

# Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года  
Выходит 2 раза в год

№ 1 (11), май, 2022

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования  
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:  
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.  
Телефон: +375 (163) 64 34 77.  
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Подписные индексы: 00999 — для индивидуальных  
подписчиков; 009992 — 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»  
включен в РИНЦ (Российский индекс научного  
цитирования), лицензионный договор  
№ 06-01/2016.

Выходит на русском, белорусском  
и английском языках.  
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 04.05.2022. Формат 60 × 84 1/8.  
Бумага ксероксная. Печать цифровая.  
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 8,60.  
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. Хлопина, 16, 231800  
г. Слоним, Гродненская обл.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Кочурко В. И.** (гл. ред. журн.), 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, профессор кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

**Климук В. В.** (зам. гл. ред. журн.), кандидат экономических наук, доцент, первый проректор (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

**Алифанов А. В.** (гл. ред. сер.), лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

**Горбач Ю. Е.** (отв. секретарь сер.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

**Зубрицкая Л. С.** (ред. текстов на англ. яз.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

**Богданович И. А.** (отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь); **Дубень И. В.** (отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь).

**Анискович Г. И.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»), Минск, Республика Беларусь);

**Белый А. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»), Минск, Республика Беларусь); **Девойно О. Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий (филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть»), Минск, Республика Беларусь);

**Дремук В. А.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь); **Жигалов А. Н.**, доктор технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет»), Барановичи, Республика Беларусь); **Калугин Ю. К.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»), Гродно, Республика Беларусь); **Карташевич А. Н.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»), Горки, Республика Беларусь); **Клочков А. В.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»), Горки, Республика Беларусь);

**Клубович В. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»), Минск, Республика Беларусь); **Сиваченко Л. А.**, доктор технических наук, профессор (межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»), Могилев, Республика Беларусь); **Томило В. А.**, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь); **Шелег В. К.**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Promoter: Educational Institution  
"Baranovichi State University".

Editorial address:  
21 Voykova Str., 225404 Baranovichi.  
Phone: +375 (163) 64 34 77.  
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Subscription indices: 00999 — for individual subscribers;  
009992 — 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.

Issued in Russian, Belorussian 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

Signed print 04.05.2022. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.  
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 13,25.  
Acc.-pub. s. l. 8,60. Circulation of 100 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.

**EDITORIAL BOARD**

**Kochurko V. I.** (*editor-in-chief*), DSc in Agriculture, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Professor of Department of Technical Support of Agricultural Production Processes and Agronomic Sciences (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

**Klimuk V. V.** (*deputy editor-in-chief*), PhD in Economics, Associate Professor, first vice-rector (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

**Alifanov A. V.** (*the series editor-in-chief*), Laureate of the State Prize of the Republic of Belarus in the field of science and technology, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

**Gorbach Yu. E.** (*responsible for the topic area "Engineering Sciences"*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

**Zubritskaya L. S.** (*ed. of texts in English*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

**Bogdanovich I. A.** (*responsible for the area "Mechanical Engineering and Machine Science"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Duben I. V.** (*responsible for the area "Processes and Machines of Agro engineering Systems"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

**Aniskovich G. I.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, the Republic of Belarus); **Bely A. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Devoino O. G.**, DSc in Technical Sciences, Professor, Head of the Innovative Research Laboratory of Plasma and Laser Technologies (branch of the Belarusian National Technical University "Research Unit", Minsk, the Republic of Belarus); **Dremuk V. A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Zhigalov A. N.**, DSc in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Kalugin Yu. K.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Yanka Kupala Grodno State University", Grodno, the Republic of Belarus); **Kartashevich A. N.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klochov A. V.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klubovich V. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Sivachenko L. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Interstate Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University", Mogilev, the Republic of Belarus); **Tomilo V. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus); **Sheleg V. K.**, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus).

