

Литература

1. Резник, Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
2. Особов, В. И. Механическая технология кормов / В. И. Особов. – Москва: Колос, 2009. – 344 с.
3. Козлов, В. М. Оптимизация процесса транспортирования измельченной массы в роторном кормоуборочном комбайне: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. М. Козлов. – Тула, 2005. – 139 л.
4. Марьина, А. А. Повышение эффективности процесса загрузки транспортных средств кормоуборочным комбайном путем оптимизации конструктивно-режимных параметров дефлектора: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. А. Марьина. – Саратов, 2007. – 210 с.
5. Компьютерное моделирование аэродинамических процессов в транспортирующих органах кормоуборочных комбайнов / А. М. Крот [и др.] // Информатика. – 2006. – № 3. – С. 80–90.
6. Нигматулин, Р. И. Динамика многофазных сред. В 2 ч. Ч. 1 / Р. И. Нигматулин. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
7. Василенко, П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко; под ред. акад. УАСХН М. И. Медведева. – Киев: Изд-во УАСХН, 1960. – 283 с.
8. Гусак, А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак. – Минск: Навука и тэхніка, 1991. – 480 с.
9. Вараксин, А. Ю. Столкновения в потоках газа с твердыми частицами / А. Ю. Вараксин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 312 с.
10. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров: учеб. пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченкова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.
11. Калиткин, Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 512 с.
12. Программный комплекс «Konservant-Silosoprovod»: свидетельство о регистрации компьютерной программы № 418 / А. В. Кузьмицкий, П. В. Авраменко, Г. Ф. Громыко, А. Н. Вырский, О. В. Рыхлицкий; заявитель УО «БГАТУ». – № С20120015; заявл. 02.04.2012; дата регистр. 10.05.2012 // Реестр зарегистрированных компьютерных программ / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012.

УДК 631.352.022/353.722

Поступила в редакцию 13.07.2018
Received 13.07.2018

Н. Г. Бакач, И. Е. Мажугин, С. П. Кострома

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: labmkr@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НОЖЕЙ ОТ РАДИАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА РАБОТУ РОТОРНЫХ КОСИЛОК

В статье обоснована необходимость учета влияния отклонения ножей от радиального положения на работу роторной косилки. Теоретически установлено, что увеличение массы, угловой скорости, расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа, а также увеличение угла отклонения ножа и подачи на нож увеличивают его силовое воздействие на срезаемую и измельчаемую растительность. Отклонение ножа от радиального положения на 90° следует считать предельным.

Для увеличения силы воздействия при прочих равных параметрах необходимо стремиться к возможному уменьшению кинематического радиуса несущей части ротора.

Ключевые слова: роторная косилка, теоретический анализ, колебания ножей, лугопастбищные угодья.

N. G. Bakach, I. E. Mazhuhin, S. P. Kostroma

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: labmkr@yandex.ru*

INFLUENCE OF KNIVES DIVERGE FROM RADIAL PROVISIONS FOR WORK OF ROTARY MOWERS

In the article the relevance of the need to consider the impact of deviations from the radial position of the blades to work the rotary mower. Theoretically established that the increase in mass, angular velocity, distance from the center of mounting knife to the center of mass of the knife, as well as increasing the deflection angle of the knife and the knife to increase the supply of its force on the cut and ground vegetation. Deviation from the radial position of the blade 90° should be regarded as limiting.

To increase the force of impact with the other parameters being equal should strive for a possible reduction of the kinematic radius of the rotor bearing.

Keywords: rotary mower, theoretical analysis, fluctuations of knives, grasslands.

Введение

Одним из способов повышения продуктивности лугопастбищных угодий является их мульчирование скошенной и измельченной травяной массой, которая впоследствии разлагается, переходя в объем почвы, подавляя рост сорной растительности и повышая урожайность трав.

Для обеспечения данного технологического процесса косилки должны иметь высокую окружную скорость роторов и большие, по сравнению с другими типами, размеры и массу ножей. В этом случае особую актуальность приобретает необходимость рассмотрения процессов динамики режущего аппарата на качество работы косилки.

