

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 8, июнь, 2020.

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 технологии и оборудования машиностроения 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

Леон Ольга Вячеславовна, кандидат филологических наук, доцент кафедры теории и практики германских языков учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович Ирина Аркадьевна (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроения 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, главный научный сотрудник государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Девоино Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательский политехнический институт» (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 орден 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 орден 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).

Сиваченко Леонид Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных и технологических машин межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Могилев, 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» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён 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 А. Ю. Сидоренко

Технический редактор Л. Н. Щербук

Компьютерная вёрстка С. М. Глушак

Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 16.06.2020. Формат 60 × 84^{1/8}. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,00. Уч.-изд. л. 9,35. Тираж 100 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, 2020

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 8, чэрвень, 2020.

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 тэхналогіі і абсталявання машынабудавання 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

Леон Вольга Вячаславаўна, кандыдат філалагічных навук, дацэнт кафедры тэорыі і практыкі германскіх моў установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Багдановіч Ірына Аркадзеўна (*адказы за напрамак «Машынабудаванне і машыназнаўства»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхналогіі і абсталявання машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказы за напрамак «Працэсы і машыны аграінжынерных 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, галоўны навуковы супрацоўнік дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

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

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчы палітэхнічны інстытут» (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).

Сівачэнка Леанід Аляксандравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры транспартных і тэхналагічных машын міждзяржаўнай адукацыйнай установы вышэйшай адукацыі «Беларуска-Расійскі ўніверсітэт» (Магілёў, Рэспубліка Беларусь).

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

Шлэг Валерыі 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 Г. Ю. Сідарэнка

Тэхнічны рэдактар Л. М. Шчарбук

Камп'ютарная вёрстка С. М. Глушак

Карэктар Н. М. Каладко

Падпісана да друку 16.06.2020. Фармат 60 × 84 1/8. Папера ксерасная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 16,00. Ул.-выд. арк. 9,35. Тыраж 100 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 Слоніў, Гродзенская вобл.

© БарДУ, 2020

Educational institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013.

Volume 8, June, 2020.

Engineering Series

Founder: Educational Institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Vasilii 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

Executive 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 at the Chair of Machine-Building Technology and Equipment, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Executive secretary of the issue

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

English Text Editor

Olga V. Leon, Ph. D in Philological Science, Associate Professor at the Chair of Theory and Practice of Germanic Languages, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Iryna A. Bogdanovich (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Ph. D of Technical Science, Associate Professor, Head of the Chair of Technology and Equipment of Mechanical Engineering, 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, Chief Researcher at the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilnya, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Chair of Technical Support of Agricultural Production and Agronomy of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, 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 branch of Belarusian National Technical University “Research Division” (Minsk, the Republic of Belarus).

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

Viktor S. Ivashko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at 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 at the Chair of Engineering Science and Automobile Technical Maintenance of “Yanka Kupala State University of Grodno” (Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering 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 at 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).

Leonid A. Sivachenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Chair of Transport and Technological Machines, Interstate Higher Education Institution “Belarusian-Russian University” (Mogilev, 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 compliance with the order of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus from January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal “BarSU Herald. Engineering Series” is included into the List of scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of theses research on engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).

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

Publishing: 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 A. Y. Sidorenko

Technical editor L. N. Scherbuk

Desktop Publishing S. M. Glushak

Proofreader N. N. Kolodko

Passed for printing 16.06.2020. Format 60 × 84 1/8. Xerox Paper. Digital printing. Font Times. Conv. pr. s. l. 16,00. Acc.-pub. s. l. 9,35. Circulation of 100 copies. Order

Free price.

Printing: Grodno Regional Printing Unitary Enterprise “Slonim Printing Establishment”. Certificate about state registration of publishers, manufacturers and distributors of printings № 1/203 from 07.03.2014, № 2 from 25.02.2014.

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

© BarSU, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Цуран В. В., Богданович И. А., Толкачева О. А. Исследование влияния высокотемпературной термомеханической обработки на структуру и механические свойства сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей	10
Борис Е. В. Исследование статических боковых смещений ленты грузовой и порожняковой ветвей ленточного конвейера	17
Данилов В. А., Борис Е. В. Повышение долговечности приводов машин и механизмов на основе применения профильных моментопередающих соединений	25
Данилов В. А., Селицкий А. Н. Погрешность профилирования и качество синусоидальных цилиндрических поверхностей при ротационном точении эксцентрично установленным круглым резцом	35
Дьяченко О. В., Криуша С. М., Кардаполова М. А., Голубев В. С., Вегера И. И. Лазерное модифицирование газотермических покрытий из нержавеющей сталей	44
Жигалов А. Н., Богдан Д. Д., Горавский И. А. Исследования влияния аэродинамического звукового упрочнения на свойства твердых сплавов	53
Жигалов А. Н., Горавский И. А., Богдан Д. Д. Оптимизация износа и ресурса металлорежущего твердосплавного инструмента сплава В35, упрочненного аэродинамическим звуковым методом	69
Милюкова А. М., Алифанов А. В., Михлюк А. И., Горчанин А. И., Матяс А. Н. Улучшение физико-механических свойств сталей для изготовления труб путем магнитно-импульсной обработки	79
Наливко О. И., Русан С. И., Сиваченко Л. А., Сиваченко Т. Л. Исследования напряженно-деформационного состояния проволочного рабочего элемента измельчительной машины	90
Потапов В. А., Сиваченко Л. А. Цепной агрегат с волновой рабочей камерой и адаптивным механизмом силового воздействия для переработки влажных сырьевых материалов	98