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

**Громыко П. Н., Хатетовский С. Н., Макацария Д. Ю., Макаревич А. С.** Обеспечение поступательного движения сателлита при работе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

**Жигалов А. Н., Горавский И. А.** Экспериментальные исследования микроструктуры быстрорежущей стали P6M5, упрочненной аэродинамическим звуковым методом

**Малеронко В. В., Кушнеров А. В., Алифанов А. В.** Влияние магнитно-импульсной обработки на фазовые переходы в поверхностном слое режущего осевого инструмента из инструментальной стали

**Наліюко А. І., Русан С. І., Сівачэнка Л. А., Сівачэнка Т. Л.** Методика набліжаного аналізу сілавога ўзаемадзеяння ў здрабняльных машынах са шчоткападобнымі звёнамі

**Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Корольков А. С.** Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых автомобилей

**Фадин Ю. М., Шеметова О. М.** Использование пневмосмесительного оборудования для производства сухих строительных смесей

**Шматов А. А.** Характер упрочнения твердых сплавов при термогидрохимической обработке

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

**Бондарев С. Н.** Определение потребной мощности на процесс машинного доения коровы

**Китун А. В., Передня В. И., Крупенин П. Ю., Филатов В. Г., Дубень И. В.** Исследование процесса измельчения кормов плоскостным роторным измельчающим аппаратом вертикального типа

**Китун А. В., Передня В. И., Крупенин П. Ю., Филатов В. Г., Дубень И. В.** Оптимизация выбора оборудования линии первичной обработки молока

**Китун А. В., Швед И. М.** Определение параметров участка размыва осадка в навозохранилище направленным действием струи жидкого навоза

**Пузевич К. Л., Коцуба В. И., Пузевич В. В., Филиппов А. И.** Агрегаты для посева сельскохозяйственных культур под мульчирующую пленку

**Шаршунов В. А., Курзенков С. В., Левчук В. А., Цайц М. В.** Исследование характера деформации и разрушения семенной коробочки льна

## MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

**4 Gromyko P. N., Khatetovsky S. N., Makatsaryia D. Yu., Makarevich A. S.** Provision of the satellite translational motion during the operation of eccentric transmission with parallel arrangement of input and output shafts

**14 Jigalov A. N., Goravskii I. A.** Experimental investigations of the high-speed steel P6M5 microstructure hardened by the aerodynamic sound method

**24 Maleronok V. V., Kushnerou A. V., Alifanov A. V.** The effect of magnetic pulse processing on phase transitions in the surface layer of a cutting axial tool of tool steel

**31 Naliuko O. I., Rusan S. I., Sivachenko L. A., Sivachenko T. L.** Method of approximate analysis of force interaction in grinding machines with brush-like links

**37 Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Korolkov A. S.** Research of performance of synthetic motor oils indicators used in gasoline engines of passenger cars

**43 Fadin Yu. M., Shemetova O. M.** The use of pneumatic mixing equipment for the dry building mixes production

**48 Shmatov A. A.** The nature of hard alloys hardening during thermo-hydrochemical treatment

## PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

**55 Bondarev S. N.** Determination of the required power for the machine cow milking process

**65 Kitun A. V., Perednya V. I., Krupenin P. Y., Filatov V. G., Duben I. V.** Research of grinding feed process by a planar vertical rotary grinder

**74 Kitun A. V., Perednya V. I., Krupenin P. Y., Filatov V. G., Duben I. V.** Optimization of the equipment choice for a primary milk processing line

**81 Kitun A. V., Shved I. M.** Determination of the sediment erosion area parameters in the manure storage by the directed action of a liquid manure jet

**88 Puzevich K. L., Kotsuba V. I., Puzevich V. V., Filippov A. I.** Aggregates for sowing agricultural crops under mulching film

**96 Sharshunov V. A., Kurzenkov S. V., Levchuk V. A., Tsaits M. V.** Investigation of the nature of flax seedpods deformation and destruction

УДК 621.926

**А. І. Наліўко<sup>1</sup>, С. І. Русан<sup>1</sup>**, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт,  
**Л. А. Сівачэнка<sup>2</sup>**, доктар тэхнічных навук, прафесар, **Т. Л. Сівачэнка<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт», вул. Войкава, 21, 225404 Баранавічы,  
Рэспубліка Беларусь, +375 (33) 699 45 01, alehnaliuko@mail.ru

<sup>2</sup>Міждзяржаўная адукацыйная ўстанова вышэйшай адукацыі «Беларуска-Расійскі ўніверсітэт», пр-т Міру, 43,  
212000 Магілёў, Рэспубліка Беларусь, +375 (222) 70 36 78, 228011@mail.ru

<sup>3</sup>Унітарнае прыватнае вытворчае прадпрыемства «КБ “Прамысловыя тэхналогіі і комплексы”»,  
вул. Грушаўская, 32, 212003 Магілёў, Рэспубліка Беларусь, +375 (44) 453 88 08 tatsianamail.86@gmail.com

## МЕТОДЫКА НАБЛІЖАНАГА АНАЛІЗУ СІЛОВОГА ЎЗАЕМАДЗЕЙНЯ Ў ЗДРАБНЯЛЬНЫХ МАШЫНАХ СА ШЧОТКАПАДОБНЫМІ ЗВЁНАМІ

Выкладзена методыка вызначэння сродкамі тэарэтычнай механікі рэактыўных сіл узаемадзеяння рабочых звёнаў машыны з часціцай здрабняльнай фракцыі матэрыялу. Паказана магчымасць выкарыстання атрыманых вынікаў для пераходу да ўдасканаленай (дэфарматыўнай) мадэлі ўзаемадзеяння.

