

УДК 621.86.07:51-7

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ НОЖЕЙ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПАРАМЕТРЫ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

К. М. МИХАЙЛОВ

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», г. Минск

М. И. МИХАЙЛОВ

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Разработаны математические модели, устанавливающие связи параметров расположения сменных ножей измельчающего барабана кормоуборочного комбайна с параметрами режущих кромок измельчающего аппарата. Исследовано влияние расположения ножей измельчающего барабана кормоуборочного комбайна на их работоспособность.

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн, ножи измельчающего барабана, расположение, параметры режущих кромок, работоспособность измельчающего аппарата.

INFLUENCE OF THE LOCATION OF THE BLADES OF THE GRINDING DRUM OF THE FORAGE HARVESTER ON THE PARAMETERS OF THEIR OPERABILITY

K. M. MIKHAILOV

The State Scientific Institution “The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk

M. I. MIKHAILOV

Educational Institution “Sukhoi State Technical University of Gomel”, the Republic of Belarus

Mathematical models have been developed to establish the relationship between the parameters of the location of replaceable knives of the grinding drum of the forage harvester and the parameters of the cutting edges of the grinding apparatus. The authors studied the influence of the location of the blades of the grinding drum of the forage harvester on their performance.

Keywords: forage harvester, knives of grinding drum, location, parameters of cutting edges, efficiency of grinding apparatus.

Введение

Работоспособность измельчающего аппарата в основном зависит от работоспособности режущих ножей барабана и противорежущего бруса [1–13]. Применение различных конструкций барабанов требовало расчетов пространственного расположения площадок под режущие ножи, при условии обеспечения соответствующих уг-

лов резания. Это привело к разработке математических зависимостей, позволяющих производить пересчет углов из различных плоскостей в главную секущую плоскость [3, 8, 9, 12]. В отличие от затачиваемых ножей барабанов, у сборных конструкций с механическим креплением сменных ножей (СН) необходимая для эффективного резания геометрия получается путем определенного расположения режущей пластины относительно поверхности резания и корпуса барабана [3, 9]. 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 ориентации СН поворотом их в корпусе на соответствующие углы относительно статической системы координат, под которой понимается многими авторами система координат, жестко связанная со СН.

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

Первая (прямая) задача формулируется следующим образом: задана форма СН 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, а именно: вначале по геометрии главного лезвия и форме СН рассчитываются углы ориентации, а затем для полученных значений углов анализируется геометрия режущих кромок с целью выявления участков с неблагоприятным соотношением задних углов лезвия ножа.

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

Анализ сечений и видов СН позволяет определить углы главной режущей кромки в произвольной точке: γ_y – 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).

Цель работы – установление влияния расположения ножей измельчающего барабана кормоуборочного комбайна на параметры их работоспособности.

Методика исследований

Для определения влияния формы, размеров и расположения СН на параметры лезвия барабана использовался метод координатных систем. При этом в произвольной точке ножа помещается исходная система координат, а с осью барабана связывается конечная система координат. Связи между системами координат устанавливаются с использованием матриц преобразования (см. таблицу).

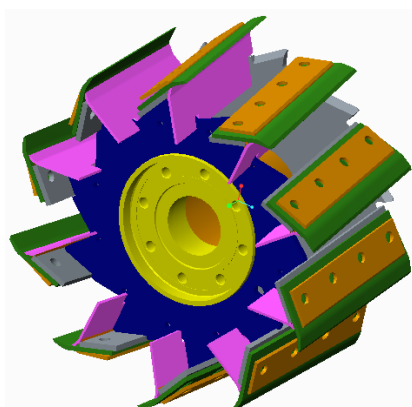
Матрицы преобразования систем координат

| Вид движения | X | Y | Z |
|--------------|--|--|---|
| Перемещение | $[A_1(X)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $[A_2(Y)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $[A_3(Z)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Поворот | $[A_4(\varphi)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos & \sin & 0 \\ 0 & -\sin & \cos & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $[A_5(\varphi)] = \begin{bmatrix} \cos & 0 & -\sin & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin & 0 & \cos & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $[A_6(\gamma)] = \begin{bmatrix} \cos & \sin & 0 & 0 \\ -\sin & \cos & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ |

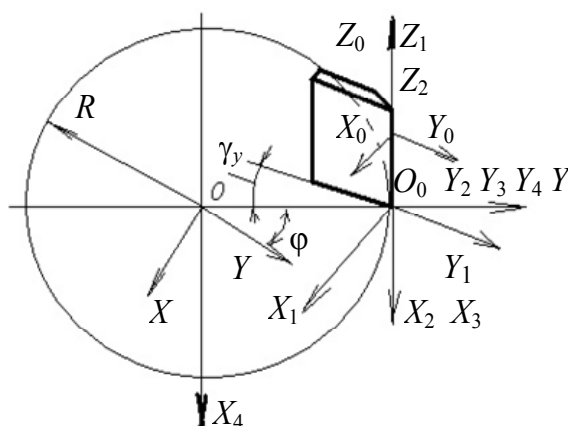
В результате формируется выражение, позволяющее определять радиусы режущих кромок барабана.

