

УДК 631.352.022:633.2.03

Н. Г. БАКАЧ, А. Н. БАСАРЕВСКИЙ, И. Е. МАЖУГИН

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ НОЖЕЙ КОСИЛКИ ДЛЯ УХОДА ЗА ЛУГОПАСТБИЩНЫМИ УГОДЬЯМИ

*Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства,
Минск, Республика Беларусь, e-mail: belagromech@tut.by*

(Поступила в редакцию 17.04.2013)

Введение. Культурные пастбища, являющиеся одними из наиболее продуктивных и дешевых видов угодий, позволяют животным получать высококачественный корм в летний период, при этом себестоимость кормовой единицы травянистых кормов в 2,5 раза ниже, чем у зерна [1].

Пастбищный период в республике длится с мая по сентябрь. Хорошее пастбище полностью обеспечивает жизненные функции животных и позволяет получить удовлетворительную продуктивность. В то же время эффективность пастбища далеко не всегда одинакова, многое зависит от качества травостоя, системы использования пастбищ. При многократном стравливании и соответствующем уходе за пастбищами они сохраняют высокие кормовые достоинства в течение нескольких месяцев, поэтому большое значение имеют правильное использование пастбищ и уход за ними.

Одной из важнейших технологических операций по повышению эффективности использования лугопастбищных угодий является их подкашивание с возможным мульчированием скашиваемой травой. Оптимальные сроки подкашивания сенокосов и рациональное использование пастбищ обеспечивают 10–25 %-ную прибавку урожая без каких-либо дополнительных затрат [2]. Вместе с тем в настоящее время в Республике Беларусь используется ряд специализированных косилок-измельчителей: КИР-1,5, КСД-2,0 и др., предназначенных для уборки многолетних сеяных и естественных трав на окультуренных лугопастбищах, однако они не способны работать на естественных лугопастбищных угодьях, так как возникающие различные трудности (различная высота, густота и диаметр стеблей травостоя, полеглость растений, неровности рельефа) препятствуют подкашиванию данными косилками.

Таким образом, необходимо решить проблему создания эффективной техники для механизации работ по уходу за лугопастбищными угодьями, конструкция которой позволит обеспечить необходимые агротехнические параметры.

Цель работы – провести теоретические исследования по обоснованию параметров и режимов работы косилки для ухода за лугопастбищными угодьями.

Машины для скашивания и заготовки растительных кормов являются одной из наиболее многочисленных групп сельскохозяйственных машин, достаточно хорошо описанных и проанализированных в различных публикациях, например в [3]. Косилки для ухода за мелиорированными землями наиболее полно описаны в работе [4]. Для ухода за лугопастбищными угодьями в последнее время все большее применение находят широкозахватные многороторные косилки-измельчители, которые также называют лугопастбищными, или мульчирующими, косилками. Их производят такие известные в области сельскохозяйственного машиностроения фирмы, как «Bush Hog» (США), «McConnel» (Великобритания), «Schulte» (Канада) и др. [5–7].

Однако следует отметить, что до настоящего времени особенно актуальными являются вопросы повышения качества срезания и измельчения скашиваемой травы. Необходима увязка

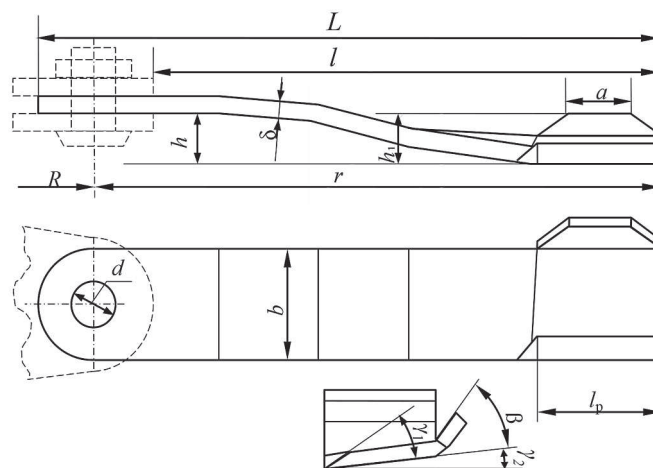


Рис. 1. Схема к определению основных параметров ножа косилки для ухода за лугопастбищными угодьями: R – радиус несущей части ротора (расстояние от центра ротора до центра болта крепления ножа); r – радиус ножа (расстояние от центра болта крепления ножа до крайней точки периферийного конца ножа); L – общая длина ножа (габарит по длине); l_p – длина режущей части ножа; l – длина выступающей за край несущей части ротора части ножа; δ – толщина пластины ножа; b – ширина пластины ножа; h – величина изгиба ножа; h_1 – высота режущей части ножа; d – диаметр оси; γ_1 – угол заострения режущей кромки; γ_2 – задний угол режущей части; β – угол наклона рабочей поверхности подъемной пластинки

конструктивных параметров рабочих органов косилок с кинематикой процесса резания. Особый интерес также представляет программное проектирование параметров режущей части ножа.

