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,75. Уч.-изд. л. 8,10. Тираж 75 экз. Заказ

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014.

Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 Слоним, Гродненская обл.

© БарГУ, 2019

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 7, чэрвень, 2019.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

Заснавальнік: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ

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 Клімук Уладзімір Уладзіміравіч, кандыдат эканамічных 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 інфармацыйных тэхналогій і фізіка-матэматычных дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Пінюта Ірына Вячаславаўна, кандыдат педагагічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры прафесійнай іншамоўнай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрыленя Андрэй Канстанцінавіч (*адказны за напрамак «Машинабудаванне і машыназастава»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказны за напрамак «Працэсы і машыны аграрна-інжынерных сістэм»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта, дэкан факультэта давузаўскай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхналогіі і арганізацыі тэхнічнага сервісу ўстановы 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).

Гардзіенка Анатолій Іларыёнавіч, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, галоўны навуковы супрацоўнік 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).

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі 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, аўтамабіляў і машын для прыродаўладкавання ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры сельскагаспадарчых машын установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга 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).

Таміла Вячаслаў Анатолевіч, 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.by.

Папiсныя iндэксy: 00993 — для iндывiдуальных падпiсчыкаў; 009932 — для арганiзацый.

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 навук (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-выдавецкай групы С. А. Беразнюк

Тэхнічны рэдактар А. І. Бярэзіч

Камп'ютарная верстка С. А. Беразнюк

Карэктар С. А. Беразнюк

Падпісана да друку 14.06.2019. Фармат 60 × 84 1/8. Папера ксераксная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 12,75. Ул.-выд. арк. 8,10. Тыраж 75 экз. Заказ

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: Гродзенскае абласное ўнітарнае паліграфічнае прадпрыемства «Слоніўская тыпаграфія». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/203 ад 07.03.2014, № 2 ад 25.02.2014.

Адрас: вул. Хлюпіна, 16, 231800 Слонім, Гродзенская вобл.

© БарДУ, 2019

Educational institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013.

Volume 7, June, 2019.

Engineering Series

Promoter: educational institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Vasilij Ivanovich Kochurko, Doctor of Agriculture, Professor, Member of the Belarusian Academy of Engineering, Member of the International Academy of Technical Education, Member of the International Academy of Pedagogical Education, Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Distinguished educator of the Republic of Belarus, Rector of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Deputy Editor-in-Chief Vladimir Vladimirovich Klimuk, Ph. D. in Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for research of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor of the issue

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

Executive secretary of the issue

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer of the Information Technology and Physical and Mathematical Disciplines Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

English Text Editor

Iryna V. Piniuta, Ph. D. in Education, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Professional Foreign Language Training of Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agro-engineering Systems”*), Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair, Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

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

Anatoly I. Gordienko, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

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

Vladimir A. Dremuk, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

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

Anatoly N. Kartashevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor Agricultural Machinery Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

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

Vyacheslav A. Tomilo, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Pressure Treatment of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

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

Editorial address:

21 Voykova Str., 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 S. A. Bereznyuk
Technical editor E. I. Berezich
Desktop Publishing S. A. Bereznyuk
Proofreader S. A. Bereznyuk

Signed print 14.06.2019. Format 60 x 84 ¹/₈. Paper xerox. Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 12.75. Acc.-pub. s. l. 8.10. Circulation of 75 copies. Order

Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary Enterprise “Slonim printing establishment”. The state registration certificate of the publisher, manufacturer and publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2 of 25.02.2014.

Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim, Grodno region.

© BarSU, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Сенчуров Е. В., Дубновицкий С. К. Магнитно-абразивная обработка маховичков водопроводных вентиляей	10
Алехнович В. Н., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Толкачева О. А. Разработка наплавочного плазмотрона, работающего на постоянно-импульсном напряжении	19
Алехнович В. Н., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Толкачева О. А. Разработка порошкового питателя, позволяющего осуществлять работу наплавочного плазмотрона в постоянно-импульсном режиме	24
Алифанов А. В., Богданович И. А., Русан С. И., Цуран В. В. Обоснование разработки усовершенствованного высокоточного, высокопроизводительного метода заточки режущего лезвия геликоидальных рубильных ножей	29
Голубев В. С., Вегера И. И., Чернашеюс О., Чаевский В. В. Лазерная обработка материалов с изменением химического состава поверхностного слоя	34
Горчанин А. И., Милюкова А. М., Лях А. А. Повышение эффективности упрочняющей магнитно-импульсной обработки ножей со сложным профилем лезвия	43
Жигалов А. Н. Математическая модель и методика параметрической оптимизации износа и ресурсной стойкости режущего твердосплавного инструмента, упрочненного аэродинамическим звуковым методом	49
Кулешов А. К., Углов В. В., Русальский Д. П. Формирование износостойких слоистых покрытий из карбидов молибдена, вольфрама и кобальта на твердосплавном инструменте	64
Малеронок В. В., Алифанов А. В., Богданович И. А. Метод исследования упрочненного слоя металлических образцов с использованием токов высокой частоты	70
Михайлов М. И., Мельников В. В. Повышение работоспособности вытяжных конусов стана тонкого волочения	76

