

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).

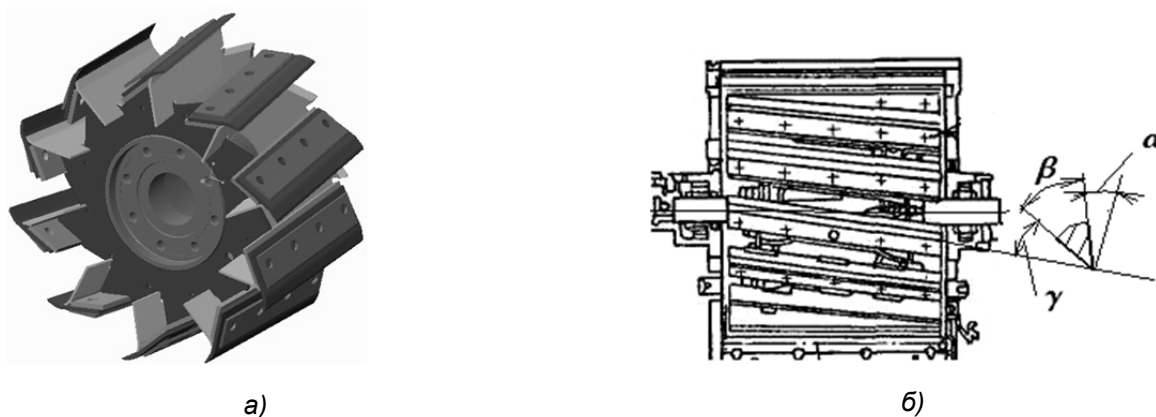


Рисунок 1. — Общий вид измельчающего барабана кормоуборочного комбайна (а), углы режущего лезвия (б)

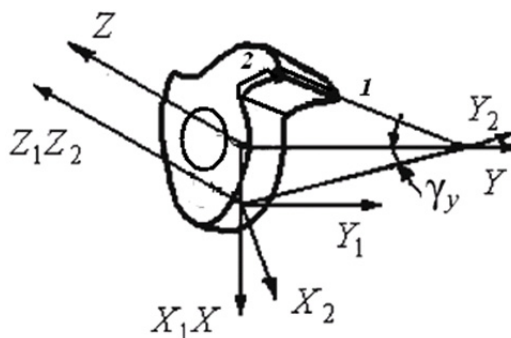


Рисунок 2. — Эскиз рабочей части барабана с призматическим режущим элементом с $\gamma_y \neq 0$, $\lambda = 0$

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).

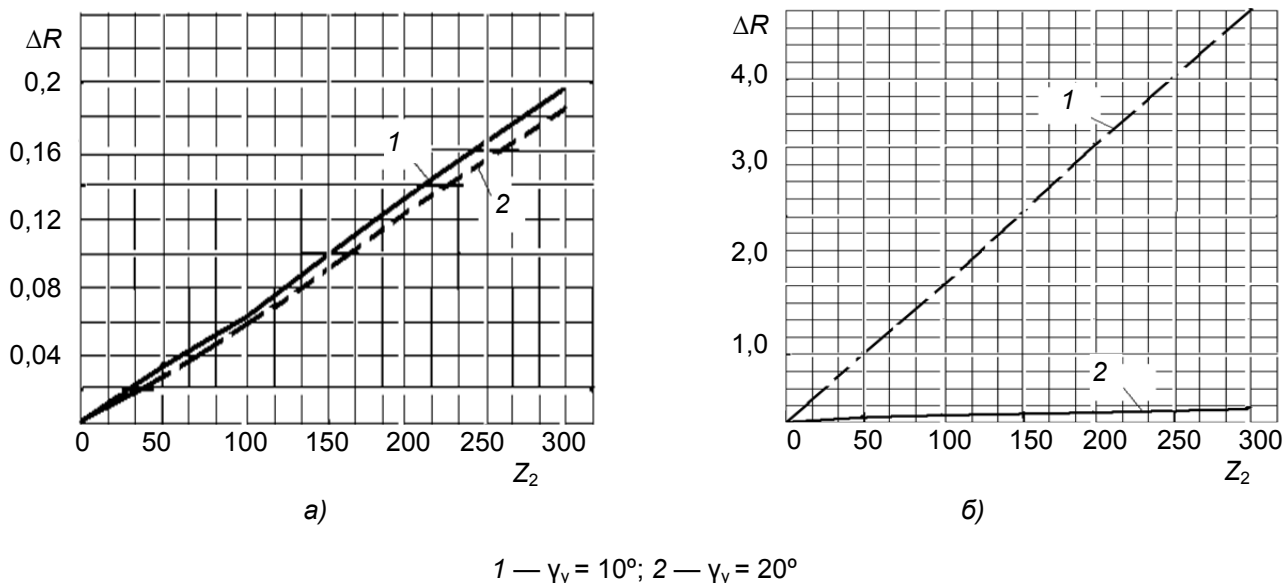


Рисунок 3. — График изменения радиуса режущей кромки ножа при $\delta_y = 0,2$ мм (а) и $\delta_y = 1$ мм (б)

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.

