

ISSN 2309-1339



ВЕСТНИК БАРГУ

BARSU HERALD

СЕРИЯ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SERIES
ENGINEERING



№ 2 (12) 2022

Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 2 (12), ноябрь, 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 27.10.2022. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,00. Уч.-изд. л. 9,00.
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 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 (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь; 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; государственное научное учреждение «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси», Могилев, 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 27.10.2022. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 14,00.
Acc.-pub. s. l. 9,00. 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 Str., 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 (State Scientific Institution "Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus; 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; State scientific institution "Institute of Metal Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Mogilev, 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); **Klochkov 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

Горавский И. А., Жигалов А. Н., Винничек К. С. Технология и режимы аэродинамического звукового воздействия на осевой фрезерный инструмент из быстрорежущих сталей

Кебец А. В., Кривонос Ю. И., Бучик Т. Ю., Паранин С. Н., Спирин А. В. Исследование модельных индукторных систем на основе волокнистого нанокompозита мелкодисперсного сплава медь-ниобий

Малеронко В. В., Алифанов А. В., Милюкова А. М., Богданович И. А. Моделирование процесса магнитно-импульсной обработки с предварительным нагревом осевого режущего инструмента

Милюкова А. М., Алифанов А. В., Матяс А. Н., Толкачева О. А. Исследование физико-механических свойств ножей из стали 30X13 после магнитно-импульсной обработки

Патапаў У. А., Русан С. І., Сівачэнка Л. А. Камбінаваны метады сілавага аналізу прываднага механізма ланцужнага аграгата

Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Корольков А. С. Исследование влияния величины пробега легкового транспортного средства на плотность и температуру вспышки в открытом тигле моторных масел «Лукойл Люкс 5W-40» и «Нафтан Премьер 5W-40»

Шматов А. А. Многомерная оптимизация термогидрохимической обработки твердого сплава в гидрозолье оксидов цинка и молибдена

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Голубев В. С., Вегера И. И., Ходюш В. Е., Дробышевский П. С. Наплавка износостойких слоев на рабочие кромки противорезущих брусьев кормоуборочных комбайнов

Груданов В. Я., Ткачёва Л. Т., Белохвостов Г. И., Кунаш М. В. Новые направления в конструировании глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания

Китун А. В., Швед И. М., Бондарев С. Н., Скорб И. И. Оптимизация выбора оборудования для удаления навоза механическими стационарными средствами на животноводческих фермах и комплексах

Крупенин П. Ю., Крупенин Ю. А. Диагностирование доильной установки в переходных режимах работы

Михайлов К. М., Михайлов М. И. Влияние расположения ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на параметры его образующей

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

4 Goravskii I. A., Jigalov A. N., Vinnichak K. S. Technology and modes of aerodynamic sound impact on axial milling tools made of high-speed steels

16 Kebets A. V., Krivonos Y. I., Buchik T. Y., Paraniin S. N., Spirin A. V. Study of model inductor systems based on a fibrous nanocomposite of a finely dispersed copper-niobium alloy

24 Maleronok V. V., Alifanov A. V., Miliukova A. M., Bogdanovich I. A. Magnetic-pulsed process modeling with the axial cutting tool preheating

30 Miliukova A. M., Alifanov A. V., Matsias A. N., Tolkachova O. A. Study of physical and mechanical properties of knives made of 30X13 steel after magnetic pulse treatment

36 Potapov V. A., Rusan S. I., Sivachenko L. A. Combined method of force analysis of the chain unit drive mechanism

47 Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Korolkov A. S. The study of the influence of the mileage of a passenger vehicle on the density and flash point in an open crucible of Lukoil Lux 5W-40 and Naphthan Premier 5W-40 motor oils

53 Shmatov A. A. Multidimensional optimization of hard alloy thermo-hydrochemical treatment in zinc and molybdenum oxides hydrosol

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

65 Golubev V. S., Vegera I. I., Khodziush U. E., Drobyshevsky P. S. Surfacing of wear-resistant layers on the working edges of anti-cutting bars of forage harvesters

74 Grudanov V. Ya., Tkacheva L. T., Belokhvostov G. I., Kunash M. V. New directions in the noise mufflers design of reciprocating internal combustion engines