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Войтович М. М. Исследование износа протекторов всесезонных автомобильных шин для грузовых механических транспортных средств	106
Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Сергей А. И. Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания	111
Филиппов А. И., Аутко А. А., Заяц Э. В., Чеботарев В. П., Дубень И. В. Оборудование для дозирования и ленточного внесения удобрений к универсальному агрегату АУ-М1	119

ЗМЕСТ

МАШЫНАБУДАВАННЕ І МАШЫНАЗНАЎСТВА

Аліфанаў А. В., Гарэцкі Г. П., Цуран У. У., Багдановіч І. А., Талкачова В. А. Даследаванне ўплыву высокатэмпературнай тэрма механічнай апрацоўкі на структуру і механічныя ўласцівасці сталяў, якія прымяняюцца для вырабу рубільных нажоў	10
Борыс Я. В. Даследаванне статычных бакавых зрушэнняў стужкі грузавых і парожніх галін стужачнага канвеера	17
Данілаў В. А., Борыс Я. В. Павышэнне даўгавечнасці прывадаў машын і механізмаў на аснове прымянення профільных момантаперадаючых злучэнняў	25
Данілаў В. А., Сяліцкі А. М. Хібнасць прафілявання і якасць сінусіадальных цыліндрычных паверхняў пры ратацыйным тачэнні эксцэнтрычна ўстаноўленым круглым разцом	35
Дз'ячэнка В. У., Крыуша С. М., Кардаполава М. А., Голубеў В. С., Вегера І. І. Лазернае мадыфікаванне газатэрмічных пакрыццяў з нержавеючых сталяў	44
Жыгалаў А. М., Богдан Д. Д., Гараўскі І. А. Даследаванні ўплыву аэрадынамічнага гукавога ўмацавання на ўласцівасці цвёрдых сплаваў	44
Жыгалаў А. М., Гараўскі І. А., Богдан Д. Д. Аптымізацыя зношвання і рэсурсу металарэжучага цвёрдасплаўнага інструмента сплаву В35, умацаванага аэрадынамічным гукавым метадам	69
Мілюкова Г. М., Аліфанаў А. В., Міхлюк А. І., Гарчанін А. І., Мацяс А. М. Паляпшэнне фізіка-механічных уласцівасцей сталяў для вырабу труб шляхам магнітна-імпульснай апрацоўкі	79
Наліўка А. І., Русан С. І., Сівачэнка Л. А., Сівачэнка Т. Л. Даследаванне напружана-дэфармаванага стану драцянога рабочага элемента здрабняльнай машыны	90
Патапаў У. А., Сівачэнка Л. А. Ланцуговы агрэгат з хвалевай рабочай камерай і адаптыўным механізмам сылавога ўздзеяння для перапрацоўкі вільготных сыравінных матэрыялаў	98

ПРАЦЭСЫ І МАШЫНЫ АГРАНЖЫНЕРНЫХ СІСТЭМ

Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Вайтовіч М. М. Даследаванне зношвання пратэктараў усесезонных аўтамабільных шин для грузавых механічных транспартных сродкаў	106
Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Сяргей А. І. Даследаванне эксплуатацыйных уласцівасцей паўсінтэтычных матарных маслаў, выкарыстоўваемых у дызельных рухавіках унутранага згарання	111
Філіпаў А. І., Аутка А. А., Заяц Э. У., Чабатароў В. П., Дубень І. В. Абсталяванне для дазіравання і стужачнага ўнясення ўгнаенняў да ўніверсальнага агрэгата АУ-М1	119

CONTENTS

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Alifanov A. V., Goretsky G. P., Tsuran V. V., Bogdanovich I. A., Tolkacheva O. A. The research of the influence of ausforming on the structure and mechanical properties of steels applied for manufacturing chipping knives	10
Borys Ya. The research of static lateral displacements of the belt track of the carrying and return belt conveyor lines	17
Danilau V. A., Borys Ya. Increasing the durability of machinery drives based on the application of profile torque-transmitting joints	25
Danilau V. A., Sialitskiy A. N. Profiling error and quality of sinusoidal cylindrical surfaces under rotary turning with an eccentric circular tool	35
Dyachenko O. V., Kriusha S. M., Kardapolova M. A., Golubev V. S., Vegera I. I. Laser modification of gas-thermal coatings from stainless steels	44
Jigalov A. N., Bogdan D. D., Goravskii I. A. The studies of the influence of aerodynamic sound hardening on the properties of hard alloys	53
Jigalov A. N., Goravskii I. A., Bogdan D. D. Optimization of the wear and resource of a metal-cutting carbide tool of B35 alloy strengthened by the aerodynamic sound method	69
Milyukova A. M., Alifanov A. V., Mikhlyuk A. I., Gorchanin A. I., Matyas A. N. The improvement of physical and mechanical properties of steels for manufacturing pipes by magnetic-pulse treatment	79
Naliuko O. I., Rusan S. I., Sivachenko L. A., Sivachenko T. L. The research of stress-strain state of a wire operating element of a grinding machine	90
Potapov V. A., Sivachenko L. A. A chain unit with a wave working chamber and adaptive mechanism of force influence for reprocessing humid raw materials	98

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Vaitovich M. M. The research of the tread wear of all-season automobile tires for mechanical cargo vehicles	106
Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Sergei A. I. The study of performance attributes of semi-synthetic motor oils used in diesel internal combustion engines	111
Filippov A. I., Autko A. A., Zayats E. V., Chebotarev V. P., Duben I. V. The equipment for dosing and band fertilization to the AU-M1 universal unit	119

