

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.

Папісныя 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 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 вёрстка 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 |
| Малеронюк 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 621.9048.7+621.78

В. Н. Алехнович, А. В. Алифанов, А. М. Милюкова, О. А. Толкачева

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Купревича, 10, 220141 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 352 71 81, alifanov_aav@mail.ru

РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНОГО ПЛАЗМОТРОНА, РАБОТАЮЩЕГО НА ПОСТОЯННО-ИМПУЛЬСНОМ НАПРЯЖЕНИИ

Разработан надежный в эксплуатации плазматрон, оснащенный модернизированным порошковым питателем, для осуществления плазменной наплавки износостойких материалов с использованием для питания плазматрона постоянно-импульсного напряжения.

Особенностью разработанной конструкции плазматрона является то, что питатель может осуществлять подачу порошка к плазматрону или в постоянном режиме, или в импульсном режиме определенными порциями. Постоянно-импульсный способ нанесения покрытий снижает термическую нагрузку на упрочняемую деталь, при этом увеличивается скорость диффузии наплавляемого износостойкого материала, что позволяет осуществлять наплавку тонкостенных деталей без их проплавления.

Ключевые слова: плазматрон; постоянно-импульсное напряжение; упрочняемая деталь; тепловая нагрузка.

Рис. 4. Библиогр.: 4 назв.

V. N. Alehnovich, A. V. Alifanov, A. M. Miliukova, O. A. TolkachovaPhysical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,
10 Kuprevich St., 220141, Minsk, Belarus, +375 (29) 352 71 81, alifanov_aav@mail.ru

DEVELOPMENT OF THE SUPPLY PLASMATRON WORKING ON CONSTANT-PULSE VOLTAGE

A reliable-in-operation plasmatron and a powder feeder have been developed for carrying out plasma surfacing of wear-resistant materials using a constant-pulsed voltage to power the plasmatron.

A specific feature of the developed plasmatron design is that the feeder can supply the powder to the plasmatron either in a constant mode or in a pulsed mode in preset portions. The constant-pulse method of coating deposition reduces the thermal stress on the article to be coated, and in this case the diffusion rate of the deposited wear-resistant material increases, which allows surfacing of thin-walled parts without their melting.

Keywords: plasmatron, constant-pulsed voltage; the article to be coated, the thermal stress.

Fig. 4. Ref.: 4 titles.

Введение. Анализ конструкций и работоспособности плазматронов, изготавливаемых в Германии, России и других странах [1—3], позволил выявить их недостатки и найти пути совершенствования. В частности, корпусная деталь с водоохлаждаемыми полостями у зарубежных плазматронов чаще всего неразборная и ремонту не подлежит. Поэтому, в случае нарушения герметичности или электрической изоляции между электродами, необходимо приобрести новый плазматрон. Предлагаемый постоянно-импульсный способ нанесения упрочняющих покрытий позволит уменьшить термическую нагрузку на упрочняемую деталь, что, соответственно, сведет к минимуму деформационные коробления, возникающие при обработке, и создаст предпосылки для увеличения скорости диффузии наплавляемого износостойкого материала.

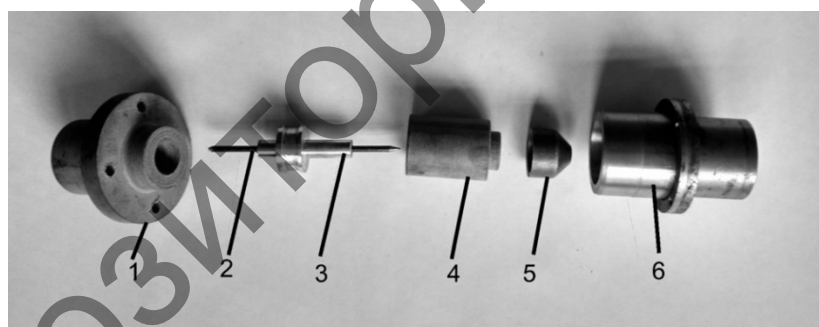
Конструкция разрабатываемого плазматрона состоит из отдельных, полностью разбираемых деталей с возможностью их замены, в том числе изношенной прокладки или изоляционной вставки. В такой конструкции вышедшие из строя, например, в результате теплового старения, резиновые герметизирующие прокладки и изолирующие вставки можно легко заменить без опасения безвозвратного выхода плазматрона из строя. В разработанной конструкции плазматрона для изготовления герметизирующих прокладок применены высоко-

температурные силиконовые резины, фторопласты. Особенностью данной конструкции является то, что питатель может осуществлять подачу порошка к плазмотрону или в постоянном режиме, или в импульсном режиме определенными порциями.