85 Kitun A. V., Shved I. M., Bondarev S. N., Skorb I. I. Optimization of the equipment selection for manure removal by mechanical stationary means on livestock farms and complexes

94 Krupenin P. Y., Krupenin Y. A. Diagnosis of the milking machine in transient operation modes

100 Mikhailov K. M., Mikhailov M. I. Influence of the cutting drum knives position of a forage harvester on the parameters of its generator

УДК 621.86.07:51-7

К. М. Михайлов,**М. И. Михайлов,** доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», пр-т Октября, 48, 246746 Гомель, Республика Беларусь, +375 (232) 47 91 61, M.I. Mikhailov@gstu.by

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ НОЖЕЙ РЕЖУЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО ОБРАЗУЮЩЕЙ

Разработаны математические модели, устанавливающие связи параметров расположения сменных ножей измельчающего барабана кормоуборочного комбайна с параметрами режущих кромок измельчающего аппарата. Полученные зависимости позволили установить, что наибольшее влияние на изменение радиуса режущей кромки ножа оказывает угол ее наклона.

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн; ножи измельчающего барабана; расположение; параметры режущих кромок.

Рис. 7. Библиогр.: 8 назв.

К. М. Mikhailov,**M. I. Mikhailov,** DSc in Technical Sciences, Professor

Educational Institution "Sukhoi State Technical University of Gomel", 48 October Ave., 246746 Gomel, the Republic of Belarus, +375 (232) 47 91 61, M.I. Mikhailov@gstu.by

INFLUENCE OF THE CUTTING DRUM KNIVES POSITION OF A FORAGE HARVESTER ON THE PARAMETERS OF ITS GENERATOR

Mathematical models that establish the relationship between the parameters of the replaceable knives location of the forage harvester-chopping drum and the cutting edges parameters of the chopping apparatus have been developed. The obtained dependences made it possible to establish that the angle of its inclination has the greatest influence on the change in the cutting edge radius of the knife.

Key words: forage harvester; chopping drum knives; location; cutting edges parameters.

Fig. 7. Ref.: 8 titles.

Введение. Работоспособность измельчающего аппарата в основном зависит от работоспособности режущих ножей барабана и противорежущего бруса [1—8]. Применение различных конструкций барабанов требовало расчетов пространственного расположения площадок под режущие ножи при условии обеспечения соответствующих углов резания. Это привело к разработке математических зависимостей, позволяющих производить пересчет углов из различных плоскостей в главную секущую плоскость [3; 7; 8]. В отличие от заточиваемых ножей барабанов, у сборных конструкций с механическим креплением сменных ножей (далее — СН) необходимая для эффективного резания геометрия получается путем определенного расположения режущей пластины относительно поверхности резания и корпуса барабана [3; 8]. Эта особенность приводит к тому, что невозможно независимо получать геометрические параметры на каком-либо участке лезвия без учета их значений на остальных. Иными словами, при повороте СН в процессе его ориентации в общем случае изменяются все углы лезвия во всех точках режущей кромки. Поэтому для описания геометрии зубьев измельчающих барабанов более приемлем подход, основанный на задании ориента-

ции СН поворотом их в корпусе на соответствующие углы относительно статической системы координат, под которой понимается многими авторами система координат, жестко связанная с точкой режущей кромки СН.

При проектировании измельчающих барабанов с СН решаются две основные задачи: прямая и обратная.

Первая (прямая) задача формулируется следующим образом: задана форма сменных ножей и углы их ориентации в корпусе барабана; необходимо определить форму образующей виртуальной инструментальной поверхности барабана и задние углы ножей в статической системе координат.

Во второй (обратной) задаче задаются форма образующей виртуальной инструментальной поверхности барабана и задние углы ножей в статической системе координат, а требуется рассчитать углы ориентации режущей пластины в корпусе барабана.

В более общем случае эти задачи объединяются: вначале по геометрии главного лезвия и форме СН рассчитываются углы ориентации, а затем для полученных значений углов анализируется геометрия режущих кромок в целях выявления участков с неблагоприятным соотношением задних углов лезвия ножа.

Используются два основных способа ориентации СН в корпусе барабана: 1) по численным значениям фронтального и профильного углов наклона ножа; 2) по положению плоскости наибольшего ската СН и его угла наибольшего наклона.