УДК 621.9.04

В. А. Данилов¹, Е. В. Борис²

¹Белорусский национальный технический университет, Министерство образования Республики Беларусь, пр-т Независимости, 65, 220013 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 293 93 58, danilofva@mail.ru

²Закрытое акционерное общество «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», ул. Козлова, 69, 223710 Солигорск, Республика Беларусь, +375 (33) 698 30 88, atp.even@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИВОДОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассмотрены технологические и эксплуатационные преимущества профильных моментопередающих соединений, опыт их применения в машиностроении. Определены научно-технические и организационные задачи, связанные с производством и применением таких соединений в условиях единичного и мелкосерийного производства приводов и пути их решения. Дана характеристика прогрессивных схем формообразования профильных поверхностей (далее — ПС) с упрощенной кинематикой, рекомендуемых для реализации на универсальных станках. Приведен пример модернизации редуктора с заменой шлицевых соединений и зубчатых муфт ПС, обеспечившей его высокую долговечность.

Ключевые слова: профильные соединения; привод; редуктор; крутящий момент; производительность; схема; обработка.

Рис. 6. Табл. 2. Библиогр.: 20 назв.

V. A. Danilau¹, Ya. V. Borys²

¹Belarusian National Technical University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 65 Nezavisimosti Ave., 220013 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 293 93 58, danilofva@mail.ru

²Closed Joint-Stock Company “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”, 69 Kozlov St., 223710 Soligorsk, the Republic of Belarus, +375 (33) 698 30 88, atp.even@yandex.ru

INCREASING THE DURABILITY OF MACHINERY DRIVES BASED ON THE APPLICATION OF PROFILE TORQUE-TRANSMITTING JOINTS

The technological and operational advantages of profile torque-transmitting joints, the experience of their application in mechanical engineering are considered. The scientific, technical and organizational tasks associated with the production and use of such joints in the conditions of single and small-scale production of drives and ways to solve them are determined. Progressive schemes of forming profile surfaces with simplified kinematics, recommended for implementation on versatile machine tools, are characterized. The example of the modernization of the gearbox with the replacement of splines and clutch couplings with profile joints, which ensures its high durability, is given.

Keywords: profile joints; drive unit; gearbox; torque; performance; scheme; treatment.

Fig. 6. Table 2. Ref.: 20 titles.

Введение. Профильными называются соединения, в которых крутящий момент передается посредством контактирующих некруглых цилиндрических или конических поверхностей. Профильные соединения могут быть сквозными или глухими, с гарантированным зазором или натягом, с переходными посадками [1—4].

Практически установлено, что применение ПС вместо шлицевых повышает надежность трансмиссий различных машин (строительных, дорожных, сельскохозяйственных и др.), кузнечно-прессового оборудования и металлорежущих станков, инструментальных систем и другой техники [2; 5]. Это обусловлено более высокой усталостной прочностью и несущей способностью ПС из-за меньшей концентрации напряжений [6], что позволяет

уменьшить габариты и металлоемкость изделий. Замена шлицевого соединения профильным позволяет (при тех же габаритных размерах корпуса изделия) увеличить передаваемую мощность, что важно при модернизации машин и механизмов для повышения их технических характеристик.

Существенным преимуществом ПС по сравнению со шлицевыми является также меньший уровень шума за счет самоцентрирования его деталей под действием передаваемой нагрузки, благодаря чему та же точность ПС обеспечивается при меньшей на 2 качества точности его деталей [2], что позволяет упростить технологию их изготовления.

Тенденция к расширению применения ПС в технике обусловлена также меньшей на 40...50 % стоимостью их изготовления по сравнению со шлицевыми [2], так как профильные поверхности можно обрабатывать теми же высокопроизводительными методами, что и круглые (точением, шлифованием, поверхностным пластическим деформированием и др.), и более простыми инструментами.

Несмотря на технологические и эксплуатационные преимущества, ПС в отечественном машиностроении применяются редко, в частности, из-за нерешенности задач научно-технического обеспечения их производства [7]. Учитывая высокую стоимость импортных станков для обработки деталей ПС, для единичного, мелкосерийного и ремонтного их производства актуальна разработка рациональных технологий обработки профильных моментопередающих поверхностей и средств их реализации на распространенном оборудовании иного технологического назначения [2; 7].

Высокие эксплуатационные характеристики и технологические преимущества ПС по сравнению со шлицевыми обуславливают перспективность их применения в высоконагруженных горных машинах и оборудовании [7], например, в приводах конвейеров, характерными для которых являются повышенные требования к надежности при тяжелых условиях эксплуатации.

Для обеспечения возможности применения профильных моментопередающих соединений при модернизации и проектировании трансмиссий машин необходимо решить научно-технические и организационные задачи, включающие: выбор рационального типа моментопередающих поверхностей и определение параметров ПС; обоснование методов обработки профильных поверхностей, реализуемых на универсальных станках или созданных на их основе специализированных станках; проектирование или модернизацию механизмов машин и оборудования с применением ПС; проектирование при необходимости инструментов с учетом геометрии деталей ПС и реализуемых методов обработки; оснащение производства ПС соответствующими средствами контроля и др.

Ниже рассмотрены рекомендуемые пути решения некоторых из этих задач.

Основная часть. Выбор типа и определение параметров профильных соединений. Контурными линиями, ограничивающими профиль моментопередающего соединения, могут быть прямые линии, циклоидальные и синусоидальные кривые, линии равной ширины и иные, установленные соответствующими стандартами [8—10], руководящим документом РД 23.800.2.02-89 (рисунок 1) и практикой конструирования ПС.