Основная часть. Разработка конструкции разборного плазмотрона. В лаборатории объемных гетерогенных систем Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси разработан и изготовлен плазмотрон на постоянно-импульсном напряжении для наплавки износостойких порошковых материалов (рисунок 1). В плазмотроне электрическая изоляция между анодом и катодом должна выдерживать импульсное напряжение 600 В, так как наличие высоковольтного поджига плазмотрона требует усиленной изоляции между анодом и катодом.

Конструкция плазмотрона состоит из отдельных деталей (см. рисунок 1), полностью разбираемых с возможностью замены любой прокладки из изоляционной вставки: корпуса плазмотрона 6; анода 5, изготовленного из меди; центрирующей изоляционной вставки 4, изготовленной из текстолита (фторопласта); катододержателя 3, изготовленного из латуни; катода 2, изготовленного из лантанированного вольфрама; задней прижимной крышки плазмотрона 1 с системой подачи плазмообразующего газа; уплотнительных прокладок из высокотемпературных силиконовых резин.

Важной деталью плазмотрона является анод (рисунок 2). В разработанной конструкции плазмотрона анод изготовлен из меди. Наружный диаметр анода равен 30 мм, длина — 25 мм, толщина стенки анода — 3 мм, диаметр анодного отверстия — 3 мм, длина анодного отверстия — 10 мм.



а)



б)

Рисунок 1. — Конструкция разработанного плазмотрона в разобранном (а) и собранном (б) виде



Рисунок 2. — Внешний вид анода плазмотрона

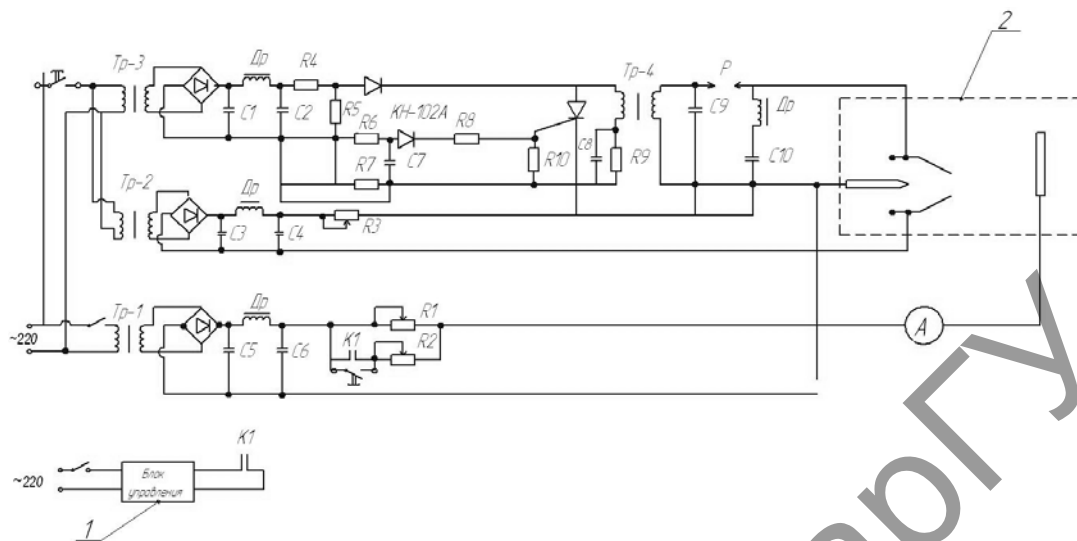
Анод и катодный узел разработанного плазмотрона имеют водяное охлаждение. В существующих плазмотронах часто для герметизации полостей с водой используют кольцевые резиновые прокладки на наружных цилиндрических поверхностях, расположенные в канавках. В разработанной конструкции для повышения надежности герметизации уплотнительные прокладки устанавливаются на торцевых поверхностях, образующих последовательные цепочки и сжимаемые при окончательной сборке плазмотрона (сжимается одновременно, обеспечивая герметичность конструкции в целом).