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Клочков А. В., Шкуратов С. С. Скорость падения зерен в восходящем воздушном потоке	83
Михайлов К. М., Михайлов М. И. Моделирование напряженно-деформированного состояния опоры измельчающего барабана кормоуборочного комбайна	90
Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Сергей А. И. Исследование кинематической вязкости полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств	96

ЗМЕСТ

МАШЫНАБУДАВАННЕ І МАШЫНАЗНАЎСТВА

Акуловіч Л. М., Сяргееў Л. Я., Сенчуроў Я. В., Дубнавіцкі С. К. Магнітна-абразіўная апрацоўка махавічкоў водаправодных вентыляў	10
Аляхновіч В. М., Аліфанаў А. В., Мілюкова Г. М., Талкачова В. А. Распрацоўка наплавачнага плазматрона, які працуе на пастаянна-імпульсным напружанні	19
Аляхновіч В. М., Аліфанаў А. В., Мілюкова Г. М., Талкачова В. А. Распрацоўка парашковага сілкавальніка, які дазваляе ажыццяўляць работу наплавачнага плазматрона ў пастаянна-імпульсным рэжыме	24
Аліфанаў А. В., Багдановіч І. А., Русан С. І., Цуран У. У. Абаснаванне распрацоўкі ўдасканаленага высокадакладнага, высокапрадукцыйнага метада заточвання рэжучага ляза гелікаідальных рубільных нажоў	29
Голубеў В. С., Вегера І. І., Чарнашэюс А., Чаеўскі В. В. Лазерная апрацоўка матэрыялаў са змяненнем хімічнага складу паверхневага слою	34
Гарчанін А. І., Мілюкова Г. М., Лях А. А. Павышэнне эфектыўнасці ўмацавальнай магнітна-імпульснай апрацоўкі нажоў са складаным профілем ляза	43
Жыгалаў А. М. Матэматычная мадэль і метадыка параметрычнай аптымізацы зношвання і рэсурснай стойкасці рэжучага цвёрдасплаўнага інструмента, умацаванага аэрадынамічным гукавым метадам	49
Куляшоў А. К., Углоў У. В., Русальскі Д. П. Фарміраванне зносаўстойлівых слаістых пакрыццяў з карбідаў малібдэна, вольфрама і кобальта на цвёрдасплаўным інструменце	64
Маляронак У. У., Аліфанаў А. В., Багдановіч І. А. Метад даследавання ўмацаванага пласта металічных узораў з выкарыстаннем токаў высокай частаты	70
Міхайлаў М. І., Мельнікаў У. В. Павышэнне працаздольнасці выцяжных конусаў стана тонкага валачэння	76

ПРАЦЭСЫ І МАШЫНЫ АГРАНЖЫНЕРНЫХ СІСТЭМ

Клачкоў А. В., Шкуратаў С. С. Хуткасць падзення зярнят ва ўзыходзячым паветраным патоку	83
Міхайлаў К. М., Міхайлаў М. І. Мадэляванне напружана-дэфармаванага стану апоры здрабняльнага барабана кормаўборачнага камбайна	90
Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Сяргей А. І. Даследаванне кінематычнай вязкасці паўсінтэтычных маторных масел, якія выкарыстоўваюцца ў дызельных рухавіках механічных транспартных сродкаў	96

CONTENTS

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Akulovich L. M., Sergeev L. E., Senchurov E. V., Dubnovitskiy S. K. Magneto-abrasive machining of flywheels of the water supply valves	10
Alehnovich V. N., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tolkachova O. A. Development of the supply plasmatron working on constant-pulse voltage	19
Alehnovich V. N., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Tolkachova O. A. Development of powder feeder, allowing the operation of the surface plasmotron in constant-pulse mode	24
Alifanov A. V., Bogdanovich I. A., Rusan S. I., Tsuran V. V. Justification of the development of an improved high-precision, high-performance method of cutting blade of helicoidal cutting blades	29
Golubev V. S., Vegera I. I., Chernasheyus O., Chaevsky V. V. Laser treatment of materials with change of chemical composition of the surface layer	34
Harchanin A. I., Miliukova A. M., Lyah A. A. Improving the efficiency of the hardening magnetic-pulse processing of blades with a complex blade profile	43
Jigalov A. N. Mathematical model and method of parametric optimization of run-out and resource durability of cutting hardware tool hardened by aerodynamic sound method	49
Kuleshov A. K., Uglov V. V., Rusalsky D. P. Formation of wear resistant layered coatings of molybdenum carbides, tungsten and cobalt on a hard alloy tool	64
Maleronok V. V., Alifanov A. V., Bogdanovich I. A. Research method of the metal samples strengthened layer using high-frequency currents	70
Mikhailov M. I., Melnikov V. V. Improvement of the efficiency of exhaust cones of a fine-drawing mill	76