**Ключавыя словы:** методыка; стрыжань; здрабненне; вугал ахопу; драцяны элемент; здрабняльная машына.  
Рыс. 5. Бібліягр.: 4 назваў.

**O. I. Naliuko<sup>1</sup>, S. I. Rusan<sup>1</sup>**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,  
**L. A. Sivachenko<sup>2</sup>**, DSc in Technical Sciences, Professor, **T. L. Sivachenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Educational Institution “Baranovich State University”, 21 Voykov Str., 225404 Baranovich,  
the Republic of Belarus, +375 (33) 699 45 01, alehnaliuko@mail.ru

<sup>2</sup>Interstate Educational Institution of Higher Education “Belarusian-Russian University”, 43 Mira Ave.,  
212000 Mogilev, the Republic of Belarus, +375 (222) 70 36 78, 228011@mail.ru

<sup>3</sup>Unitary Private Production Enterprise “DB ‘Industrial technologies and complexes’”, 32 Grushevskaya Str.,  
212003 Mogilev, the Republic of Belarus, +375 (44) 453 88 08, tatsianamail.86@gmail.com

## METHOD OF APPROXIMATE ANALYSIS OF FORCE INTERACTION IN GRINDING MACHINES WITH BRUSH-LIKE LINKS

The method of determination by means of theoretical mechanics of the reactive forces of the working brush-like links interaction of the machine with a particle of the crushed fraction of the material is described. The possibility of using the obtained results for the transition to an improved (deformative) interaction model is shown.

**Key words:** technique; rod; grinding; angular velocity; coverage angle; wire element; grinding machine.

Fig. 5. Ref.: 4 titles.

**Уводзіны.** Устойлівае развіццё прамысловасці не магчыма без інавацыйнага абнаўлення тэхналагічнай сферы і стварэння высокаэфектыўных тэхналогій, машын і абсталявання. У сучасных умовах найбольшае практычнае значэнне маюць тыя механізмы ўздзеяння, якія непасрэдна звязаны з комплекснай перапрацоўкай сыравіны і матэрыялаў, прызначанай для атрымання прадуктаў, неабходных для задавальнення жыццёвых запатрабаванняў чалавека.

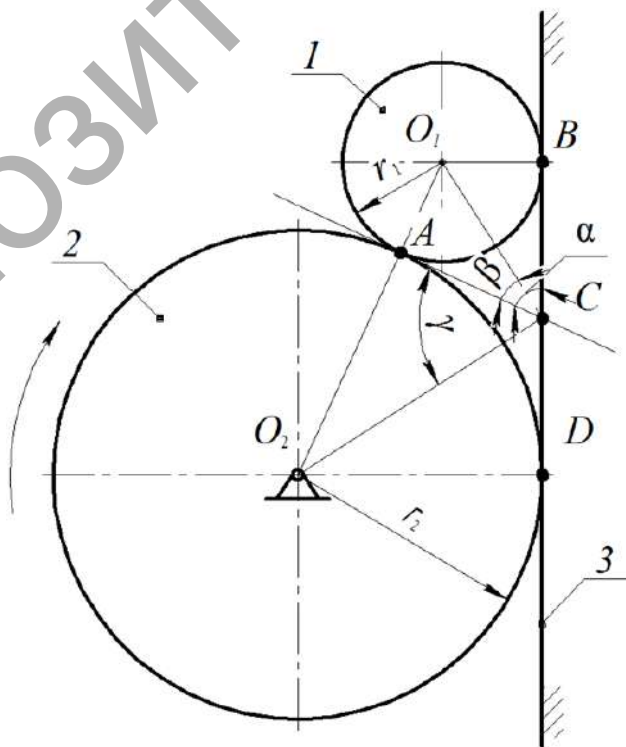
Важнай уласцівасцю для здрабняльнага абсталявання новага пакалення з’яўляецца забеспячэнне яго адаптыўнасці да перапрацоўкі розных па сваіх характарыстыках матэрыялаў.