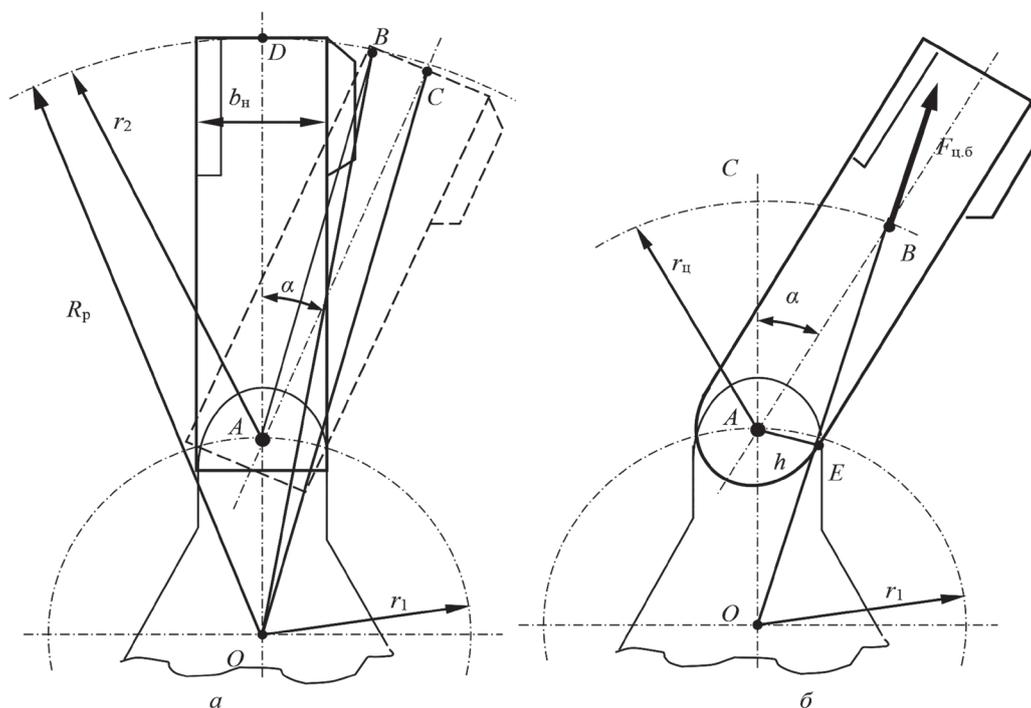
Теоретическое изучение работы ротационных косилок, у которых ротор представляет собой диск с жестко прикрепленными к нему сегментными ножами, было начато еще в начале XX века. Трудом, обобщающим данные исследования, можно считать собрание сочинений В. П. Горячкина [1]. Впоследствии В. Н. Кондратьев глубоко теоретически и экспериментально изучал процессы измельчения растительности барабанными косилками-измельчителями [2], в основном применительно к мелиоративным системам. Изучением данной проблемы также занимались Е. О. Сухарев [3], Н. Е. Резник [4], В. М. Мартынов [5] и другие [6–10].

Однако проведенный анализ показал, что все эти исследования не учитывают особенностей конструкции и условий работы лугопастбищной роторной косилки.

Так, в процессе работы косилки на нож действуют силы сопротивления, создающие момент, под действием которого нож отклоняется назад от радиального положения, что ведет к изменению условий срезания растительности. В связи с этим необходимо проанализировать влияние отклонения ножа и его параметров на силу воздействия на срезаемую растительность.

Основная часть

Ножи косилок имеют разнообразную форму, но в большинстве своем представляют форму прямоугольника. Расчетная схема ножа такой формы показана на рисунке 1а.



R_p – конструктивный радиус ротора, равный половине его диаметра по концам ножей; r_1 – радиус, соответствующий окружности центров крепления; r_2 – радиус концов ножей относительно центра крепления; b_n – расчетная ширина ножей; α – угол отклонения ножа от радиального положения

Рисунок 1. – Расчетные схемы: (а) к обоснованию величины угла отклонения ножа; (б) к расчету момента, возвращающего нож в радиальное положение

В соответствии с рисунком 1 при отклонении ножа от радиального положения в начале отклонения значение R_p возрастает, затем уменьшается. Положение, показанное штриховой линией и соответствующее углу α , можно назвать критическим, поскольку дальнейшее увеличение α приведет к уменьшению реального значения R_p и, соответственно, D_p . Для этого определим критические значения угла α . Согласно рисунку 1а, критическое значение угла α , или угол DAC , равен сумме углов DAB и BAC , где $OA = r_1$, $AD = r_2$, $OD = OB = R_p$.