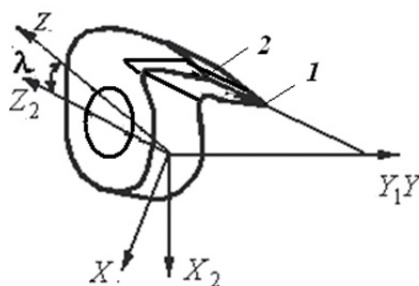


Рисунок 4. — Эскиз рабочей части барабана с призматическим режущим элементом при $\lambda \neq 0$

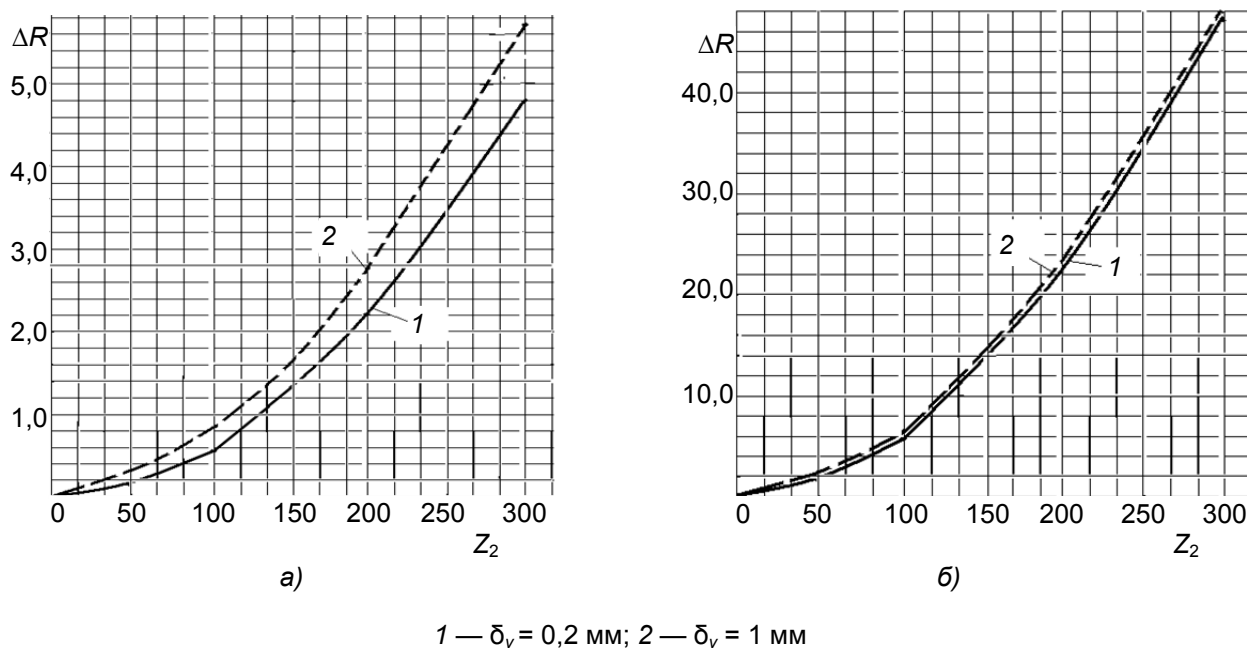


Рисунок 5. — График изменения радиуса режущей кромки ножа при $\lambda = 10^\circ$ (а) и $\lambda = 30^\circ$ (б)

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:

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

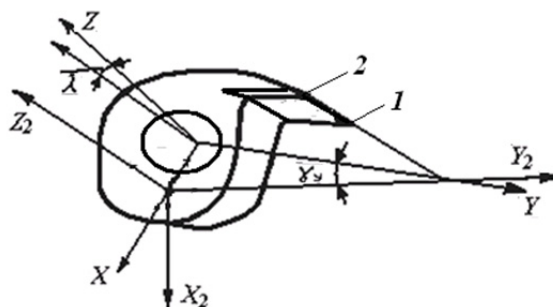
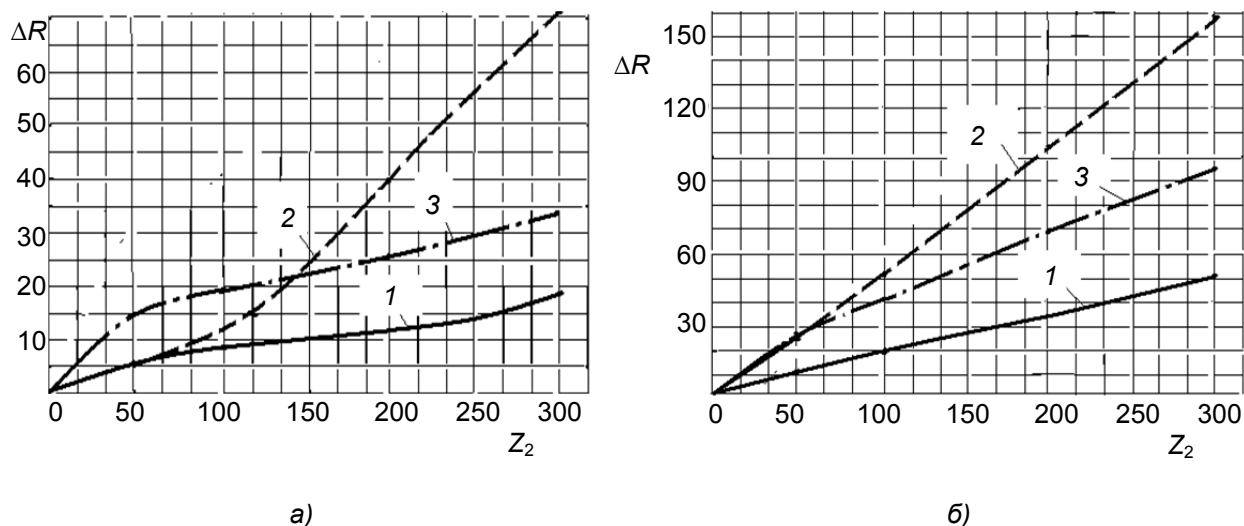


Рисунок 6. — Эскиз рабочей части барабана с призматическим режущим элементом $\gamma \neq 0, \lambda \neq 0$



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.