Рассмотрим общий вид измельчающего барабана кормоуборочного комбайна (рисунок 1, а). Анализ сечений и видов СН позволяет определить углы главной режущей кромки в произвольной точке (рисунок 1, б): γ — главный передний угол (угол в поперечной секущей плоскости, заключенный между основной плоскостью перпендикулярной вектору скорости резания и касательной к передней поверхности ножа); λ — угол наклона режущей кромки (угол в плоскости резания заключенный между касательной к режущей кромке и основной плоскостью); α — главный задний угол (угол в поперечной секущей плоскости, заключенный между плоскостью резания проходящей по касательной к режущей кромке и содержащей вектор скорости резания и касательной к задней поверхности); β — главный угол заострения (угол в поперечной секущей плоскости, заключенный между плоскостями касательными к передней и задней поверхностям ножа).

Рассмотрим несколько примеров моделирования виртуальных инструментальных поверхностей, образующая которых формируется из сменных пластин.

Случай 1. Передняя поверхность ножа не совпадает с основной плоскостью режущего барабана. Выбирается местная система координат XYZ , в которой расположен профиль ножа без искажения (рисунок 2).

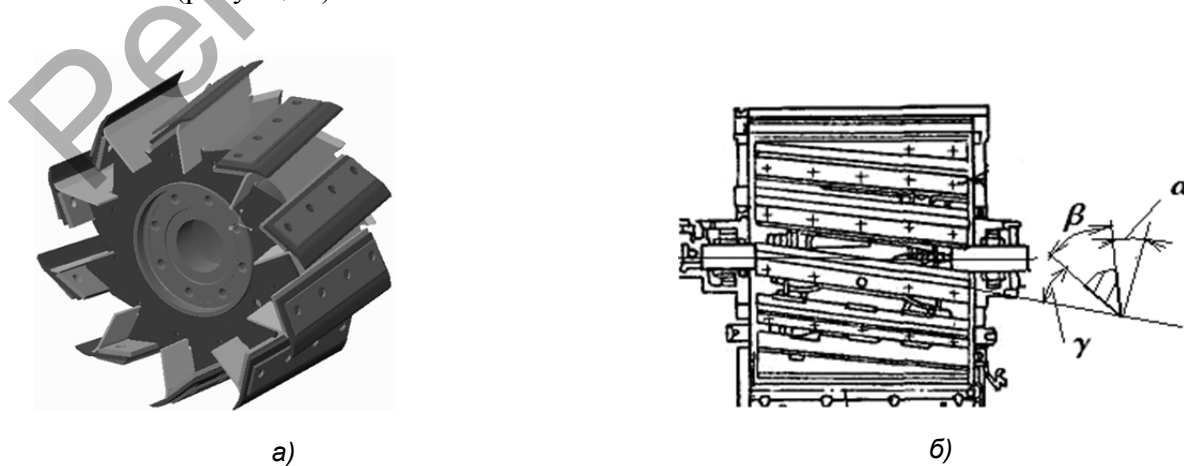


Рисунок 1. — Общий вид измельчающего барабана кормоуборочного комбайна (а), углы режущего лезвия (б)

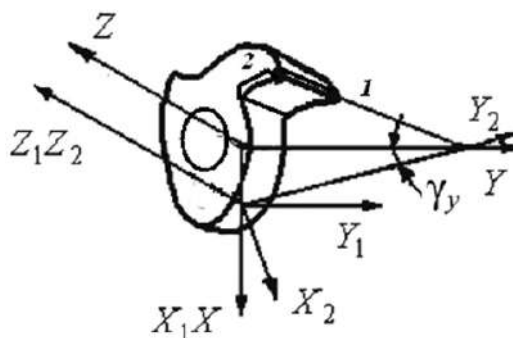


Рисунок 2. — Эскиз рабочей части барабана с призматическим режущим элементом с $\gamma_y \neq 0$, $\lambda = 0$

В системе координат XYZ уравнение режущей кромки имеет следующий вид:

$$Z = \frac{l}{\delta_y} Y - \frac{l}{\delta_y} Y(1) + Z(1), \quad (1)$$

где Z, Y — текущие координаты режущей кромки ножа;
 l — длина режущей кромки сменного ножа;
 δ_y — погрешность расположения режущей кромки ножа относительно оси инструмента;
 $Y(1), Z(1)$ — координаты расположения точки 1 ножа.