Для защиты изолятора от излучения дуги внутри плазмотрона (см. рисунок 1, а) между анодом 5 и катодным узлом на катод 2 надета трубка из высокотемпературного керамического материала — окиси циркония.

Анализ тепловой нагрузки отдельных деталей разработанного плазмотрона показывает, что наибольшую тепловую нагрузку несет анод и катод. Нагрев анода дугой мощностью 3 кВт без охлаждения может привести к его расплавлению. Нагрев вольфрамового катода электрической дугой приводит к сильному нагреву, но не расплавлению. Поэтому в конструкции плазмотрона надо предусмотреть интенсивное охлаждение водой анода и незначительное охлаждение корпуса катодного узла. В связи с этим второй вариант разработанного плазмотрона имеет интенсивное охлаждение анода проточной водой и незначительное охлаждение катодного узла, но не катода.

Разработка конструкции и изготовление лабораторного источника питания, позволяющего получить постоянно-импульсное напряжение питания плазмотрона. Для решения поставленной задачи плазменной наплавки износостойких материалов на рабочие поверхности стальных деталей, создания условий, способствующих интенсификации скорости диффузии легирующих наплавляемых элементов вглубь упрочняемой детали, получения тепловых волн в наплавляемом металле, необходимо разработать и изготовить источник питания плазмотрона, позволяющий получить на выходе постоянно-импульсное напряжение [4].

Разработанный источник питания плазмотрона, блок-схема которого представлена на рисунке 3, содержит независимые друг от друга источники дежурной и основной дуги, блок высоковольтного, высокочастотного поджига дежурной дуги. Напряжение питания основной дуги прикладывается между катодом и упрочняемой деталью. Напряжение питания дежурной дуги прикладывается между катодом и анодом плазмотрона. Режим работы плазмотрона с использованием дежурной дуги позволяет повысить стабильность его работы. Разработанный источник питания основной дуги позволяет обеспечить постоянный или постоянно-импульсный режим работы плазмотрона, обеспечивающий стабильную работу на минимальном токе. Кроме того, обеспечивает высокое качество наплавки, сведение к минимуму опасности проплавления тонкостенных упрочняемых поверхностей и возникновения термических поводок. Для питания плазмотрона используется, наряду с постоянной составляющей напряжения, и импульсная составляющая.



1 — блок управления в ручном или автоматическом режиме основной дуги плазматрона; 2 — плазмотрон; Тр-1 — силовой трансформатор и блок питания основной дуги плазматрона; Тр-2 — силовой трансформатор блока питания дежурной дуги; Тр-3 — трансформатор и схема получения высоковольтного, высокочастотного напряжения для инициирования плазменной струи

Рисунок 3. — Блок-схема разработанного источника питания плазматрона

Значение частоты следования и длительность импульсной составляющей, питающей плазмотрон в проектируемом источнике питания, регулируются и устанавливаются оператором в ручном или автоматическом режиме. Численные значения соотношения постоянной и импульсной составляющей будут определяться при осуществлении процесса плазменной наплавки на конкретную деталь.

Блок питания основной дуги собран на базе трансформатора Тр-1, силовых диодов В-200, сглаживающего фильтра С5, С6 и дросселя Др. Для установки требуемых значений тока основной дуги на постоянном токе служит балластное сопротивление R1. Для установки величины импульсной составляющей тока основной дуги служит балластное сопротивление R2. Контактные реле К1 и кнопки К1 позволяют управлять длительностью импульсов основной дуги в автоматическом или ручном режиме. Амперметр в цепи основной дуги позволяет регистрировать ток плазматрона.

Блок питания дежурной дуги собран на базе трансформатора Тр-2, силовых диодах В-100 и сглаживающем фильтре С3-Др-С4. Для установки требуемого значения тока дежурной дуги служит регулируемое балластное сопротивление R3. Для поджига вспомогательной дуги плазматрона собрана схема высоковольтного, высокочастотного поджига дежурной дуги.

Блок питания высоковольтного, высокочастотного поджига собран на базе трансформатора Тр-3, силовых диодах Д243 и сглаживающем фильтре С1-Др-С2. Генерирование высоковольтной высокочастотной дуги происходит при пробое разрядного промежутка в разряднике Р.