Вызначальнай умовай пры стварэнні новых канструкцый здрабняльных машын з’яўляецца гатоўнасць навукова-метадычнай базы для іх праектавання і магчымасці камплектацыі базавых вузлоў і рабочых органаў на аснове асвоеных прамысловасцю вырабаў.

**Матэрыялы і метады даследавання.** Тыпы здрабняльных машын і тэхналогіі перапрацоўкі матэрыялаў апісаны ў манаграфіі [1]. У нашым даследаванні засяродзім увагу на прыватнай канструкцыі машыны з рабочымі звёнамі, паверхні якіх выраблены ў выглядзе драцяных шчотак. Фрагмент прынцыповай схемы такой машыны паказаны на рысунку 1, дзе лічбамі 1, 2, 3 абзначаны, адпаведна, часцінка рэчыва, рухомая шчотка і нерухомае шчака. Як бачым, часцінка мадэлюецца ідэальным шарыкам радыуса  $r_1$  (на рысунку яна для зручнасці даследавання значна павялічана). Такая мадэль найлепш характарызуе грануляваныя фракцыі матэрыялаў. Свабодныя канцы дроцікаў цыліндрычнай шчоткі 2 знаходзяцца на адлегласці  $r_2$  ад восі яе вярчэння. Мяркуем, што геаметрычныя параметры  $r_1$ ,  $r_2$  сістэмы на ўваходзе часцінкі ў зону разбурэння застаюцца нязменнымі. Рэчыва, што здрабняецца, знаходзіцца ў абмежаванай прасторы над шчоткай. Пры яе вярчэнні часцінкі рэчыва захопліваюцца дроцікамі шчоткі, уцягваюцца ў зону разбурэння, дзе здрабняюцца (ці сціраюцца ў парашок). Пры магчымасці ўдакладнення разліковая схема будзе напісана напрыканцы даследавання.

**Вынікі даследавання і іх абмеркаванне.** Устанавім неабходныя ў далейшым аналігічныя залежнасці паміж лінейнымі і вуглавымі параметрамі механічнай сістэмы 1—2—3 (гл. рысунак 1). Вугал  $\alpha$  паміж датычнымі  $CA$  і  $CB$  да экватэрыяльнай паверхні часцінкі з вяршыняй у пункце іх перасячэння  $C$  будзем называць вуглом ахопу часцінкі. Яму адпавядае дуга  $AB$  з цэнтральным вуглом  $\angle AOB$  ( $\angle AOB \leq \pi$ ). Паводле рысунка 1  $\angle ABC + \angle ACD = \pi$ , пры гэтым  $\beta = \angle ABC / 2 = \alpha / 2$ ,  $\gamma = \angle ACD / 2$ . Таму  $\beta + \alpha = \pi / 2$ . У прававугольным трохвугольніку  $O_1CO_2$  адрэзак  $CA$  перпендыкулярны да гіпатэнузы  $O_1O_2$ , што дазваляе запісаць суадносіны  $r_1 / AC = AC / r_2$ . Памножым іх на  $r_1 / AC$ , атрымаем  $(r_1 / AC)^2 = r_1 / r_2$  ці  $\rho = r_1 / r_2$ . Адсюль знаходзім

$$\alpha = 2 \arctg(\sqrt{\rho}). \quad (1)$$



Рысунак 1. — Рабочыя звёны здрабняльнай машыны (2, 3)

З формулы (1) відаць, што вугал ахопу  $\alpha$  часцінкі залежыць выключна ад суадносін  $\rho$  радыусаў  $r_1, r_2$ . А калі ўлічыць, што ў дзеючай машыне  $r_2 = \text{const}$ , а змяняцца могуць толькі размеры часцінак, то вугал  $\alpha$  можна разглядаць як функцыю толькі іх параметра  $r_1$ . Для нагляднасці на рысунку 2 прадстаўлены графік змянення вугла  $\alpha$  у межах  $r_1 = (0,1 \dots 0,4) r_2$ . Як бачым, залежнасць (1) блізкая да лінейнай;  $r_1 \rightarrow 0$ , вугал  $\alpha \rightarrow 0$ .