Основная часть

Расчетная схема режущего барабана измельчающего аппарата представлена на рис. 1. Начало исходной системы координат было выбрано на режущей кромке, при этом ось координат O_0Z_0 была направлена вдоль нее. Ось O_0Y_0 располагалась в плоскости передней поверхности. Ось O_0X_0 дополняла систему координат $Z_0X_0Y_0$ до правой тройки векторов. Все последующие системы координат отражали последовательные перемещения вдоль осей и повороты вокруг них до совмещения начала последней системы координат ZXY с осью барабана в крайней точке кромки ножа.



a)



b)

Рис. 1. Общий вид (a) и расчетная схема (б)

Радиусы-векторы точек режущей кромки ножа определялись по выражению (1), которое отражало переходы из системы ZXY в систему $Z_0X_0Y_0$:

$$\bar{r}_0 = [A_6(\varphi)][A_2(Y)][A_3(\lambda)][A_6(\gamma)][A_3(Z)] [e], \quad (1)$$

где \bar{r} – радиус-вектор рассматриваемой точки режущей кромки. Составляющие выражения (1) соответствуют таблице.

Подставив в выражение (1) их матричные соотношения, получили:

$$\bar{r}_0 = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \lambda & 0 & \sin \lambda & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \lambda & 0 & \cos \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma_y & -\sin \gamma_y & 0 & 0 \\ \sin \gamma_y & \cos \gamma_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \\ \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

После соответствующих преобразований результирующее выражение имеет вид:

$$\bar{r}_0 = \begin{bmatrix} (c(\varphi)c(\lambda)c(\gamma_y) - s(\varphi)s(\gamma_y)) & (-c(\varphi)c(\lambda)s(\gamma_y) - s(\varphi)c(\gamma_y)) & c(\varphi)s(\lambda) & -Zc(\varphi)s(\lambda) + Ys(\varphi) \\ (c(\lambda)c(\gamma_y)s(\varphi) + s(\gamma_y)c(\varphi)) & (-c(\lambda)s(\gamma_y)s(\varphi) + c(\gamma_y)c(\varphi)) & s(\lambda)s(\varphi) & -Zs(\varphi)s(\lambda) - Yc(\varphi) \\ -c(\gamma_y)s(\lambda) & s(\lambda)s(\gamma_y) & c(\lambda) & -Zc(\lambda) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $c(\varphi)$, $s(\varphi)$ – соответственно косинусы и синусы углов.

Используя полученное выражение, определялось положение и расположение системы координат $Z_0X_0Y_0$ в системе ZXY .

Параметры радиуса-вектора режущей кромки барабана определялись из выражения

$$\bar{r}_0 = \begin{bmatrix} -Z \cos \varphi \cdot \sin \lambda + Y \sin \varphi \\ -Z \sin \varphi \cdot \sin \lambda - Y \cos \varphi \\ -Z \cos \lambda \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Радиус-вектор в любом поперечном сечении барабана определялся по выражению

$$R_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}. \quad (4)$$

Подставив в выражения (3) и (4) соответствующие координаты точек кромок ножей, получили радиусы-векторы барабана в этих точках.

Так, для ножей с режущей кромкой, длина которой равнялась 350 мм, установленных под углом $\lambda = 10^\circ$, изменение радиуса кромки барабана приведено на рис. 2. Форма образующей виртуальной инструментальной поверхности барабана, на котором вдоль оси установлены два ножа, приведена на рис. 3.