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

Klochkov A. V., Shkuratov S. S. Speed of grain fall in a rising air flow	83
Mikhailov K. M., Mikhailov M. I. Modeling of the tense-deformed state of the support of the chopping drum of forage harvester	90
Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Sergey A. I. Study of kinematic viscosity of semisynthetic motor oils, used in diesel engines of mechanical vehicles	96

УДК 621.7/9.048.7

М. И. Михайлов, В. В. Мельников

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Министерство образования Республики Беларусь, пр. Октября 48, 246746 Гомель,
Республика Беларусь, +375 (032) 24 77 54, Mihailov@gstu.by

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫТЯЖНЫХ КОНУСОВ СТАНА ТОНКОГО ВОЛОЧЕНИЯ

Исследовано напряженно-деформированное состояние вытяжных конусов стана тонкого волочения. Выполнен анализ влияния износостойкого покрытия рабочих поверхностей на напряжения и перемещения конусов. Установлена долговечность работы конусов.

Ключевые слова: стан тонкого волочения; вытяжные конуса; работоспособность.

Рис. 8. Библиогр.: 12 назв.

M. I. Mikhailov, V. V. Melnikov

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) 24 77 54, Mihailov@gstu.by

IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF EXHAUST CONES OF A FINE-DRAWING MILL

The tense-deformed state of exhaust cones of the fine-drawing mill has been investigated. The analysis of the effect of wear-resistant coating work surfaces on the tension and movement of the cones has been done. The durability of the work of a cone has been established.

Key words: fine-drawing mill; exhaust cones; efficiency.

Fig. 8. Ref.: 12 titles.

Введение. Стан тонкого волочения предназначен для изготовления стальной высоко и среднеуглеродистой проволоки круглого сечения, с наличием на поверхности проволоки металлического покрытия (латунь, медь, цинк и др.), методом многократного волочения через волоки с противонапряжением проволоки за счет проскальзывания на промежуточных шкивах, с исходным диаметром 0,85...2,0 мм до диаметра готовой продукции 0,15...0,4 мм.

Основным элементом является конус вытяжной, который представляет собой металлический конус, изготовленный из специальной хромистой стали, разделенной на дорожки (ступени волочения), с полированной рабочей поверхностью [1].

Теоретические исследования процесса изнашивания показали, что за счет изменения параметров состояния поверхностного слоя деталей можно в значительной мере управлять их износостойкостью [2—9]. Полученные соответствующие зависимости на основе теории равновесного состояния поверхностей в режиме установившегося трения указывают, что для сокращения длительности процесса приработки необходимо при разработке конструкции деталей машин назначать параметры состояния поверхностного слоя близкими к «равновесным», которые зависят от конкретных условий эксплуатации [10].

Наряду с теоретическими, получен целый ряд статистических моделей формирования характеристик трения и изнашивания в зависимости от параметров состояния поверхностного слоя [9].

Аналогичные исследования проведены по контактной жёсткости соединений и ряду других эксплуатационных показателей. Контактная жёсткость является одним из важнейших эксплуатационных свойств деталей, определяющим надёжность и точность оборудования и оснастки. Так, контактные деформации в суппортах токарных станков составляют 80...90 %

общих перемещений, в одностоечных координатно-расточных и вертикально-фрезерных станках — до 70 %, в двухстоечных карусельных станках — до 40 %. Оценка влияния параметров качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин широко представлена в работе [11].

Следует особо отметить, что при решении задач конструктора действующие эксплуатационные факторы (нагрузка, скорость и др.) учитываются величинами, усредненными по поверхностям контактирования. В связи с этим параметры качества регламентируются жёстко, т. е. как постоянные для всей поверхности.

В последнее время поведение таких систем рассматривают с позиций синергетики — науки о самоорганизующихся системах, где изменение причины трактуется как бифуркация, т. е. катастрофа [12]. Сам этот термин не характеризует явление как обязательно отрицательное, вредное. По отношению к поверхностному слою технологический процесс следует рассматривать как бифуркацию. Процесс самоорганизации возникает в постбифуркационный период. Опираясь на принципы синергетики, можно утверждать, что сложные системы в постбифуркационный период «теряют свою память» (например, исключение вредной технологической наследственности). С таких позиций логично рассматривать и процессы приработки соединений с сопутствующими им явлениями: вибрации, схватывание, безызносность и др.

В связи с бурным развитием микроэлектроники и ЭВМ, проникновением их практически во все области инженерной деятельности остро стал вопрос о компьютеризации технологических исследований, которая обеспечит качественный и количественный скачок в этой области. Примером здесь может служить программный метод испытания металлорежущих станков, разработанный А. С. Прониковым и развитый В. П. Фёдоровым применительно к технологическим системам обработки и к исследованиям эксплуатационных свойств [11].