Пераходзім да аналізу сілавога ўзаемадзеяння ў здрабняльнай машыне. Павольны рух часцінкі падчас уваходжання ў кантакт са звёнамі 2, 3 будзем лічыць раўнамерным. Гэта дазваляе ігнараваць сілы інерцыі і вызначаць яе сілы ўзаемадзеяння са звёнамі 2, 3 з умоў раўнавагі. Паводле metodyкі, выкладзенай у курсе тэарэтычнай механікі [2; 3], аб'ектам раўнавагі ў сістэме 1—2—3 з'яўляецца часцінка 1; сувязямі, накладзенымі на яе, служаць паверхні звёнаў 2, 3 у пунктах  $A, B$ . Рэакцыі сувязей (сілы ўзаемадзеяння часцінкі са звёнамі 2, 3) на рысунку 3 абазначаны літарамі  $N_A, S_A, N_B, S_B$  і прыкладзены да часцінкі 1. Такія ж сілы процілеглага напрамку дзейнічаюць на звёны 2, 3. Да актыўных сіл належаць: сіла цяжару часцінкі і сілы ціску рэчыва, што змешчана ў прасторы над часцінкай. Актыўныя сілы вызначаюцца асобна і ў нашай задачы лічацца зададзенымі. Прыводзім іх да цэнтра  $O_1$ , атрымліваем раўнадейную  $P$  і пару сіл з момантам  $M$  (гл. рысунак 3). Вугал  $\theta$  знаходзіцца ў працэсе прывядзення сістэмы актыўных сіл да цэнтра  $O_1$ . Заўважым, што часцінка 1 пры павароце шчоткі 2 можа ўцягвацца ў зону разбурэння, а можа і заставацца нерухомай (ці выслізгаць са звёнаў 2, 3). Гэта залежыць як ад вугла ахопу  $\alpha$ , так і ад дзеючых на часцінку сіл. Значэнне  $\alpha$ , пры якім часцінка пад дзеяннем прыкладзеных да яе сіл рухаецца ў зону разбурэння (ці застаецца ў раўнавазе), называюць вуглом захопу. Ён таксама вылічваецца па формуле (1) з дадатковымі ўмовамі, накладзенымі на сістэму сіл. Далей будзем лічыць, што гэтыя ўмовы выконваюцца.

Уводзім сістэму восей каардынат  $O_1x$  і запісваем умовы раўнавагі:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum M(O_1) = 0. \tag{2}$$

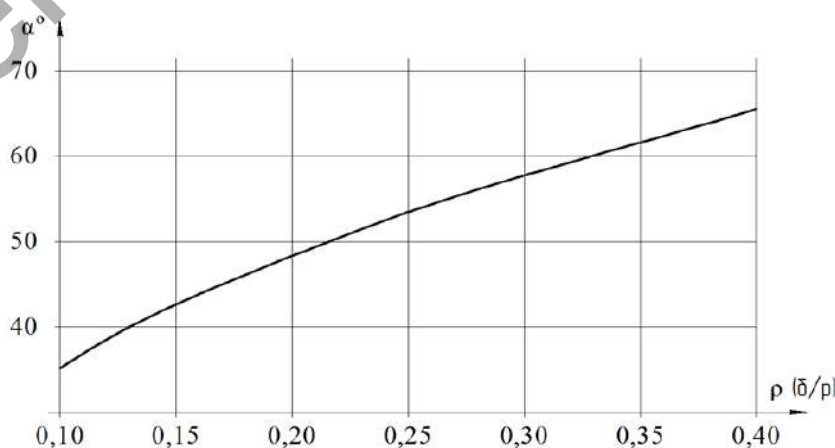
Улічваем, што  $S_A = fN_A$ . Як бачым, задача статычна вызначальная. Карыстаючыся рысункам 3, запісваем умовы (2) у разгорнутым выглядзе:

$$P_B N_A - N_B + P \sin \theta = 0; \tag{3}$$

$$P_C N_A - S_B + P \cos \theta = 0; \tag{4}$$

$$f r_1 N_A - S_B r_1 - M = 0, \tag{5}$$

дзе  $f$  — каэфіцыент трэння ў пункце  $A$ .



Рысунак 2. — Ілюстрацыя залежнасці вугла ахопу  $\alpha$  ад суадносін радыусаў  $\rho$