Угол BAC можно выразить из треугольника ABC через параметры ротора, таким образом:

$$\angle BAC = \arctg\left(\frac{BC}{AC}\right) = \arctg\left(\frac{b_n}{2r_2}\right). \quad (1)$$

На основании теоремы косинусов для треугольника OAB :

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 - 2OA \cdot AB \cos(\angle BAO), \quad (2)$$

или, с учетом того что $\angle BAO = 180 - (\angle DAC)$, уравнение (2) можно привести к следующему виду:

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 + 2OA \cdot AB \cos(\angle BAD). \quad (3)$$

Из треугольника ABC получим:

$$AB = \sqrt{r_2^2 + \left(\frac{b_n^2}{4}\right)}. \quad (4)$$

Тогда из уравнения (1), с учетом принятых обозначений, получим:

$$\angle BAD = \arccos\left(\frac{(R_p^2 - r_1^2 - \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)})}{(2r_1\sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)})}\right). \quad (5)$$

Таким образом, критическое значение угла α определяем по формуле:

$$\alpha = \arctg(b_n / (2r_2)) + \arccos\left(\frac{(R_p^2 - r_1^2 - \sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)})}{(2r_1\sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)})}\right). \quad (6)$$

При увеличении угла α выше критического происходит уменьшение действительного значения радиуса ротора по сравнению с конструктивным. Текущее значение радиуса в зависимости от угла отклонения ножа можно получить из уравнения (6):

$$R_\alpha = \sqrt{r_1^2 + (r_2^2 + b_n^2/4)} + 2r_1\sqrt{(r_2^2 + b_n^2/4)\cos(\alpha - \arctg(b_n / (2r_2)))}. \quad (7)$$

Скорость роторов по концам ножей при постоянной угловой скорости роторов ω_p определяется по формуле:

$$v_{окр} = R_\alpha \omega_p. \quad (8)$$

При выполнении точных расчетов кинематических соотношений необходимо учитывать такое явление, как отклонения ножа от радиального положения.

В равновесном состоянии момент, создаваемый срезаемой растительностью, отклоняющий нож, преодолевается моментом M , создаваемым центробежной силой $F_{ц.б.}$, приложенной в центре масс ножа. Чем выше этот момент, тем большее воздействие может оказать нож на срезаемую растительность.

Положение ножа в момент взаимодействия с растительностью схематически показано на рисунке 1б. Здесь точка O – центр вращения ротора, точка A – центр крепления ножа, точка B соответствует положению центра масс ножа. При этом OA – радиус вращения центра крепления ножа относительно центра вращения ротора, AB – радиус дуги поворота центра масс ножа относительно точки A , OB – линия действия центробежной силы, в то же время отрезок OB есть расстояние от центра оси вращения ротора до центра масс ножа, AE – плечо центробежной силы относительно точки A , обозначенное как h , α – угол отклонения продольной оси ножа от радиального положения.

Определение центробежной силы выполняется по формуле:

$$F_{ц.б} = m\omega_p^2 R_{ц}, \quad (9)$$

где m – масса ножа; $R_{ц}$ – расстояние от центра оси вращения ротора до центра масс ножа. На схеме рисунка 1б оно равно OB .

Тогда определение значения момента будет выполняться по формуле:

$$M = m\omega_p^2 R_{ц} h. \quad (10)$$

Величины m и ω можно считать постоянными, тогда как значения $r_{ц}$ и h переменны и зависят от угла отклонения ножа α . С ростом угла α от нуля уменьшается $r_{ц}$, что приводит к снижению $F_{ц.б}$, но при этом возрастает h , что увеличивает момент M . В связи с этим важным является определение влияния основных геометрических параметров на этот момент и положения ножа (угла α), при котором момент будет максимальным.

Согласно теореме косинусов и с учетом того, что угол OAB равен $180 - \alpha$, а $\cos(180 - \alpha) = \cos\alpha$, можно записать:

$$OB^2 = OA^2 + AB^2 + 2OAB\cos\alpha = r_1^2 + r_ц^2 + 2r_1r_ц\cos\alpha. \quad (11)$$

Отсюда на основании теоремы синусов получим:

$$\sin AOB = AB(\sin OAB) / OB = r_ц \sin\alpha / \sqrt{(r_1^2 + r_ц^2 + 2r_1r_ц\cos\alpha)}. \quad (12)$$