Параметры качества поверхностного слоя и ЭС в настоящее время имеют достаточно полное и надёжное метрологическое обеспечение на базе использования компьютеризованных измерительных систем [9].

Целью данной работы является повышение работоспособности конусов, установленных на волочильных станах.

Основная часть. Методика исследования. Основные исходные данные: временное сопротивление разрыву заготовки, $\sigma_{b\text{заг}} = 1\,310 \text{ Н/мм}^2$; скорость на выходе стана — 15 м/с; КПД привода — 0,75; усилие размотки — 80 Н; коэффициент трения по шкиву — 0,085.

Усилие волочения определялось по формуле [1]:

$$F = 0,5 \sqrt{\frac{b_3}{100}} d_{\text{пр}}^2 \sigma_{b\text{заг}},$$

где $b_3 = 1 - \left(\frac{d_{\text{пр.з}}}{d_{\text{заг}}} \right)^2 \cdot 100$.

$$F_{\text{н.з}} = 0,5 \sqrt{\frac{14,1}{100}} 1,82^2 \cdot 1335 = 829,9 \text{ Н.}$$

Силовой расчет проводился в программном комплексе САПР — *SolidWorks*, а именно в системе анализа конструкций — *SolidWorks Simulation (COSMOSWorks)*.

Исследуемый узел представляет собой сборную конструкцию, состоящую из отдельных сборочных единиц: вала, конуса, подшипников (рисунок 1). Конус крепится на вал с помощью шпоночного соединения и фиксируется болтом с шайбой. Узел привода конуса закреплен консольно в корпусе ванны волочения стана. Для проектирования 3D-модели узла привода конуса отдельно создавались детали, входящие в этот узел. Представим 3D-модель конуса, спроектированного в *SolidWorks* (рисунок 2).

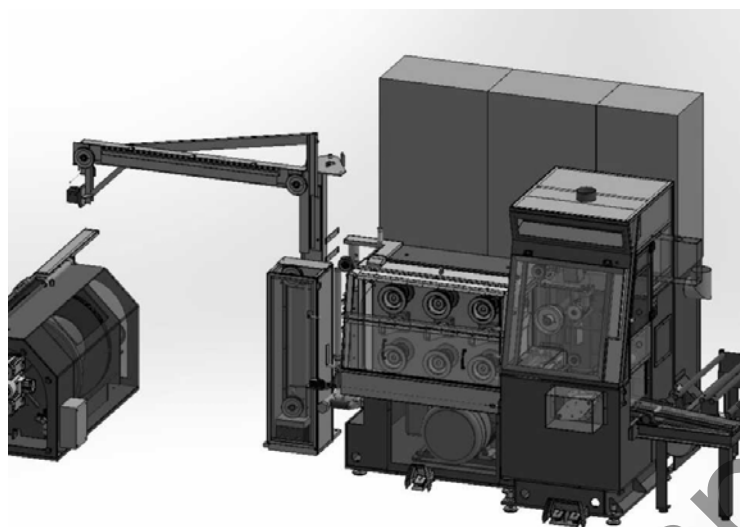
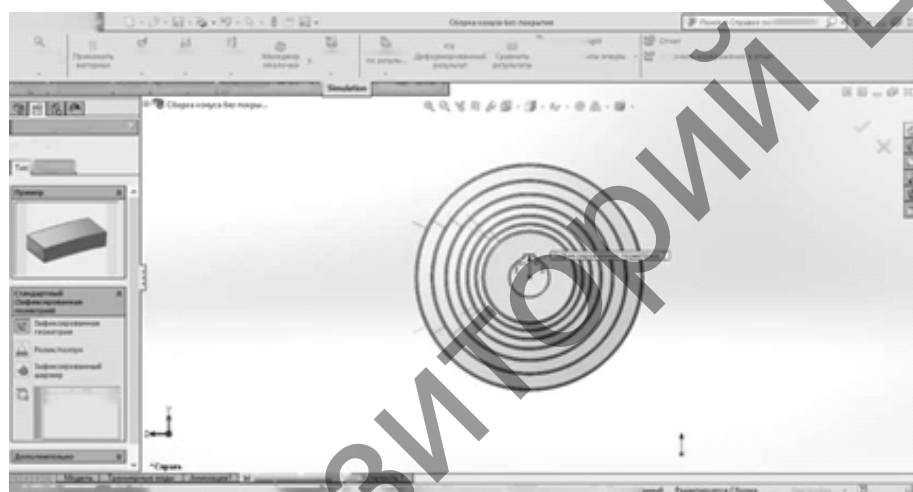
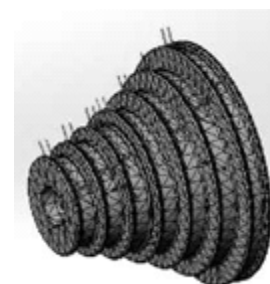


Рисунок 1. — Стан тонкого волочения (3D-модель)



а)



б)

Рисунок 2. — Схема приложения нагрузок, действующих от волочения (а), и сетка конечных элементов исследуемой модели конуса (б)

Анализ результатов моделирования. Результаты эквивалентных напряжений, возникающих от сил волочения, представлены на рисунке 3. Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение было на минимальном диаметре и составило $1,78 \cdot 10^6$ Па.