Как видно из рисунка 2, уравнения преобразования координат XYZ в $X_2Y_2Z_2$ имеют вид:

$$Y = Y_2 \cos \gamma_{yi}; \quad X = X_2 = 0; \quad Z = Z_2. \quad (2)$$

По данным рисунка 2,

$$\cos \gamma_{yi} = \sqrt{1 - Y_2^2(1) \sin^2 \gamma_y} / Y_2^2, \quad Y_2(1) \equiv R. \quad (3)$$

Подставив соотношения (2) и (3) в уравнение (1), получаем уравнение, отражающее радиусы режущего барабана в основной плоскости:

$$R_i = \sqrt{\frac{\delta_y^2}{l^2} [Z_{2i}^2 + 2Z_{2i} (\frac{l}{\delta_y} Y(1) - l_1)] + [Y(1)^2 - 2l_1 Y(1) \frac{\delta_y}{l} + l_1^2 \frac{\delta_y^2}{l^2}] + R^2 \sin^2 \gamma_y},$$

где R — максимальный радиус инструмента;

γ_y — поперечный передний угол ножа в точке кромки с радиусом R ;

l_1 — расстояние от торца режущего аппарата до точки 1 режущей кромки ножа.

Результаты расчетов по полученной зависимости представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, наибольшее влияние на изменение радиуса оказывает погрешность расположения режущей кромки ножа. Так, с увеличением погрешности расположения режущей кромки ножа от 0,2 до 1,0 мм при $\gamma_y = 10^0$ радиус режущей кромки ножа в крайней (конечной) его точке 2 (см. рисунок 2) увеличивается в 24,8 раза, а с увеличением переднего угла в два раза, при погрешности расположения режущей кромки ножа 1 мм численное значение радиуса режущей кромки ножа в крайней его точке уменьшилось в 5,22 раза (см. рисунок 3, б).

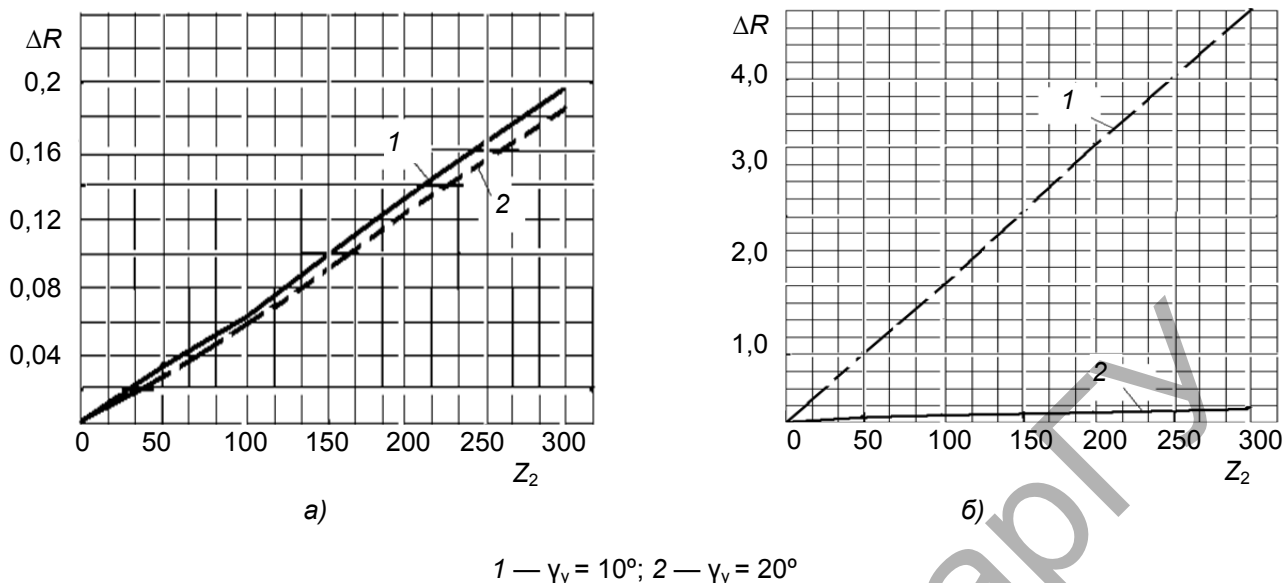


Рисунок 3. — График изменения радиуса режущей кромки ножа при $\delta_y = 0,2$ мм (а) и $\delta_y = 1$ мм (б)