Наиболее широкое применение в машиностроении получили цилиндрические и конические (рисунок 2, а) соединения с РК-3 профилем [8; 9], где буквы обозначают «равноосный контур», цифра — число выступов у профиля, и с циклоидальным четырехгранным профилем [10], геометрия которого исключает возможность заклинивания соединения и обеспечивает возможность относительного перемещения профильных вала и втулки под нагрузкой (см. рисунок 2, б). Профиль детали может быть ограничен также несколькими пересекающимися линиями одного или различных видов, например, K_c — профиль срезанный, образованный пересечением контурной линии и срезающей её вершины окружности.

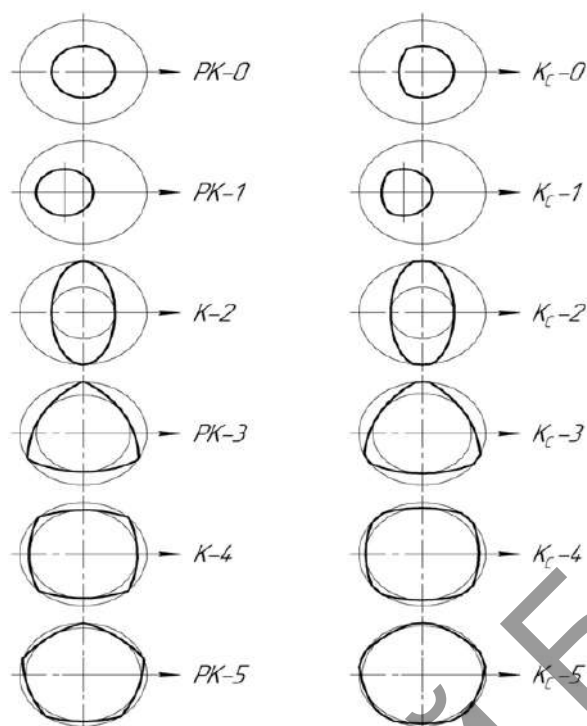


Рисунок 1. — Виды профильных соединений
(по РД23.800.2.02-89)

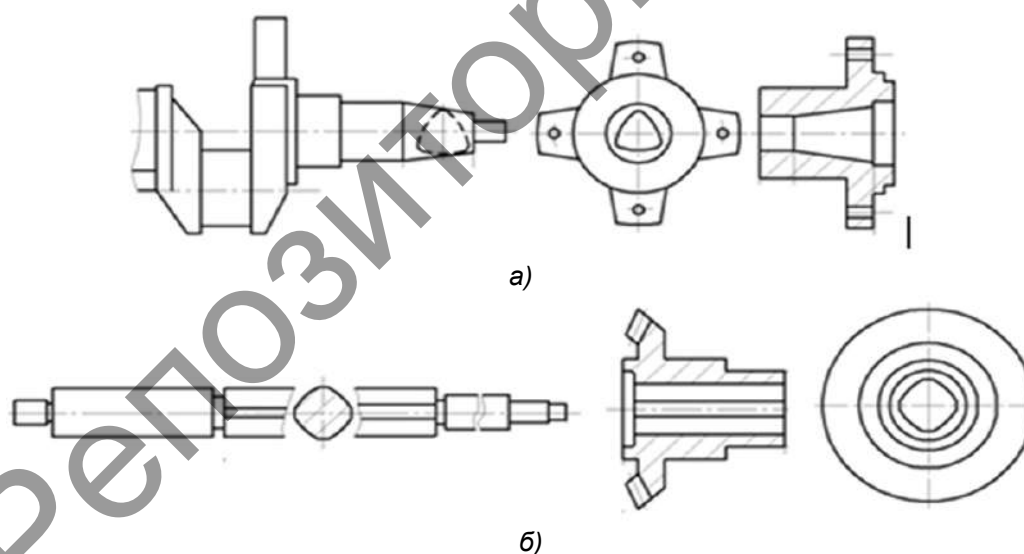


Рисунок 2. — Примеры профильных соединений: неподвижный конический с РК-3 профилем (а); подвижный четырехгранный (б)

Большинство исследований относится к проектированию и обработке поверхностей с равноосным РК-3 профилем [2; 3; 11—14]. Его основным технологическим достоинством является неизменность расстояния между двумя любыми параллельными касательными к нему, что позволяет использовать стандартные средства измерения линейных размеров — штангенциркули, микрометры, нутромеры и др. Однако дефицитность необходимого специального станочного оборудования и сложность модернизации универсальных станков сдер-

живают широкое применение такого профиля. В этой связи заслуживает внимания более технологичный синусоидальный профиль (например, типов СК-2, СК-3), схемы формирования которого и соответствующие станки существенно проще, чем для равноосного профиля.

Следует отметить, что поперечные сечения деталей с профилями типов РК-3 и СК-3 одного среднего диаметра практически не различаются по форме, площади, моменту инерции и, следовательно, по эксплуатационным характеристикам, поэтому выбор типа профиля во многом должен зависеть от имеющегося оборудования для обработки профильных деталей. Если для обработки деталей с РК-3 профилем требуются сложные по кинематике специальные станки, например, типа AFD фирмы Fortuna (Германия) [2], то обработка деталей с синусоидальным профилем возможна не только на специальных, но и на модернизированных универсальных токарных станках [7; 15—17], благодаря чему существенно сокращается стоимость изготовления ПС. В этой связи с точки зрения упрощения технологии и уменьшения стоимости изготовления ПС предпочтителен синусоидальный профиль.