Имея в виду, что $\angle AOB = \angle AOE$, из прямоугольного треугольника OAE , у которого одним из катетов и высотой является $AE = h$, получим:

$$h = r_1 \sin AOE = r_1 r_ц \sin\alpha / \sqrt{(r_1^2 + r_ц^2 + 2r_1r_ц\cos\alpha)}. \quad (13)$$

Тогда, с учетом изложенного, уравнение (10) для определения момента M можно представить следующим образом:

$$M = m\omega_p^2 R_{ц} r_ц r_1 \sin\alpha / \sqrt{(r_1^2 + r_ц^2 + 2r_1r_ц\cos\alpha)} = m\omega_p^2 r_ц r_1 \sin\alpha. \quad (14)$$

Из полученного уравнения (14) следует, что увеличение массы, угловой скорости, радиуса до центра крепления ножа и расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа увеличивает возможности силового воздействия ножа на срезаемую и измельчаемую растительность.

С учетом того что, начиная с нуля, увеличение для α ведет к увеличению момента M , а максимум $\sin\alpha$ соответствует 90° , можно утверждать, что максимального значения момент достигает при отклонении ножа от радиального положения на 90° . Увеличение угла α свыше 90° ведет к снижению момента, возвращающего нож к радиальному положению, и может привести к столкновению ножа с другими элементами косилки, поэтому отклонение в 90° следует считать предельным.

При предельном отклонении ножа приблизительно значение $R_{ц}$ можно определить следующим образом:

$$R_{ц} \approx \sqrt{(r_1^2 + r_2^2)}. \quad (15)$$

Данное выражение (15) для расчета значения радиуса следует учитывать при расчете необходимого угла, обеспечивающего перекрытие траекторий концов ножей, окружной скорости и подачи на нож.

Из уравнения (14) и с учетом того, что момент есть произведение силы на ее плечо, получим формулу для определения силы воздействия ножа на срезаемую растительность $F_в$:

$$F_в = m\omega_p^2 r_ц r_1 \sin\alpha / (r_2 - C/2). \quad (16)$$

Уравнение (16) позволяет анализировать факторы, влияющие на такой важнейший показатель, как сила воздействия ножа на срезаемую и измельчаемую растительность.

Увеличение массы, угловой скорости, радиуса до центра крепления ножа и расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа, а также угла отклонения ножа и подачи на нож увеличивает его силовое воздействие на срезаемую и измельчаемую растительность. Отклонение ножа от радиального положения на 90° следует считать предельным.

Важнейшим кинематическим соотношением роторной косилки при принятом значении радиуса ротора R_p по концам ножей является соотношение между радиусом соответствующего окружности центров крепления r_1 и радиусом концов ножей относительно центра крепления r_2 . Оно влияет на возможную силу воздействия ножа на срезаемую растительность. Сила воздействия, рассчитываемая по уравнению (16), главным образом зависит от центробежной силы, действующей на нож и рассчитываемой по формуле (9). Если принять, что нож изготовлен из прямоугольной пластины шириной b_n , толщиной δ , длиной r_2 из материала плотностью ρ , то его масса будет приблизительно рассчитываться по формуле:

$$m = r_2 \cdot b_n \cdot \delta \cdot \rho. \quad (17)$$

Координатой центра масс ножа для рисунка 1б будет $(r_1 + 0,5r_2)$. Тогда можно записать:

$$F_e = r_2 b_n \delta \rho \omega_p^2 (r_1 + 0,5r_2). \quad (18)$$

При известных b_n , δ , ρ и ω_p , произведение которых можно обозначить постоянной K , формулу (18) можно записать в виде:

$$F_e = K r_2 (r_1 + 0,5r_2). \quad (19)$$

Для графической интерпретации влияния соотношения r_1 и r_2 примем $K = 1$ и $r_1 + r_2 = 1$, или $r_2 = 1 - r_1$.

Тогда формулу (18) можно привести к следующему виду:

$$F_e = K \cdot 0,5 \cdot (1 - r_1^2). \quad (20)$$

Графически данная функция представляет собой параболу с опущенными вниз ветвями. Первая производная функции имеет вид:

$$F_e' = -K r_1. \quad (21)$$

Следовательно, максимум функции соответствует значению $r_1 = 0$. Из чего можно сделать вывод, что при прочих равных условиях уменьшение r_1 увеличивает возможную силу воздействия ножа на срезаемую растительность.

Для графической интерпретации формулы (20) построим следующую зависимость (рисунок 2).