Случай 2. Режущая пластина повернута относительно оси режущего барабана на угол λ (рисунок 4). Если в системе координат XYZ уравнение режущей кромки имеет вид:

$$Z = \frac{l}{\delta_y} Y - \frac{l}{\delta_y} Y(1) + Z(1), \tag{4}$$

то эта кромка в основной плоскости преобразуется в кривую второго порядка (рисунок 4).

Уравнение преобразования системы XYZ в систему $X_2 Y_2 Z_2$ имеют вид:

$$Y = Y_2 \sqrt{1 - (Z_2^2 / Y^2) \operatorname{tg}^2 \lambda}; \quad X = X_2 = 0; \quad Z = Z_2 / \cos \lambda. \tag{5}$$

Подставив соотношения (5) в уравнение (4), получили уравнение, отражающее радиусы режущего барабана в основной плоскости:

$$R_i = \sqrt{\frac{l^2 \sin^2 \lambda + \delta_y^2}{l^2 \cos^2 \lambda} Z_{2i}^2 + 2Z_{2i} \frac{\delta_y}{l \cos \lambda} (Y(1) - \frac{\delta_y}{l}) + (Y(1) - Z(1) \frac{\delta_y}{l})^2}.$$

Результаты расчетов по полученной зависимости представлены на рисунке 5.

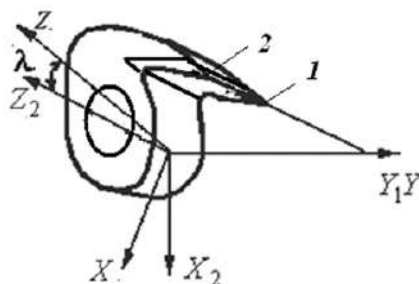


Рисунок 4. — Эскиз рабочей части барабана с призматическим режущим элементом при $\lambda \neq 0$