Проектирование или модернизация объектов техники, оснащаемых ПС, связаны с определением их параметров. Для не срезанных некруглых профилей установлены следующие геометрические параметры (рисунок 3) [2; 6; 8—10]: диаметр вписанной окружности d , средний диаметр (радиус) D (R), диаметр описанной окружности D_0 , эксцентриситет профиля e , радиус-вектор ρ и угловой параметр профиля φ , количество граней (выступов) m . Для срезанных окружностью профилей задается также диаметр этой окружности. Стандартизованы параметры равноосных трехгранных и срезанных четырехгранных профилей [8—10].

Через D и e выражаются остальные параметры профиля: $d = D - 2e$, $D_0 = D + 2e$. Зависимость ρ от D , e , φ и m определяется видом контурной кривой [2]. Например, для синусоидального профиля

$$\rho = R - e \cos m \varphi. \quad (1)$$

Значение среднего диаметра D определяется расчетом и принимается в соответствии со стандартным рядом диаметров круглых цилиндрических соединений. Рекомендуемые допуски и посадки ПС находятся в широких пределах [2; 4]: для профильных валов — 6...9 квалитеты, для сопряженных с ними отверстий — 7...10 квалитеты, что позволяет окончательно обрабатывать детали ПС в зависимости от требований к их точности как абразивными, так и лезвийными инструментами, как и детали шлицевых соединений.

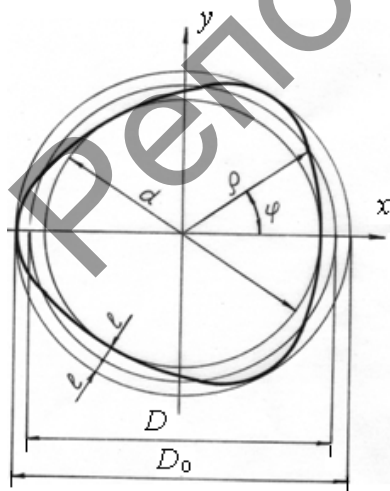


Рисунок — 3. Геометрические параметры трехгранной профильной поверхности

Требования к точности параметров ПС указываются в его обозначении, содержащем данные о виде контурной кривой, количестве граней, среднем диаметре, двойном эксцентриситете профиля и точности выполнения его параметров [2]. Например, запись СК-3-50 H7/g6/3.6H8/f7 [7] обозначает трехгранное профильное соединение с синусоидальным профилем, средний диаметр которого равен 50 мм, а двойной эксцентриситет $2e = 3,6$ мм, H7/g6 и H8/f7 определяют допуски на параметры D и $2e$ соответственно.

Значение эксцентриситета e задается из условия обеспечения выпуклости профиля поверхности во всех его точках.

По стандартам [8; 9] каждому значению диаметра D соответствует определенная величина e , что с технологической точки зрения нерационально из-за необходимости переналадки станка при любом изменении значения D . Поэтому из технологических соображений более предпочтителен принцип нормирования величины e , когда она постоянна при изменении параметра D в определенном диапазоне.

Благодаря этому сокращается количество перенастроек станка и имеется возможность применения групповой технологии для обработки профильных деталей.

Себестоимость изготовления деталей ПС существенно зависит от применяемых методов обработки и средств технологического оснащения, что обуславливает необходимость обоснования их выбора с учетом возможности применения из экономических соображений универсальных станков.

Методы обработки профильных поверхностей, реализуемые на универсальных станках. В зарубежной практике для обработки профильных валов применяются специальные токарные и шлифовальные станки, которые отечественной промышленностью не производятся, что требует разработки эффективных схем формообразования и средств их реализации на имеющихся станках иного технологического назначения. Рассмотрим решение этой задачи применительно к обработке синусоидальных поверхностей.

Некруглый профиль при обработке резанием технически просто может быть образован согласованными вращением заготовки 1 и возвратно-поступательным движением резца 2 (рисунок 4).

Форма профиля обработанной поверхности зависит от закона возвратно-поступательного перемещения резца. При гармоническом законе, создаваемом кривошипно-шатунным механизмом (см. рисунок 4, а) или кулачковым механизмом с плоским толкателем 4 и круглым кулачком 5, установленным с эксцентриситетом l относительно оси его вращения (см. рисунок 4, б), образуется синусоидальный профиль [7], описываемый уравнением (1). При иной форме кулачка 5 можно обрабатывать некруглые поверхности с различным профилем.

Преимуществом обеих схем является возможность обработки на одном станке как наружных, так и внутренних поверхностей, т. е. деталей типа валов и втулок, что важно при мелкосерийном и индивидуальном производстве ПС для сокращения номенклатуры необходимого станочного оборудования. Схемы обработки синусоидальных поверхностей реализуются на специальных, модернизированных, универсальных токарных [16; 17] и токарно-затыловочных [15] станках.