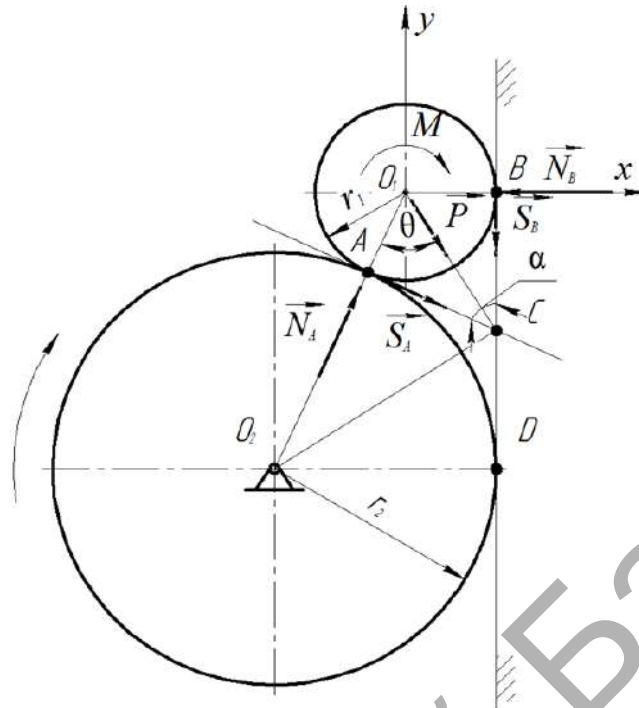


Рисунок 3. — Схема сил взаємодіяння  
рабочих зв'язу машини з часцінкой рэчыва

З роўнасці (5)  $S_B = fN_A - M / r_1$  падстаўляем  $S_B$  у (4):

$$fN_A - P \cos \theta + M / r_1 = 0.$$

Атрымліваем выраз

$$N_A = Q / P_A. \quad (6)$$

Падстаўляем  $N_A$  у роўнасць (3). З атрыманага выражэння знаходзім

$$N_B = (P_B / P_A)Q + P \sin \theta. \quad (7)$$

Далей з ураўнення (4) атрымліваем

$$S_B = (P_C / P_A)Q + P \cos \theta. \quad (8)$$

І, як раней адзначалася,

$$S_A = f(Q / P_A). \quad (9)$$

Карыстаючыся ўмовамі раўнавагі і рысункам 3, знаходзім

$$P_A = \sin \alpha - (1 + \cos \alpha)f; P_B = \cos \alpha + f \sin \alpha; P_C = \sin \alpha - f \cos \alpha; Q = P \cos \theta - M / r_1. \quad (10)$$

Для прадстаўлення сил взаємодзяння (6)...(9) у выглядзе функцыі радыуса часцінкі  $r_1$  неабходна ў формулах (10) перайсці ад вугла захопу  $\alpha$  да параметра  $\rho = r_1 / r_2$  праз  $\operatorname{tg}(\alpha / 2)$ . У папулярным даведніку па матэматыцы [4] формулы пераходу ад  $\sin \alpha$ ,  $\cos \alpha$  да  $\operatorname{tg}(\alpha / 2)$  адсутнічаюць. Каб іх знайсці, выкарыстоўваем прыведзеную ў згаданым выданні залежнасць  $t = \operatorname{tg}(\alpha / 2) = \sqrt{(1 - \cos \alpha) / (1 + \cos \alpha)} = \sin \alpha / (1 + \cos \alpha)$ . Атрымаем  $\sin \alpha = 2t / (1 + t^2)$ ,  $\cos \alpha = (1 - t^2) / (1 + t^2)$ . Формулы (10) прымуць наступны выгляд:

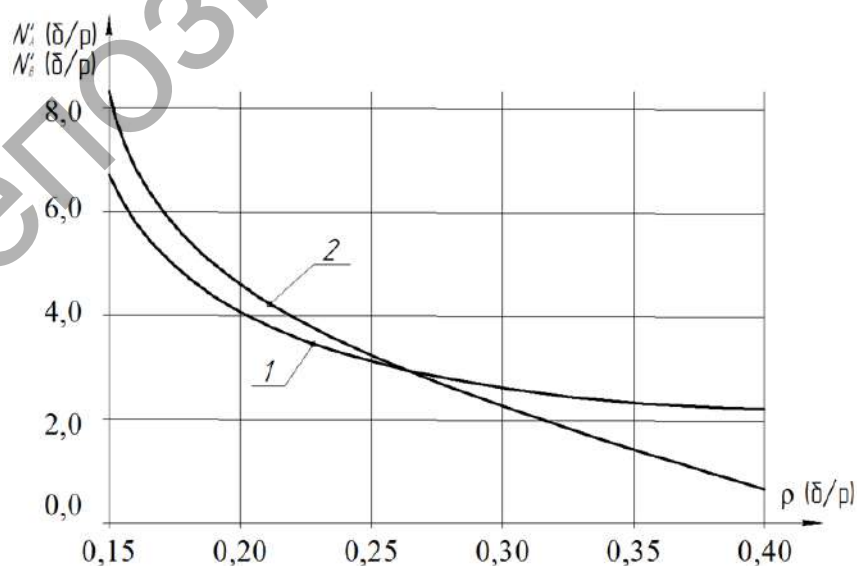
$$P_A = 2(t - f) / (1 + t^2); P_B = (1 + 2ft - t^2) / (1 + t^2); P_C = [2t - f(1 - t^2)] / (1 + t^2).$$