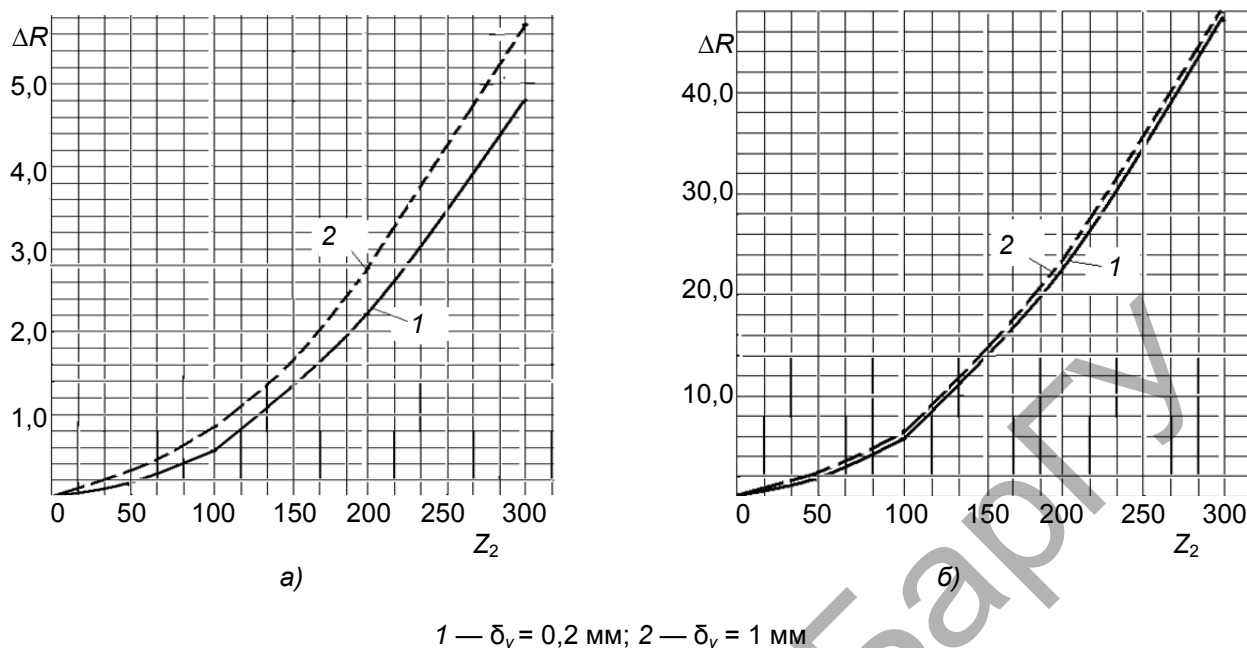


Рисунок 5. — График изменения радиуса режущей кромки ножа при $\lambda = 10^\circ$ (а) и $\lambda = 30^\circ$ (б)

Анализ результатов на рисунке 5 позволяет заключить, что наибольшее влияние на численное значение радиуса режущей кромки ножа оказывает угол наклона режущей кромки. Так, при увеличении в три раза угла наклона режущей кромки с $\lambda = 10^\circ$ до $\lambda = 30^\circ$ при погрешности расположения режущей кромки ножа $\delta_y = 0,2$ мм численное значение радиуса режущей кромки ножа в крайней его точке увеличивается в 9,7 раза, а с увеличением погрешности расположения режущей кромки ножа от 0,2 до 1,0 мм при $\lambda = 10^\circ$ численное значение радиуса режущей кромки ножа в крайней его точке увеличивается в 1,16 раза.

Случай 3. Режущая пластина составляет угол γ_y с основной плоскостью в точке кромки с максимальным радиусом барабана R и, кроме того, повернута относительно оси барабана на угол λ (рисунок 6).

В случае прямой режущей кромки, которую можно описать в системе XYZ в виде (1), она преобразуется в системе $X_2 Y_2 Z_2$ в кривую второго порядка.

Уравнения преобразования системы XYZ в систему $X_2 Y_2 Z_2$ имеют вид:

$$Y = \sqrt{Y_2^2 - (Y_2 (1) \sin \gamma_y + Z_2 \operatorname{tg} \lambda)^2}; \quad X_2 = X = 0; \quad Z = Z_2 / \cos \lambda. \quad (6)$$

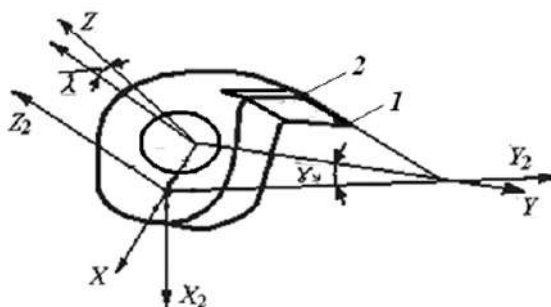
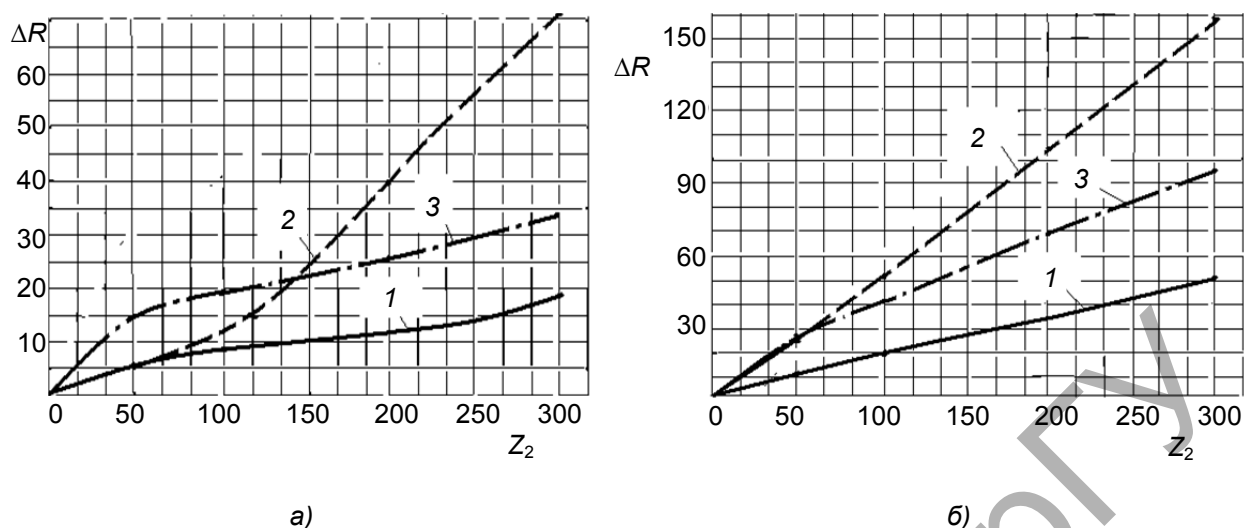