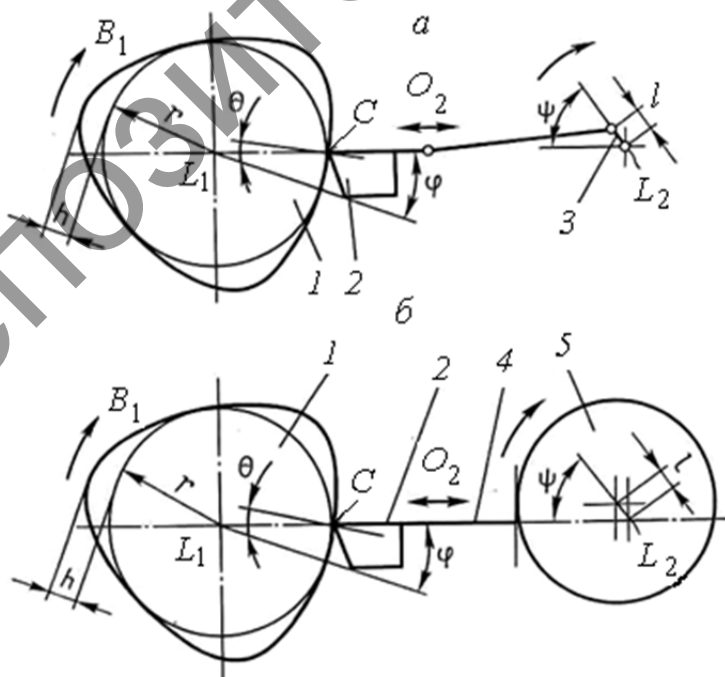


Рисунок 4. — Схемы образования некруглого профиля кривошипно-шатунным (а) и кулачковым (б) механизмами-построителями

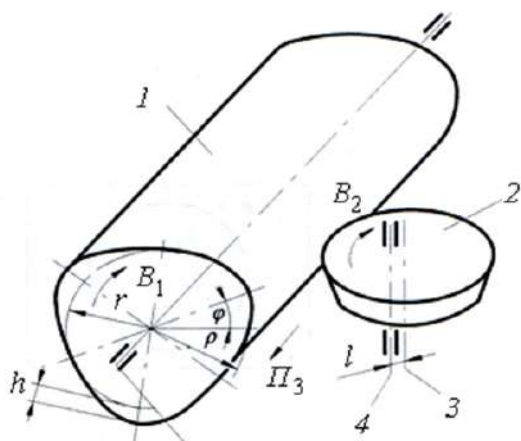


Рисунок 5. — Схема ротационного точения синусоидальной поверхности круглым эксцентрично установленным резцом

Лучшие динамические условия работы и более высокая производительность обеспечиваются при профилировании некруглой поверхности согласованными вращательными движениями инструмента и заготовки. К ним относится способ ротационного точения [18], по которому синусоидальная поверхность 1 (рисунок 5) формируется круглым резцом 2, геометрическая ось 3 которого установлена с эксцентриситетом l относительно оси 4 его вращения. Профиль обработанной поверхности описывается уравнением (1).

В процессе обработки заготовке и резцу сообщают взаимосвязанные вращательные движения B_1 и B_2 , а также относительное движение подачи Π_3 . При обработке синусоидальных цилиндрических поверхностей отношение i частот движений B_2 и B_1 заготовки задают равным числу m выступов профиля, а при обработке синусоидальных винтовых поверхностей — не равным этому числу. Благодаря отсутствию реверсивного движения поперечного суппорта станка устраняются факторы, ограничивающие производительность обработки осциллирующим призматическим резцом.

Ротационное точение синусоидальных поверхностей реализуется на любом шлицефрезерном станке без его модернизации. Важно и то, что радиус резца, изменяющийся при его переточке, не влияет на профиль обработанной поверхности, благодаря чему обеспечиваются высокая точность ее формообразования и долговечность инструмента.

Заслуживают внимания основанные на согласованных вращательных движениях заготовки и инструмента схемы обработки профильных поверхностей (таблица 1) резцовой головкой (схема 1), дисковой эксцентрично установленной фрезой или шевером (схема 2), цилиндрической эксцентрично установленной фрезой или шевером (схема 3) [19].

Схемы 1 и 2 предназначены для обработки открытых и полуоткрытых некруглых поверхностей, схема 3 — открытых поверхностей. Уравнения формируемых профилей приведены в таблице 1.

В зависимости от отношения частот вращения заготовки и резцовой головки, а также числа резцов в ней по схеме 1 обеспечивается обработка циклоидальных многогранных поверхностей с вогнутыми, выпуклыми или приближающимися к плоским гранями.

Отличительной особенностью схем 2 и 3 является эксцентричная установка круглого многолезвийного режущего инструмента относительно оси его вращения, обеспечивающая конструктивную подачу режущих лезвий в радиальном направлении, что упрощает кинематику и настройку станка и позволяет реализовать эти схемы обработки на разных универсальных станках с согласованными вращательными движениями инструмента и заготовки.

Отношение частот этих движений настраивают равным числу граней формируемой поверхности, поэтому за каждый оборот инструмента обрабатывается одна из граней, что обеспечивает их идентичность и высокую точность углового расположения по сравнению с обработкой некруглой фрезой [13].

Т а б л и ц а 1. — Рациональные схемы формообразования профильных поверхностей резанием

Номер схемы	Схема обработки	Схема профилирования	Уравнения профиля
1			$\begin{cases} x = l \cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) \\ y = l \sin \alpha - R \sin(\beta - \alpha) \end{cases}$ $l = R + r$
2			$F(x, y, \alpha) = 0$ $\frac{\partial F(x, y, \alpha)}{\partial \alpha} = 0$
3			$\rho = \frac{r_0 - l \cos m\varphi}{\arctg \frac{ml \sin m\varphi}{r_0 - l \cos m\varphi}}$ $r_0 = r + l$

При этом форма профиля обработанной поверхности обеспечивается за счет настройки величины эксцентриситета e установки инструмента относительно оси его вращения.

По сравнению с обработкой резцовой головкой по схеме 1 за счет большего числа режущих зубьев многократно сокращается время перерывов в резании и, соответственно, повышается производительность обработки.