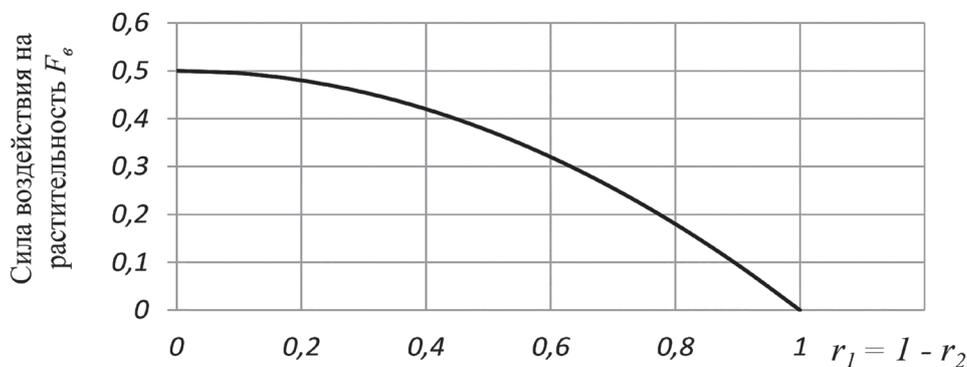


Рисунок 2. – Зависимость $F_e = f(r_1)$

Из графика следует, что увеличение r_2 при соответствующем уменьшении r_1 ведет к уменьшению возможной силы воздействия ножа на растительность, поэтому при проектировании подобных косилок необходимо стремиться к возможному уменьшению r_1 .

Заключение

1. Увеличение массы, угловой скорости, расстояния от центра крепления ножа до центра масс ножа, а также угла отклонения ножа и подачи на нож увеличивают его силовое воздействие на срезаемую и измельчаемую растительность. Отклонение ножа от радиального положения на 90° следует считать предельным.

2. Для увеличения силы воздействия при прочих равных параметрах необходимо стремиться к возможному уменьшению кинематического радиуса несущей части ротора.

Литература

1. Горячкин, В. П. Собрание сочинений: в 3 т. / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с.
2. Кондратьев, В. Н. Косилки бильного типа: вопросы проектирования и эксплуатации: пособие / В. Н. Кондратьев. – Минск: НП РУП «БелНИИ мелиорации и луговодства», 2002. – 40 с.
3. Сухарев, Е. О. Основы теории машин для обслуживания и ремонта мелиоративных машин: учеб. пособие / Е. О. Сухарев. – К.: ИСДО, 1994. – 360 с.
4. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
5. Мартынов, В. М. Геометрия ножа ротационного режущего аппарата / В. М. Мартынов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 3. – С. 34–36.
6. Jonson, C. E. Horizontal rotary mower blade dynamics / C. E. Jonson, W. D. Robinson, J. L. Turner // Transactions of the ASAE. – 1984. – Bd. 27, № 6. – P. 1666–1668.
7. Каифаш, Ференц. Обоснование динамических параметров и режима работы ротационного режущего аппарата: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Ференц Каифаш. – М.: Московский ин-т инж. с.-х. пр-ва им. В. П. Горячкина, 1982. – 158 с.
8. Карпенко, М. И. Обоснование оптимальных технологических параметров ротационного режущего аппарата косилок с пониженной скоростью ножей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М. И. Карпенко. – Глеваха, 1984. – 17 с.
9. Погорелец, А. Н. Технологические и технические основы совершенствования ротационного режущего аппарата уборочных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. Н. Погорелец; Украинск. с.-х. академия. – Киев, 1975 – 18 с.
10. Смирнов, Г. А. Обоснование параметров унифицированного ротационного режущего аппарата машин для кошения: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Г. А. Смирнов. – М., 1988. – 177 с.

УДК 631.164/165:631.353.3

Поступила в редакцию 04.04.2018
Received 04.04.2018

И. М. Лабоцкий, А. В. Ленский, П. В. Яровенко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by; labkormov@mail.ru*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЯ ТЮКОВ В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ ГРУБЫХ КОРМОВ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКАМИ

В статье рассмотрено направление повышения эффективности процесса прессования и уборки грубых кормов. Даны описание и результаты испытаний накопителя к пресс-подборщикам, приведен расчет эффективности применения накопителя.

Ключевые слова: эффективность, процесс, прессование, накопитель, пресс-подборщик, расчет, испытания, корма.