Цяпер велічыні  $P_A, P_B, P_C$ , а значыць, і сілы ўзаемадзеяння (6)...(9) можна разглядаць як функцыі суадносін  $\rho$ , а пры  $r_2 = \text{const}$  — як функцыі радыуса часцінкі  $r_1$ . Заўважым, што кампаненты сіл узаемадзеяння, прыкладзеныя ў пунктах  $A, B$ , па-рознаму ўплываюць на разбуэрэнне часцінкі. Датэчныя да яе паверхні сілы  $S_A, S_B$  выклікаюць пераважна сціранне, нармальныя  $N_A, N_B$  — драбненне. Далей спынімся больш падрабязна на нармальных складальных  $N_A, N_B$ . Разгледзім прыватны выпадак, пры якім знешнія сілы, прыкладзеныя да часцінкі, прыводзяцца да раўнадзейнай  $Q = P$  ( $M = 0$ ). Прымем  $\theta = 0$ , тады формулы (6), (7) прымуць наступны выгляд:

$$N_A = P / P_A; N_B = (P_B / P_A)P. \tag{11}$$

Каб скласці ўяву, як змяняюцца сілы (11) у залежнасці ад радыуса  $r_1$  пры знешнім уздзеянні  $P$ , на рысунку 4 пабудаваны іх графікі на інтэрвале  $r_1 = (0,1 \dots 0,4)r_2$  (пры  $f = 0,3$ ) у безразмерных каардынатах  $N'_A = N_A / P, N'_B = N_B / P$ . Паводле іх раўнавага адносна большай часцінкі забяспечваецца меншымі нармальнымі сіламі. Якасна такі вынік можна абгрунтаваць клінавым эфектам: большай часцінцы і, значыць, большаму вуглу  $\alpha$  адпавядае болей затуплены клин з меншым сілавым распорам паверхняў 2, 3. Звернем увагу на недахоп графікаў, прадстаўленых на рысунку 4. Яны пабудаваны пры  $P = \text{const}$ . Мяркуюцца, што велічыня  $P$  выбіраецца для некага сярэдняга значэння  $\rho$  на выбраным інтэрвале яго змянення. На самой справе раўнадзейная знешніх сіл з'яўляецца бесперапыннай функцыяй размераў часцінкі, г. зн. параметра  $\rho$ . Як адзначалася вышэй, яна залежыць ад ціску з боку сумежных часцінак, у меншай ступені — ад сілы цяжару самой часцінкі.

Каб забяспечыць неабходныя для драбнення рэчыва ўласцівасці ігольчастых звёнаў здрабняльных машын (жорсткасць і трываласць іголак), патрэбна больш дасканалая разліковая схема, чым выкарыстаная вышэй (гл. рысункі 1, 3). Яна павінна ўлічваць, найперш, дэфарматыўнасць ігольчастых паверхняў рабочых звёнаў. Сапраўды, кантакт часцінкі 1 са звёнамі 2, 3 мае месца не ў пунктах  $A, B$ , а па сферычных паверхнях (лунках). На плоскім рысунку 5,  $a$ , гэтыя паверхні ў павялічаным выглядзе прадстаўлены дугамі  $EAF, KBL$ . Пры вылічэнні сіл узаемадзеяння габарыты рабочых звёнаў абмяжоўваюцца зрушанымі паверхнямі. На плоскім рысунку 5,  $a$ , яны паказаны пункцірнымі лініямі  $a-a, b-b$ .