Нож является элементом рабочего органа, обеспечивающим необходимое качество срезания и измельчения растительности, поэтому определение требуемых параметров ножа является в данном случае важнейшей задачей. Схема ножа и его основные параметры приведены на рис. 1.

Длина режущей части ножа l_p должна быть больше или равна подаче на нож C , ее рассчитывают по формуле

$$C = \pi D_p v_n / (v_{окр} z), \quad (1)$$

где D_p – диаметр ротора по концам ножей, м; v_n – поступательная скорость косилки, м/с; $v_{окр}$ – окружная скорость концов ножей, м/с; z – число ножей на роторе в одном ярусе, шт.

С целью уменьшения трения нижней поверхности ножа о стерню плоскость ножа повернута на угол γ_2 , который совместно с углом заострения γ_1 влияет на усилие сопротивления резанию. Кроме того, поворот плоскости ножа способствует подъему полеглых растений.

Особенностью представленного ножа является наличие подъемной пластинки. Срезанные и поднятые полеглые растения подбрасываются режущей кромкой и подъемной пластинкой. Параметры режима резания и высота подбрасывания зависят от угла β наклона пластинки и ее высоты h_1 . Для их обоснования рассмотрим схему процесса срезания стеблей растений (рис. 2).

Предположим, что к моменту перерезания крайних волокон стебля срезаемая часть наклоняется и приобретает начальную скорость v_n , вектор которой показан на рис. 2. Далее срезанная от-

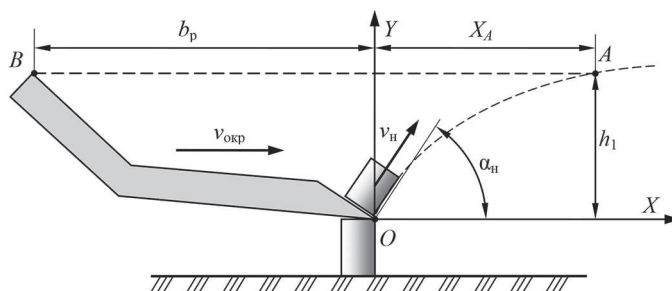


Рис. 2. Схема к определению параметров процесса среза

деленная часть летит по параболе OA . На указанном участке параболы, ввиду небольшой дальности полета, сопротивлением воздуха пренебрегаем. При этом допущении уравнение параболы можно записать в следующем виде:

$$Y = X \operatorname{tg} \alpha_n - g X^2 / (2v_n^2 \cos^2 \alpha_n). \quad (2)$$

На рис. 2 видно, что между скоростями $v_{\text{окр}}$ и v_n существует следующее соотношение:

$$v_n = v_{\text{окр}} \sin (\gamma_1 + \gamma_2). \quad (3)$$

Для того чтобы подъемная пластинка выполняла свои функции, т.е. подбивала срезанную растительность, ее высота h_1 должна быть такой, чтобы точка B , движущаяся со скоростью $v_{\text{окр}}$, достигла точки A не позднее, чем этой точки достигнет срезанная часть растения, летящая по параболе OA . Это условие можно записать в виде неравенства

$$t_{BA} \leq t_{OA}, \quad (4)$$

где t_{BA} – время перемещения верхней кромки подъемной пластинки (точка B) в точку A , с; t_{OA} – время перемещения срезанной части растения из точки O в точку A , с.

Приведенные параметры можно рассчитать следующим образом:

$$t_{BA} = (b_p + X_A) / v_{\text{окр}}, \quad (5)$$

$$t_{OA} = X_A / (v_n \cos \alpha_n), \quad (6)$$

где b_p – расчетная ширина режущей части ножа; X_A – абсцисса точки пересечения параболы и траектории верхнего края подъемной пластинки (точки B).

Приравняв правые части уравнений (5) и (6), получим следующее уравнение:

$$(b_p + X_A) / v_{\text{окр}} = X_A / (v_n \cos \alpha_n). \quad (7)$$

Отсюда выразим X_A :

$$X_A = (b_p v_n \cos \alpha_n) / (v_{\text{окр}} - v_n \cos \alpha_n). \quad (8)$$

Учитывая соотношение (3), после некоторых упрощений получим

$$X_A = (b_p \cos \alpha_n \cos \alpha_n (\gamma_1 + \gamma_2)) / (1 - \cos \alpha_n \sin (\gamma_1 + \gamma_2)). \quad (9)$$

Принимая во внимание то, что $\alpha_n = 90 - (\gamma_1 + \gamma_2)$, а $\cos \alpha = \sin (90 - \alpha)$, приведем уравнение (9) к следующему виду:

$$X_A = (b_p \sin^2(\gamma_1 + \gamma_2)) / (1 - \sin^2(\gamma_1 + \gamma_2)). \quad (10)$$