При обработке по схеме 3 эксцентрично установленной цилиндрической фрезой профиль некруглой поверхности формируется в виде огибающей множества прямых, максимальное число которых равно числу режущих зубьев фрезы, участвующих в профилировании одной грани. Поэтому профиль некруглой поверхности не зависит от диаметра фрезы, что является преимуществом данной схемы по сравнению с обработкой по схемам 1 и 2 резцовой головкой и дисковой фрезой соответственно. Благодаря этому возможна обработка по общей схеме формообразования профильной поверхности последовательно несколькими разными инструментами (фрезой, шевером, инструментом для опилования или поверхностного пластического деформирования).

Обработка профильных поверхностей по рассмотренным трем схемам возможна на станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан» (Витебск), а по схеме 3 — на шлицефрезерном станке без его модернизации.

При изготовлении ПС важно также использовать эффективные методы обработки профильных отверстий. В зависимости от типа производства, размеров детали, предъявляемых требований к точности и шероховатости обработки и имеющегося оборудования профильное отверстие может быть обработано значительно большим количеством методов

по сравнению с обработкой шлицевых отверстий: протягиванием, растачиванием, фрезерованием концевой фрезой на копировальном станке или станке с числовым программным управлением (ЧПУ), шлифованием на координатно-шлифовальном станке с ЧПУ, поверхностным пластическим деформированием, электроэрозионной обработкой проволочным электродом на станках с ЧПУ, электрохимической размерной обработкой и др. Следует отметить, что конструкция протяжки для обработки профильных отверстий существенно проще, чем шлицевых.

Контроль деталей профильного соединения производится универсальными и специальными средствами [2; 7; 12]. В общем случае контролируются диаметральные размеры, эксцентриситет e профиля и форма контурной кривой (радиус-вектор профиля ρ). Для контроля диаметров вписанной и описанной окружностей, а также эксцентриситета применяют микрометрические или индикаторные измерительные приспособления с базированием контролируемых деталей по вершинам выступов или впадинам. При серийном производстве целесообразно использовать комплексные проходные калибры, а для поэтапного контроля — предельные калибры и измерительные приборы. Универсальным, наиболее полным и точным является контроль профильных деталей на координатно-измерительной машине.

Рассмотрим пример применения ПС при модернизации редуктора.

Объектом модернизации является редуктор отбора мощности погрузчика ТО-18Б производства Минского завода «Ударник» (Минск) [20]. В серийном исполнении он имеет шлицевые соединения между ступицей I (рисунок 6) и валом I, шестерней z_1 и валом I, зубчатой муфтой 4 и полумуфтами 2, 3, валом-шестерней II и втулкой 5. При модернизации редуктора решены задачи выбора геометрии профильных соединений, определения их размеров, допусков и посадок, разработки и реализации технологии изготовления деталей.

В модернизированном редукторе применены моментопередающие соединения с синусоидальным профилем СК-3 между всеми указанными деталями за исключением муфты 4, в которой полумуфты 2 и 3 имеют СК-2 профиль и повернуты относительно друг друга на 90° для компенсации несоосности и непараллельности соединяемых валов.

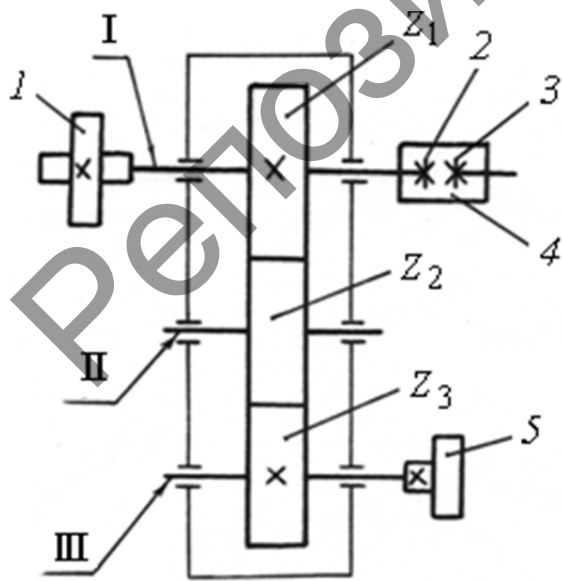


Рисунок 6. — Кинематическая схема модернизированного редуктора

Параметры моментопередающих соединений редуктора отбора мощности до и после его модернизации приведены в таблице 2.

Размер D профильных соединений установлен на основе прочностных расчетов и условий сборки редуктора. Следует отметить, что модернизация выполнена без изменения конструкции корпуса редуктора с сохранением тех же подшипников.

Все наружные и внутренние профильные поверхности деталей редуктора обработаны на токарно-затыловочном станке 1Б811.

Опыт эксплуатации погрузчика ТО-18Б с модернизированным редуктором отбора мощности на «Борисовском заводе «Автогидроусилитель»» свидетельствует об эффективности применения профильных моментопередающих соединений вместо шлицевых для повышения долговечности трансмиссий машин.

Т а б л и ц а 2. — Параметры моментопередающих соединений модернизируемого редуктора

Соединяемые детали (см. рисунок 6)	Параметры соединений до модернизации	Параметры соединений после модернизации
I—1	Эв. 60 × 3,5 11H / 10d	СК-3-56 H9 e8 / 4,0 H10 e9
I—Z ₁	D8 × 62 × 72 Js10/e8 × 12 F10 / d10	СК-3-70 H9 e8 / 4,8 H10 e9
I(2)—4	Эв. 60 × 3,5 11H / 10d	СК-2-55 H9 e8 / 6,0 H10 e9
4—3	Эв. 60×3,5 11H / 10d	СК-2-55 H9 e8 / 6,0 H10 e9
III—5	D8 × 46 × 54 Js10 / e8 × 9 F10 / d10	СК-3-50 H9 e8 / 4,0 H10 e9

Заключение. Эксплуатационные и технико-экономические преимущества профильных моментопередающих соединений в виде более высокой долговечности и меньшей стоимости изготовления обуславливают целесообразность их применения в тяжелонагруженных приводах ленточных конвейеров горной промышленности.