Рисунок 6. — Эскиз рабочей части барабана с призматическим режущим элементом $\gamma \neq 0$, $\lambda \neq 0$



1 — $\lambda = 10^\circ, \gamma_y = 10^\circ$; 2 — $\lambda = 30^\circ, \gamma_y = 10^\circ$; 3 — $\lambda = 10^\circ, \gamma_y = 20^\circ$

Рисунок 7. — График изменения радиуса режущей кромки ножа при $\delta_y = 0,2$ мм (а) и $\delta_y = 1$ мм (б)

Подставив соотношения (6) в уравнение (1), получили уравнение, отражающее радиусы режущего барабана в основной плоскости:

$$R_i = \left(\frac{l^2 \sin^2 \lambda + \delta_y^2}{l^2 \cos^2 \lambda} Z_{2i}^2 + 2Z_{2i} \frac{\delta_y}{l \cos \lambda} (Y(1) - \frac{\delta_y}{l} Z(1) + R \frac{l}{\delta_y} \sin \lambda \sin \gamma_y) + R^2 \sin^2 \gamma_y + Y(1)^2 - 2Z(1)Y(1) \frac{\delta_y}{l} + \frac{\delta_y^2}{l^2} Z(1)^2 \right)^{0.5}.$$

Так, для ножей с режущей кромкой, длина которой равна 300 мм, а угол установки под $\lambda = 10^\circ$, изменение радиуса кромки барабана приведено на рисунке 7.

Анализ графиков на рисунке 7 позволяет заключить, что наибольшее влияние на численное значение радиуса режущей кромки ножа оказывает угол наклона режущей кромки. Так, при увеличении в 3 раза угла наклона режущей кромки с $\lambda = 10^\circ$ до $\lambda = 30^\circ$ при погрешности расположения режущей кромки ножа $\delta_y = 0,2$ мм численное значение радиуса режущей кромки ножа в крайней его точке увеличивается в 4 раза.

Заключение. Получены выражения, которые позволяют определить параметры виртуальной образующей барабана с учетом погрешностей установки ножей, их размеров и расположения в корпусе барабана. Установлено, что наибольшее влияние на численное значение изменения радиуса режущей кромки ножа оказывает угол наклона режущей кромки.

Список цитированных источников

1. Тюрин, С. А. Эксплуатационные испытания ножей кормоуборочных комбайнов и их результаты / С. А. Тюрин // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. — Минск : ОИМ, 2021. — Вып. 10. — С. 13—16.
2. Власов, П. А. Надежность сельскохозяйственной техники / П. А. Власов. — Пенза : РИО ПГСХА, 2001. — 124 с.
3. Резник, Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. — М. : Машиностроение, 1980. — 375 с.

4. Щербаков, С. С. Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость трибофатической системы «прижим — нож — опора» режущего инструмента комбайна / С. С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 2 (19). — С. 75—80.
5. Оценка стойкости ножей питающе-измельчающих аппаратов сельскохозяйственных комбайнов: теория, стендовые и полевые испытания / А. А. Новиков [и др.] // Вести БелГУТа: наука и транспорт. — 2016. — № 1 (32). — С. 201—208.
6. Михайлов, К. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния опоры измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / К. М. Михайлов, М. И. Михайлов // Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки». — 2018. — Вып. 4. — С. 77—84.
7. Резник, Н. Е. Силосоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. — М. : Машиностроение. — 448 с.
8. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е. С. Босой [и др.]. — М. : Машиностроение, 1978. — 568 с.

Поступила в редакцию 08.09.2022.

Репозиторий БарГУ