1 — сіла  $N'_A$ ; 2 — сіла  $N'_B$

Рысунк 4. — Адносныя нармальныя сілы ўзаемадзеяння

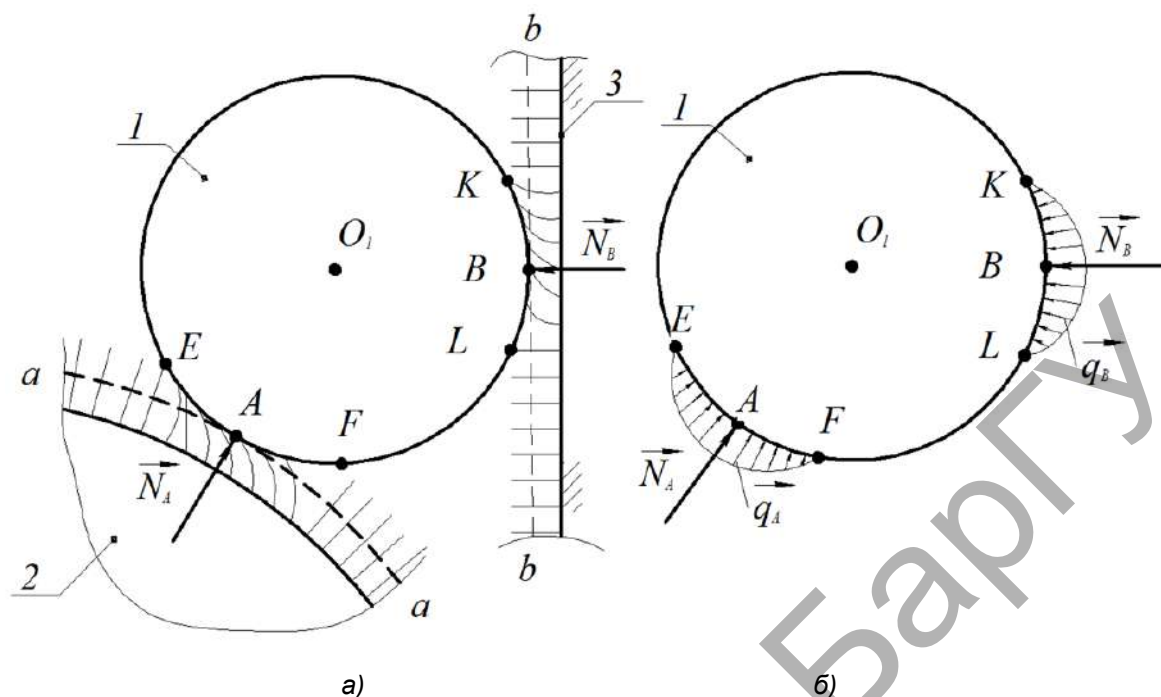


Рисунок 5. — Дэфармацыя ігольчастых паверхняў шчоткі 2 і шчакі 3 (а), адпаведныя ёй сілавыя ўздзеянні  $q_A, q_B$  на часцінку 1 (б)

Аднак неістотнае змяненне радыуса  $r_2$  (гл. рысункі 1, 3) на практыцы можна ігнараваць. Знойдзеныя раней сілы  $N_A, N_B$  ва ўдакладненай разліковай схеме не з'яўляюцца засяроджанымі, а ўяўляюць раўнадзейныя размеркаваныя нагрузкі  $q_A, q_B$  (гл. рысунок 5, б). Прыведзеная канкрэтызацыя сіл узаемадзеяння дазваляе больш дакладна даследаваць напружана-дэфармаваны стан часцінкі. А паколькі такія ж нагрузкі  $q_A, q_B$ , але процілеглага напрамку, прыкладзены і да звёнаў 2, 3, то адкрываецца магчымасць вызначыць дэфармацыі і даследаваць трываласць іх ігольчастых паверхняў.

**Заклучэнне.** У выкананым даследаванні выкладзена методика набліжанага вызначэння сіл узаемадзеяння ігольчастых рабочых звёнаў машыны з элементарнай часцінкай здрабняльнай фракцыі. Атрыманыя рэзультаты дазваляюць перайсці да паглыбленага вивучэння як тэхналагічнага працэсу драблення, так і да ўдасканалення структуры ігольчастых пакрыццяў рабочых органаў машыны.

#### Спіс цытаваных крыніц

1. Інтенсіфікацыя тэхналагічных працэсаў у апаратах адаптыўнага дзейства : калектыв. моногр. / Л. А. Сиваченко [и др.] ; под науч. ред. Л. А. Сиваченко ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2020. — 359 с
2. Чигарев, А. В. Курс теоретической механики / А. В. Чигарев, Ю. В. Чигарев. — Минск : Новое знание ; М. : ЦУПЛ, 2010. — 397 с.
3. Хвясько, Г. М. Курс тэарэтычнай механікі / Г. М. Хвясько. — Мінск : БДТУ, 2000. — 354 с.
4. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М. : Гос. изд. техн.-теор. лит., 1957. — 608 с.

Паступіў у рэдакцыю 01.04.2022.