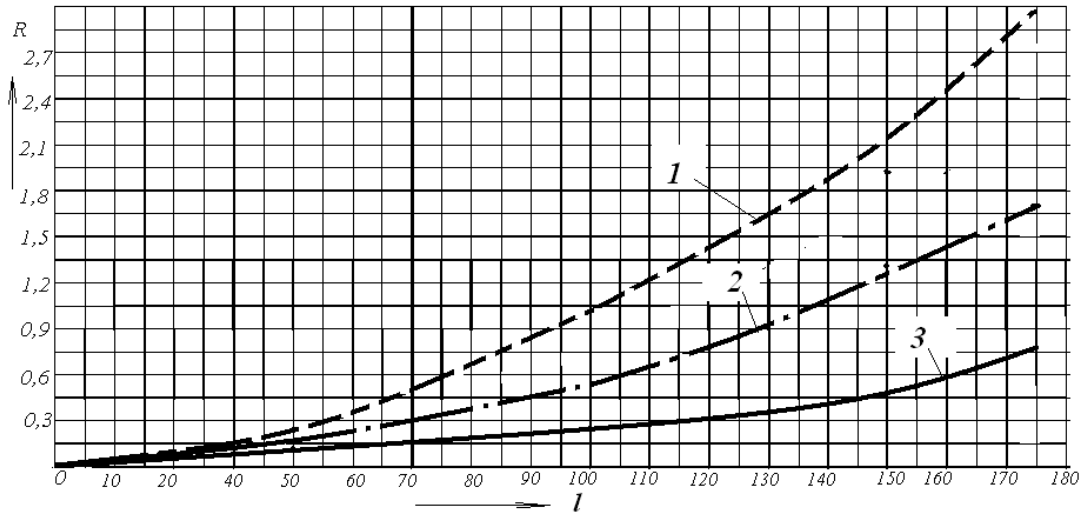


Рис. 2. График изменения радиуса режущей кромки ножа:
 $1 - \lambda = 20^\circ$; $2 - \lambda = 15^\circ$; $3 - \lambda = 10^\circ$

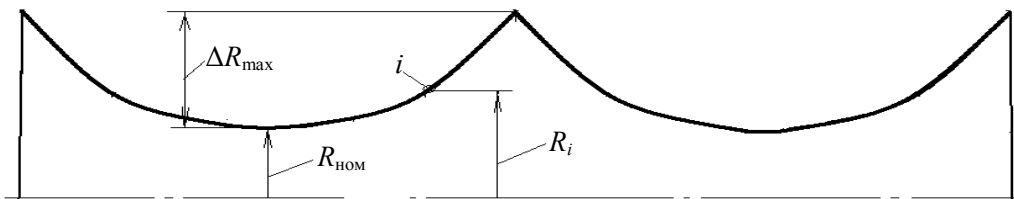


Рис. 3. Форма образующей виртуальной инструментальной поверхности

Анализ рис. 2 и 3 позволяет заключить, что при установке ножей с номинальным диаметром по центру ножа (рис. 4, а), изменение радиуса ΔR при изменении угла λ в соотношении $1 : 1,5 : 2,0$ будет $1 : 2,22 : 3,87$. Использование ножей в соотношении размеров длины $1 : 2 : 3 : 3,5$ приводит к росту погрешностей при $\lambda = 20^\circ$ $1 : 4 : 8,97 : 12,27$ раза.

В процессе наладки барабана ножи после нанесения износостойкого покрытия на передние поверхности закрепляются, при этом номинальный диаметр устанавливается по центру ножа. Затем с помощью заточного устройства производится окончательная заточка ножей по задней поверхности, что приводит к изменению задних углов. На рис. 4, б приведен график изменения задних углов вдоль кромки ножа режущего барабана при условии его установки относительно оси симметрично.

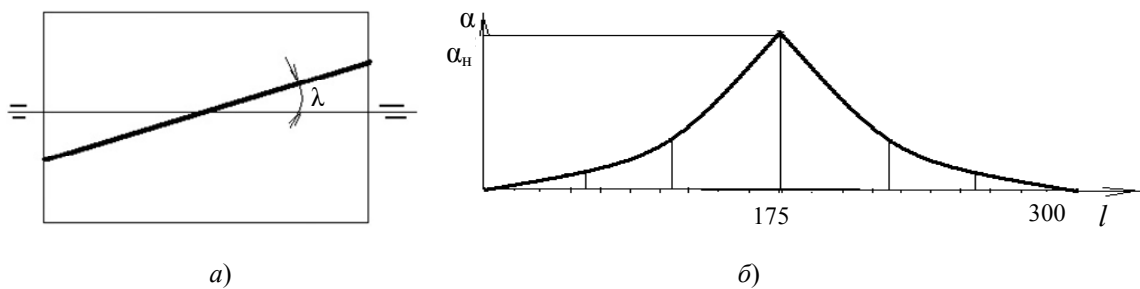


Рис. 4. График изменения задних углов вдоль кромки ножа режущего барабана

Заключение

Установлено, что при установке ножей с номинальным диаметром по центру ножа, изменение радиуса ΔR при изменении угла λ в соотношении 1 : 1,5 : 2,0 будет 1 : 2,22 : 3,87. Использование ножей в соотношении размеров длины 1 : 2 : 3 : 3,5 приводит к росту погрешностей при $\lambda = 20^\circ$ 1 : 4 : 8,97 : 12,27 раза. Полученные результаты позволяют оптимизировать конструкции измельчающего аппарата кормоуборочных комбайнов.