На рисунке 3, б, в, г, представлены напряжения по осям X , Y , Z . Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение по оси X было на 3-й и 4-й канавке конуса и составило $1,15 \cdot 10^6$ Па.

На рисунке 3, в, г, видно, что максимальное напряжение по оси Y было на минимальном диаметре и составило $8,3 \cdot 10^5$ Па, а по оси Z составило $5,9 \cdot 10^5$ Па.

Представлены результаты расчетов эквивалентных перемещений, возникающих от сил волочения (рисунок 4). Анализ результатов позволил установить, что максимальное эквивалентное перемещение было на максимальном диаметре и составило $7,08 \cdot 10^{-4}$ мм.

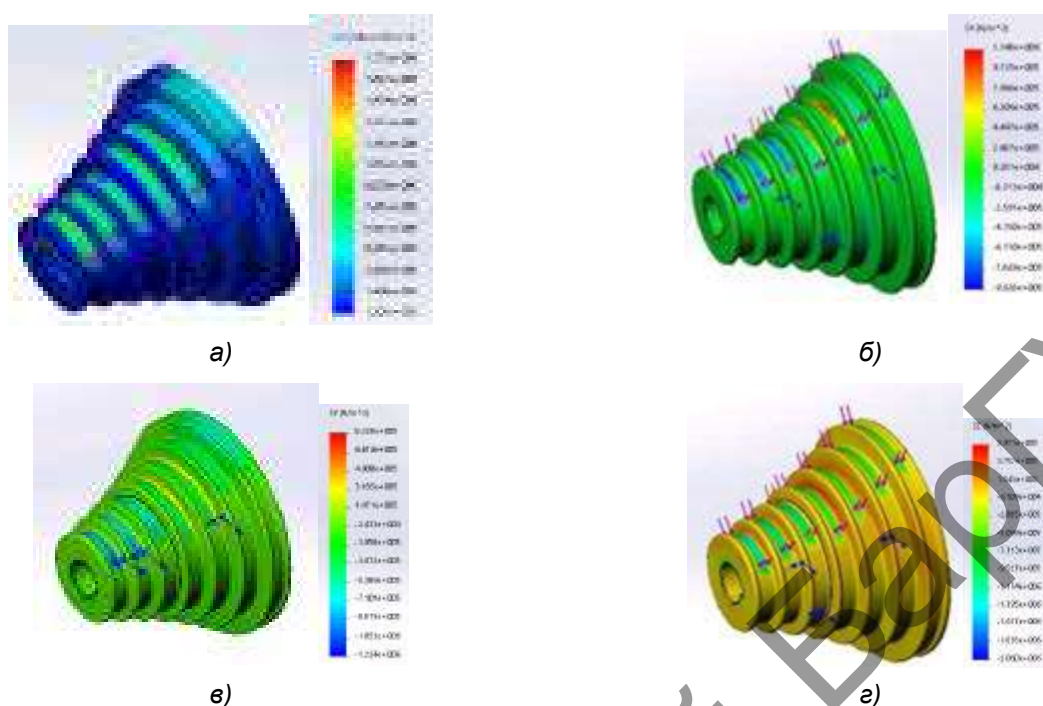


Рисунок 3. — Картины распределения эквивалентных напряжений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