Применение в профильных соединениях синусоидального профиля вместо равноосного профиля позволяет существенно упростить технологию их изготовления благодаря возможности применения универсальных станков для профильного точения и модернизированных станков иного технологического назначения.

Опыт эксплуатации модернизированного редуктора с профильными моментопередающими соединениями вместо шлицевых свидетельствует о перспективности их применения для повышения надежности приводов конвейеров.

Список цитируемых источников

1. Борович, Л. С. Бесшпоночные соединения деталей машин / Л. С. Борович. — М. : Машгиз, 1951. — 132 с.
2. Тимченко, А. И. Процессы формообразования профильных поверхностей изделий с равноосным контуром : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08 / А. И. Тимченко. — М., 1993. — 41 с.
3. Рожкова, Е. А. Теория и методы проектирования профильных неподвижных неразборных соединений с равноосным контуром с натягом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Е. А. Рожкова ; Забайк. ин-т ж.-д. трансп. — Чита, 2014. — 20 с.
4. Урин, А. М. Назначение допусков и посадок РК-профильных соединений / А. М. Урин // СТИН. — 1993. — № 6. — С. 13—14.
5. Модульная инструментальная система [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mtools.narod.ru/an/sc.htm>. — Дата доступа: 14.02.2020.
6. Grossmann, Christoph. Fretting Fatigue of Shape Optimized Polygon-Shaft-Hub Connections / Christoph Grossmann. — Berlin, 2007. — 156 p.
7. Данилов, В. А. Научно-техническое обеспечение применения профильных моментопередающих соединений в горных машинах и оборудовании / В. А. Данилов, В. Я. Прушак // Горная механика : междунар. науч.-техн. журн. — 2009. — № 2. — С. 5—13.
8. Соединения профильные. Уравнения контурных кривых соединений, типы и основные размеры : ОСТ 92-4742-86 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://92.243.65.78/techdocs/kgs/ost/0/?page=2116>. — Дата доступа: 14.02.2020.
9. DIN 32711-79. Antriebselemente Polygonprofile P3G [Elektronische Ressourcen]. — Berlin : Beuth, 1979. — 3 S. — Zugriffsmodus: <https://www.beuth.de/de/norm/din-32711/658128>. — Zugriffsdatum: 17.02.2020.
10. DIN 32712-79. Antriebselemente Polygonprofile P4G. [Elektronische Ressourcen]. — Berlin : Beuth, 1979. — 3 S. — Zugriffsmodus: <https://www.beuth.de/de/norm/din-32711/658128>. — Zugriffsdatum: 17.02.2020.
11. Волковский, С. В. Повышение эффективности формообразования равноосноконтурных поверхностей посредством создания режущего инструмента, реализующего метод огибания : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / С. В. Волковский. — Хабаровск, 2002. — 218 л.

12. *Зенин, Н. В.* Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Н. В. Зенин ; МВТУ им. Н. Э. Баумана. — М., 2007. — 132 с.
13. *Максименко, Ю. А.* Создание метода проектирования дисковых фрез с конструктивным исполнением радиальной подачи для обработки валов с РК и К-профилем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Ю. А. Максименко ; Юго-зап. гос. ун-т. — Курск, 2014. — 20 с.
14. *Шитиков, А. Н.* Проектирование сборных фрез для обработки наружного РК-профиля : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / А. Н. Шитиков ; Тул. гос. ун-т. — Тула, 2007. — 20 с.
15. *Данилов, В. А.* Технология производства и ремонта горных машин и оборудования : в 2 т. / В. А. Данилов, В. Я. Прушак, Е. М. Найденышев ; под общ. ред. д-ра техн. наук В. Я. Щербы. — Т. 1 : Производство горных машин. — Минск : Тэхналогія, 2007. — 486 с.
16. *Синкевич, В. М.* Исследование технологии изготовления профильных бесшпоночных соединений узлов судовых механизмов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В. М. Синкевич ; Ленингр. кораблестр. ин-т. — Л., 1985. — 21 с.
17. *Ворона, В. В.* Расчет оснастки и операции токарной обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / В. В. Ворона ; Юго-Зап. гос. ун-т. — Курск, 2008. — 202 л.
18. *Данилов, В. А.* Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В. А. Данилов. — Минск : Наука и техника, 1995. — 264 с.
19. DE 3826159A1 ФРГ, МКИ5 B23C3/24. Verfahren und Werkzeugmaschine zur Bearbeitung gekrümmten Oberflächen : заявка / V. A. Danilov (СССР) ; Novopol. politechn. in-t. — № 3826159.6 ; заявл. 01.08.88; опубл. 08.02.90.
20. *Данилов, В. А.* Конструкторско-технологическое обеспечение применения профильных моментопередающих соединений в трансмиссиях машин / В. А. Данилов, А. И. Костюченко, С. В. Спиридонов // Машиностроение : сб. науч. тр. Вып. 17 / под ред. И. П. Филонова. — Минск : Технопринт, 2001. — С. 209—214.

Поступила в редакцию 05.05.2020