Литература

1. Тюрин, С. А. Эксплуатационные испытания ножей кормоуборочных комбайнов и их результаты / С. А. Тюрин // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – Минск, 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. Псырков, Н. В. Опыт внедрения специального чугуна марки ВЧТГ для изготовления ножей режущих барабана кормоуборочной техники / Н. В. Псырков, А. А. Квитанов, В. О. Замятин // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 2. – С. 388–390.
7. Михайлов, К. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния опоры измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / К. М. Михайлов, М. И. Михайлов // Вестн. БарГУ. – 2018. – Вып. 4. – С. 77–84.
8. Резник, Н. Е. Силосоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1964. – 448 с.
9. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е. С. Босой [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – 568 с.
10. Ермолов, Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники / Л. С. Ермолов, В. М. Кряжнов, В. Е. Черкун. – М. : Колос, 1974. – 224 с.
11. Долгов, И. А. Динамическая нагруженность измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна / И. А. Долгов, В. А. Дьяченко, А. И. Стефанович // Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства : межвуз. сб. / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1986. – С. 91–10.
12. Афанасьев, Н. И. Жатвенные механизмы кормоуборочных машин / Н. И. Афанасьев, В. А. Дьяченко, Э. Л. Сорокин. – Минск : Ураджай, 1983. – 136 с.
13. Псырков, Н. В. К анализу напряженно-деформированного состояния и поврежденности трибофатической системы режущего аппарата сельскохозяйственной техники / Н. В. Псырков, С. С. Щербаков // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 1. – С. 263–267.

References

1. Tyurin S. A. Operational tests of forage harvester knives and their results. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. trudov* [Topical issues of mechanical engineering. Collection of scientific papers]. Minsk, 2021, iss. 10, pp. 13–16 (in Russian).
2. Vlasov P. A. *Reliability of agricultural machinery*. Penza, RIO PGSKhA Publ., 2001. 124 p. (in Russian).
3. Reznik N. E. *Forage harvesters*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 375 p. (in Russian).
4. Sherbakov S. S. Stress-strain state and damage of the tribo-fatigue system “clamp – knife – support” of the cutting tool of the combine. *Mehanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2012, no. 2 (19), pp. 75–80 (in Russian).
5. Novikov A. A., Komissarov V. V., Zamyatnin V. O., Drobyshevskii P. S., Sherbakov S. S., Sosnovskii L. A. Evaluation of the resistance of knives of feeder-chopping apparatus of agricultural combines: theory, bench and field tests. *Vesti BelGUTA: nauka i transport*, 2016, no. 1 (32), pp. 201–208 (in Russian).
6. Psyrkov N. V., Kvitanov A. A., Zamyatnin V. O. Experience in the introduction of special cast iron grade VCTG for the manufacture of knives for cutting the drum of forage harvesting equipment. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. trudov* [Topical issues of mechanical engineering. Collection of scientific papers]. Minsk, 2013, iss. 2, pp. 388–390 (in Russian).
7. Mihajlov K. M., Mihajlov M. I. Simulation of the stress-strain state of the support of the chopping drum of a forage harvester. *Vestnik BarGU. Serija Tekhnicheskie nauki: ezhekvartal'nyi nauchno-prakticheskii zhurnal*, 2018, iss. 4, pp. 77–84 (in Russian).
8. Reznik N. E. *Forage harvesters*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1964. 448 p. (in Russian).
9. Bosoj E. S., Vernyaev O. V., Smirnov I. I., Sultan-Shakh E. G. *Theory, design and calculation of agricultural machines*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 568 p. (in Russian).
10. Ermolov L. S., Kryazhnov V. M., Cherkun V. E. *Fundamentals of reliability of agricultural machinery*. Moscow, Kolos Publ., 1974. 224 p. (in Russian).
11. Dolgov I. A., D'yachenko V. A., Stefanovich A. I. Dynamic loading of the chopping apparatus of a forage harvester. *Kompleksnaya mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: mezhvuz. sb.* [Complex mechanization and automation of agricultural production: interuniversity. Sat.]. Rostov-on-Don, 1986, pp. 91–97 (in Russian).
12. Afanas'ev N. I., D'yachenko V. A., Sorokin E. L. *Harvesting mechanisms of forage harvesters*. Minsk, Uradzhai, 1983. 136 p. (in Russian).
13. Psyrkov N. V., Shcherbakov S. S. To the analysis of the stress-strain state and damage of the tribo-fatigue system of the cutting apparatus of agricultural machinery. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. trudov* [Topical issues of mechanical engineering. Collection of scientific papers]. Minsk, 2012, iss. 1, pp. 263–267 (in Russian).