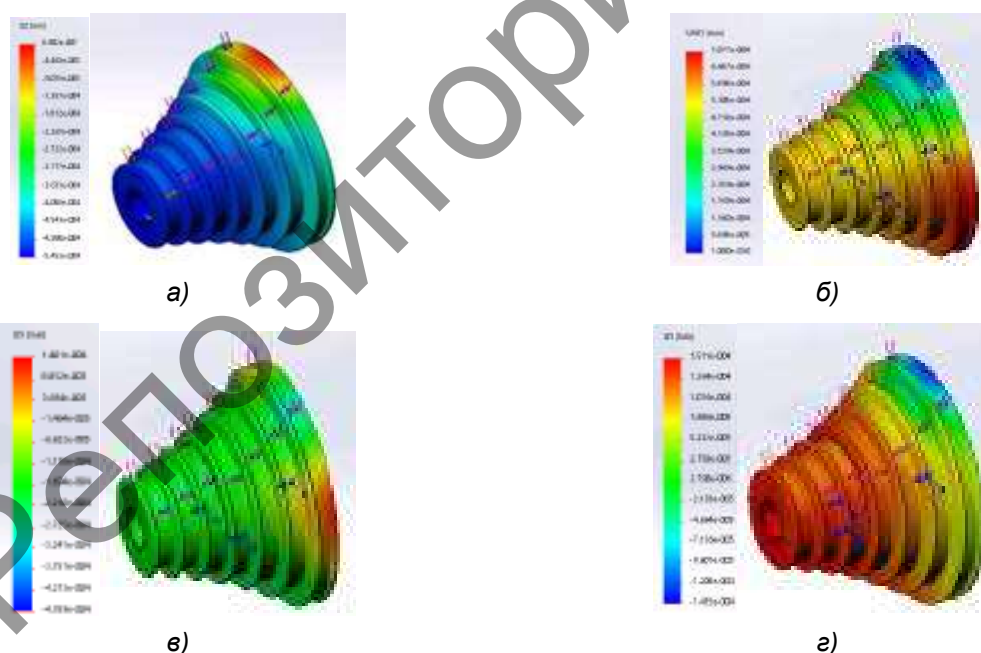


Рисунок 4. — Картины распределения эквивалентных перемещений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

На рисунке 4, б, в, г, представлены перемещения по осям X, Y, Z. Анализ результатов позволил установить, что максимальное перемещение по оси X было на максимальном диаметре и составило $1,4 \cdot 10^{-4}$ мм, а максимальное перемещение по оси Y составило $1,51 \cdot 10^{-4}$ мм, по оси Z — $8,9 \cdot 10^{-7}$ мм.

Для повышения работоспособности канавки конуса вытяжного стана использовалось защитное покрытие на основе карбида титана толщиной 1 мм.

Результаты расчета напряжений, возникающих от сил волочения, представлены на рисунке 5. Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение было на минимальном диаметре и составило $4,8 \cdot 10^7$ Па.

Представлены напряжения по осям X , Y , Z (см. рисунок 5, б, в, г). Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение по оси X было в защитном слое на минимальном диаметре конуса и составило $5,4 \cdot 10^7$ Па, а максимальное напряжение оси Y — $2,5 \cdot 10^7$ Па, по оси Z — $3,3 \cdot 10^7$ Па.

Результат расчета перемещений представлен на рисунке 6. Анализ результатов позволил установить, что максимальное эквивалентное перемещение было на минимальном диаметре и составило $1,2 \cdot 10^{-2}$ мм.

На рисунке 6, б, в, г, представлены перемещения по осям X , Y , Z . Анализ результатов позволил установить, что максимальное перемещение по оси X было на максимальном диаметре и составило $2,2 \cdot 10^{-3}$ мм, максимальное перемещение по оси Y составило $3,6 \cdot 10^{-3}$ мм, по оси Z — $2,7 \cdot 10^{-4}$ мм.