Генератор содержит низковольтный накопитель — конденсатор С1, цепь заряда накопителя (зарядное сопротивление, диод Д), коммутатор на тиристоре КУ 202Н.

Цепь управления тиристором состоит из сопротивления R1, R3, R4, R5, конденсатора С2 и переключающего динистора КН102А, импульсного трансформатора Тр, высоковольтного накопителя на базе конденсатора С3 и высоковольтного разрядника Р.

Рабочие импульсы генерируются при разряде конденсатора С1 через импульсный трансформатор Тр. Трансформированный импульс заряжает конденсатор С3 до напряжения срабатывания разрядника Р (примерно 5...7 кВ). Накопительный конденсатор С3 разряжается на дроссель фильтра Др и конденсаторы С4 и С5. При этом в контуре, образованном конденсатором С3, обмоткой дросселя Др и конденсаторами С4 и С5, возникают высоковольтные высокочастотные колебания, возбуждающие дежурную дугу.

В результате выполненных работ для питания плазмотрона изготовлен лабораторный источник постоянно-импульсного напряжения для токов величиной от 50 до 200 ампер.

Изображение на экране осциллографа постоянно-импульсного тока, протекающего через плазмотрон, представлено на рисунке 4.

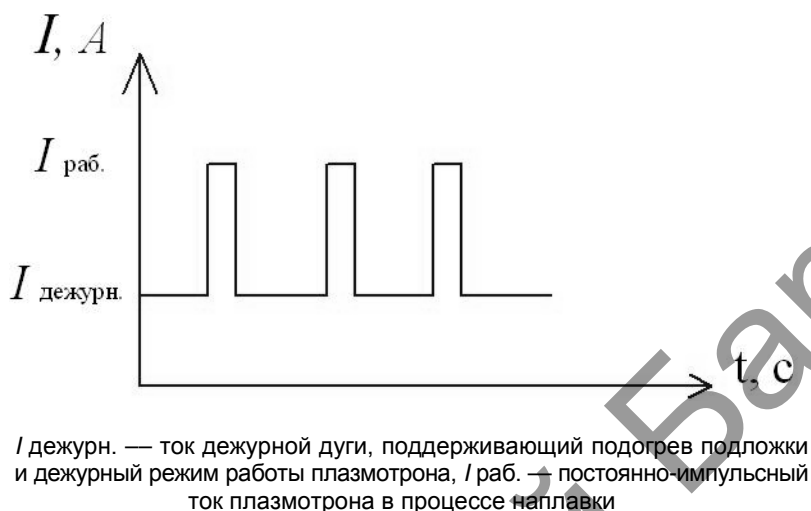


Рисунок 4. — График зависимости постоянно-импульсного тока от времени при работе постоянно-импульсного источника питания

Заключение. Конструкция разработанного плазмотрона состоит из отдельных деталей, полностью разбираемых с возможностью их замены. В такой конструкции вышедшие из строя в результате теплового старения резиновые герметизирующие прокладки и изолирующие вставки можно легко заменить, без опасения безвозвратного выхода плазмотрона из строя. Для изготовления герметизирующих прокладок применены высокотемпературные силиконовые резины, фторопласты, которые устанавливаются на торцевых поверхностях, образующих последовательные цепочки и сжимаемые при окончательной сборке плазмотрона одновременно, обеспечивая герметичность конструкции в целом.

Особенностью данной конструкции является то, что питатель может осуществлять подачу порошка к плазмотрону как в постоянном режиме, так и в импульсном режиме определенными порциями.

Список цитируемых источников

1. Нанесение покрытий плазмой / В. В. Кудинов [и др.]. — М., 1990. — 244 с.
2. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки ; под ред. В. С. Степанина, Н. Г. Шестеркина. — М. : Машиностроение, 1985. — 240 с.
3. Плазменное напыление [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://weldzone.info/oborudovanie/machines/95-plasma-welding>. — Дата доступа: 12.10.2017.
4. Плазменная наплавка износостойких порошковых материалов на рабочие поверхности стальных деталей / А. В. Алифанов [и др.] // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. — 2018. — Вып. 6. — С. 39—44.

Данная работа выполнена при поддержке БР ФФИ в рамках задания Т17-008.

Поступил в редакцию 03.05.2019