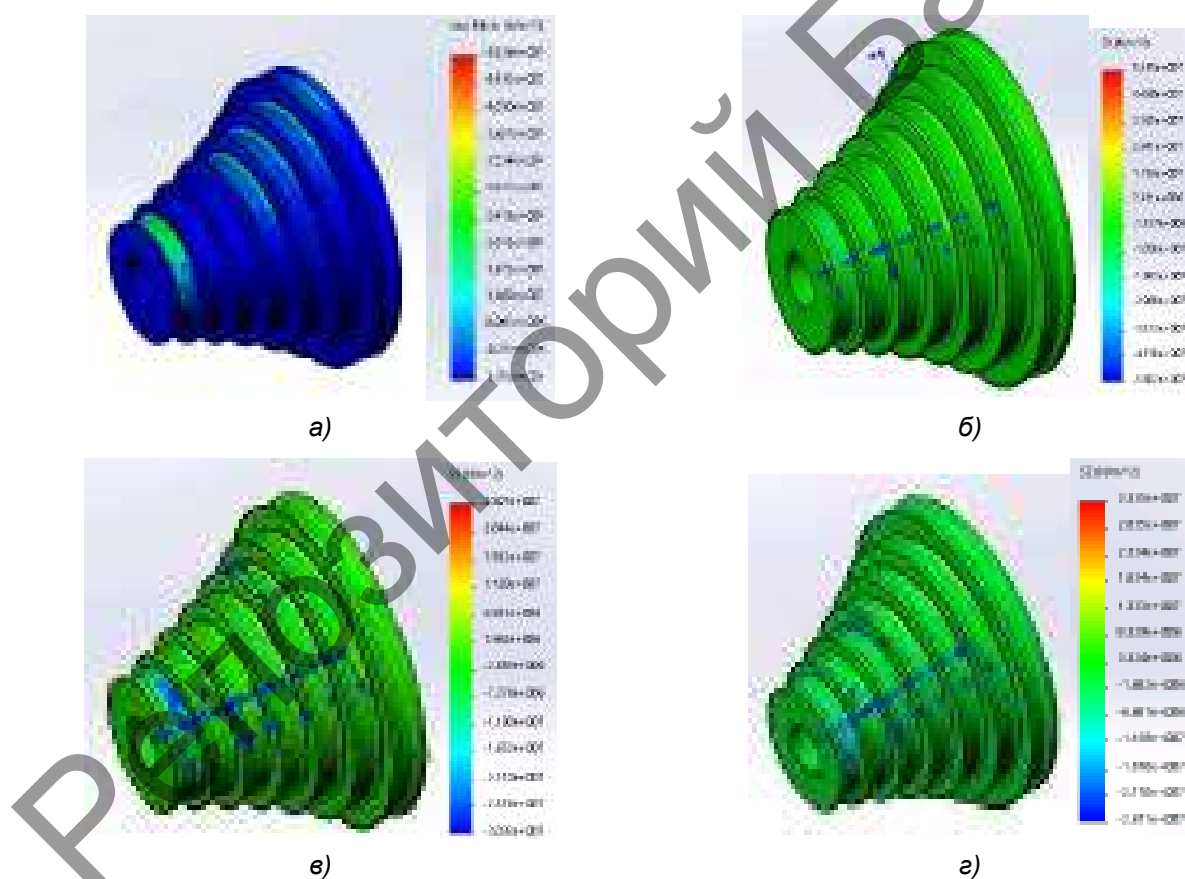


Рисунок 5. — Картины распределения эквивалентных напряжений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

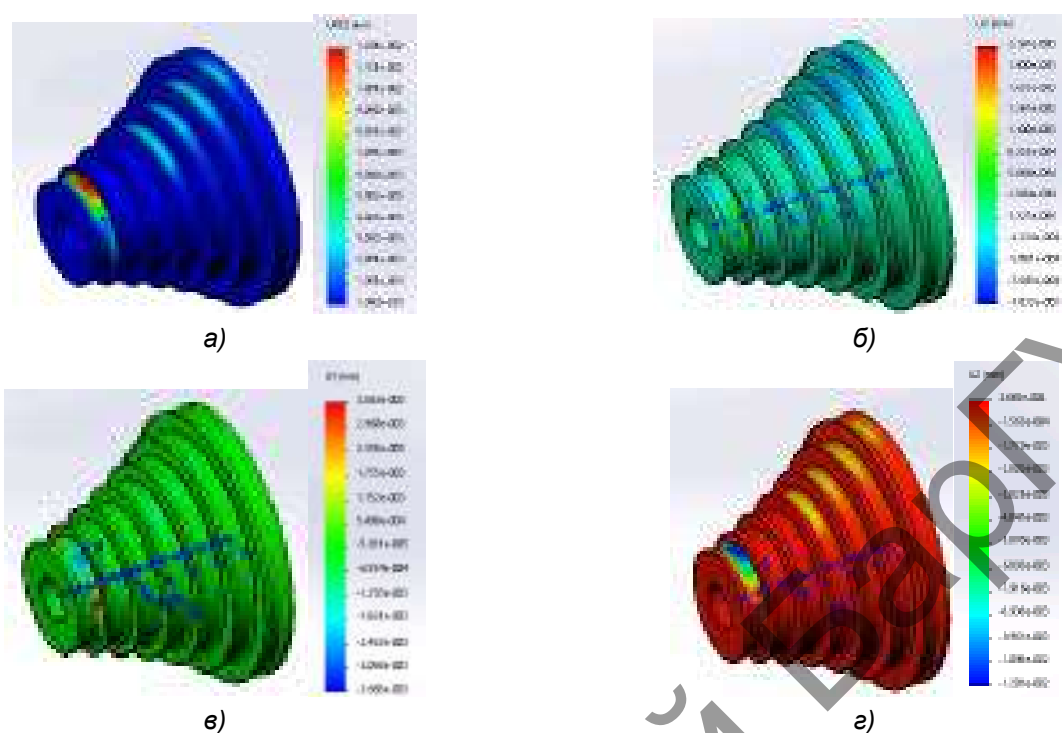


Рисунок 6. — Картина распределения эквивалентных перемещений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

Результаты расчетов повреждения конуса без покрытия и с покрытием, возникающих от сил волочения, представлены на рисунке 7. Анализ результатов позволил установить, что первые разрушения конуса без покрытия начнутся после 11 684 циклов, а с покрытием — после 40 360 циклов.

Сравнивая исследования напряженно-деформированного состояния конусов, можно сделать вывод, что перемещения у конуса с покрытием в 2 раза меньше.

Нанесение защитного слоя на основе карбида титана толщиной 1 мм увеличивает работоспособность конуса в 3,5 раза.

Дорожка волочильного конуса подвергается интенсивному износу в процессе эксплуатации: во-первых, в результате осевого скольжения проволоки, во-вторых, по причине изгиба проволоки при набегании на конус, а следовательно, сжатия и скольжения внутренней поверхности проволоки.

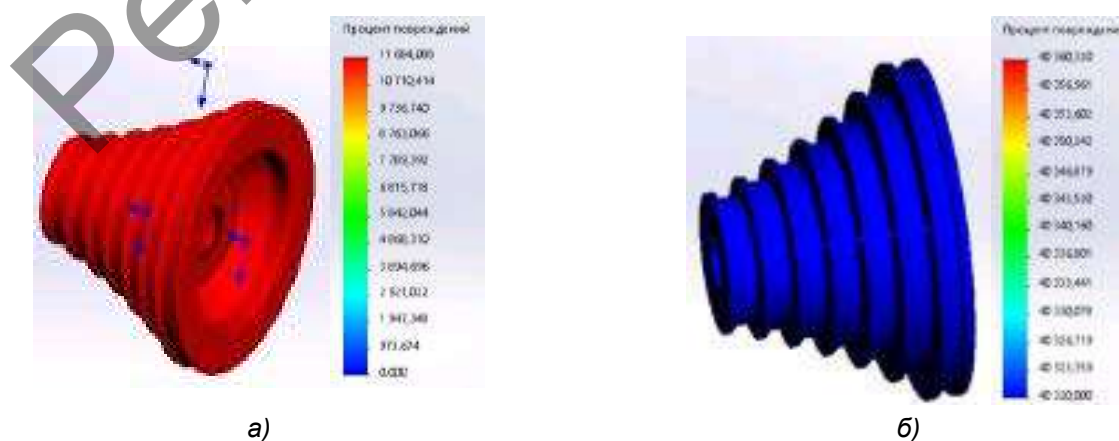


Рисунок 7. — Картины распределения повреждений конусов: без покрытия (а), с покрытием (б)

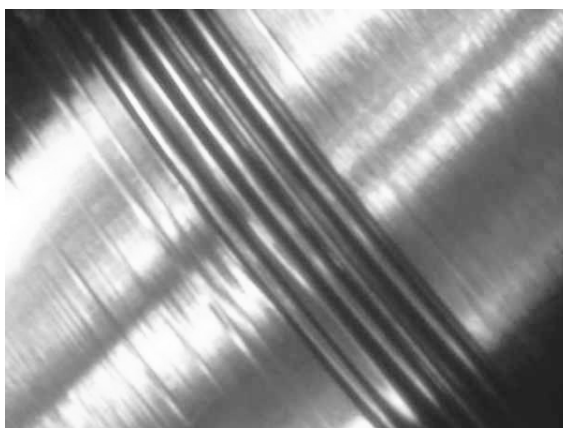


Рисунок 8. — Вид рабочей поверхности конуса

В результате работы конуса в производственных условиях произошел износ канавки (рисунок 8), характер которого согласуется с результатами теоретических исследований.

Заключение. В результате исследований было установлено, что первые повреждения у конуса без покрытия начнутся после 11 684 циклов, а у конуса с покрытием — после 40 360 циклов. Нанесение защитного слоя на основе карбида титана толщиной 1 мм уменьшает износ канавки конуса в 3,5 раза.

Исследования напряженно-деформированного состояния конусов показывают, что эквивалентные перемещения у конуса с покрытием в 2 раза меньше. Это приводит к уменьшению технологического уклона канавки, что позволяет повысить работоспособность конуса.

Список цитируемых источников

1. Горловский, М. Б. Справочник волочильщика проволоки / М. Б. Горловский, В. Н. Меркачев. — М. : Металлургия, 1993. — 336 с.
2. Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э. В. Рыжов, А. Г. Суслов, В. П. Фёдоров. — М. : Машиностроение, 1979. — 174 с.
3. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. — М. : Машиностроение, 1988. — 240 с.
4. Комбалов, В. С. Влияние шероховатости твёрдых тел на трение и износ / В. С. Комбалов. — М. : Наука, 1974. — 112 с.
5. Дунин-Барковский, И. В. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И. В. Дунин-Барковский, А. Н. Карташова. — М. : Машиностроение, 1978. — 232 с.
6. Моргаленко, А. П. Технологическое обеспечение износостойкости поверхностей трения скольжения комбинированной обработкой на основе применения твёрдых нитридсодержащих покрытий : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / А. П. Моргаленко. — М., 1989. — 241 л.
7. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. — М. : Машиностроение, 2002. — 684 с.
8. Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э. В. Рыжов, С. А. Клименко, О. Г. Гуцаленко. — Киев : Наук. думка, 1994. — 184 с.
9. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко. — М. : Машиностроение, 2006. — 448 с.
10. Дальский, А. М. Поверхностный слой деталей машин в условиях самоорганизации технологических систем / А. М. Дальский // Инженер. журн. Справочник. — 2003. — № 9. — Приложение № 9. Инженерия поверхности. — С. 13—15.
11. Проников, А. С. Программный метод испытания технологического оборудования по параметрам качества и надёжности / А. С. Проников // Вестн. машиностроения. — 1984. — № 3. — С. 51—56.
12. Заковоротный, В. Л. Синергетический принцип при управлении движением трибосистем / В. Л. Заковоротный. — М. : Станкин, 2000. — 195 с.

Поступил в редакцию 23.05.2019