Выражение для расчета h_1 получим, используя уравнение (2):

$$h_1 = X_A \operatorname{tg} \alpha_n - g X_A^2 / (2 v_n^2 \cos^2 \alpha_n). \quad (11)$$

Учитывая, что $\operatorname{tg} (90 - \alpha) = \operatorname{ctg} \alpha$, подставим вместо X_A его выражение из уравнения (10) и после некоторых преобразований получим

$$h_1 = \frac{b_p \sin(\gamma_1 + \gamma_2) \cos(\gamma_1 + \gamma_2)}{1 - \sin^2(\gamma_1 + \gamma_2)} - \frac{g b_p^2}{2 v_{\text{окр}}^2 (1 - \sin^2(\gamma_1 + \gamma_2))^2}. \quad (12)$$

Квадратное уравнение (12) связывает основные параметры режущей части ножа и подъемной пластинки с окружной скоростью и позволяет выполнить их расчет.

Программированное проектирование сечения режущей части ножа может быть выполнено путем определения координат характерных точек сечения (схема к их определению приведена на рис. 3), при этом исходными величинами являются b , δ , γ_1 и γ_2 . Величина β устанавливается

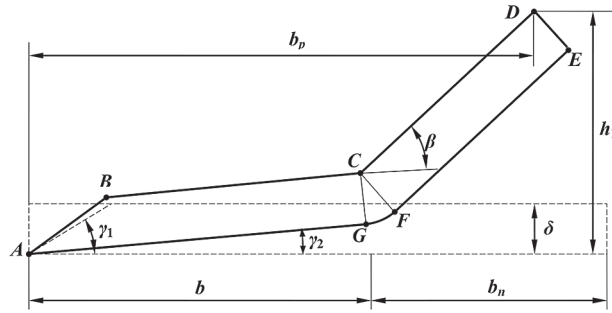


Рис. 3. Схема к определению координат характерных точек поперечного сечения режущей части ножа

исходя из того, что сумма $(\gamma_2 + \beta)$ должна быть меньше угла трения стали о срезаемую растительность.

Пусть началом построения будет точка A с координатами (X_A, Y_A) , тогда координатами точки B будут (X_B, Y_B) . Используя исходные данные, получим

$$\begin{cases} X_B = X_A + (\delta / \sin \gamma_1) \cos (\gamma_1 + \gamma_2); \\ Y_B = Y_A + (\delta / \sin \gamma_1) \sin (\gamma_1 + \gamma_2). \end{cases} \quad (13)$$

$$\quad \quad \quad (14)$$

Для точки C :

$$\begin{cases} X_C = X_B + \sqrt{b^2 + \delta^2} \cos \gamma_2; \\ Y_C = Y_B + \sqrt{b^2 + \delta^2} \sin \gamma_2. \end{cases} \quad (15)$$

$$\quad \quad \quad (16)$$

Для точки D :

$$\begin{cases} X_D = X_C + (h_1 - Y_C) / \operatorname{tg} (\beta + \gamma_2); \\ Y_D = h_1 - Y_C. \end{cases} \quad (17)$$

$$\quad \quad \quad (18)$$

Здесь h_1 определяется по формуле (11), причем b_p следует определять по уравнению

$$b_p = b / \cos \gamma_2 + (h_1 - Y_C) / \operatorname{tg} (\gamma_2 + \beta). \quad (19)$$

Подстановка правой части уравнения (19) для расчета b_p в формулу (12) позволяет по полученному квадратному уравнению рассчитать h_1 , используя известные исходные и определенные ранее величины.

$$h_1 = \frac{(b / \cos \gamma_2 + (h_1 - Y_C) / \operatorname{tg} (\gamma_2 + \beta)) \sin (\gamma_1 + \gamma_2) \cos (\gamma_1 + \gamma_2)}{1 - \sin^2 (\gamma_1 + \gamma_2)} - \frac{(b / \cos \gamma_2 + (h_1 - Y_C) / \operatorname{tg} (\gamma_2 + \beta))^2}{2v_{\text{опр}}^2 (1 - \sin^2 (\gamma_1 + \gamma_2))}. \quad (20)$$

Координаты точки E :

$$\begin{cases} X_E = X_D + \delta \sin (\beta + \gamma_2); \\ Y_E = Y_D - \delta \cos (\beta + \gamma_2). \end{cases} \quad (21)$$

$$\quad \quad \quad (22)$$

Координаты точки F :

$$\begin{cases} X_F = X_C + \delta \sin (\beta + \gamma_2); \\ Y_F = Y_C - \delta \cos (\beta + \gamma_2). \end{cases} \quad (23)$$

$$\quad \quad \quad (24)$$



Рис. 4. Косилка для ухода за лугопастбищными угодьями КП-6,2

Координаты точки G :

$$\begin{cases} X_G = X_C + \delta \sin \gamma_2; \\ Y_G = Y_C - \delta \cos \gamma_2. \end{cases} \quad (25)$$

$$(26)$$

Дуга FG описывается радиусом δ из точки C . При измерении угла GCF в радианах длину L_{FG} определим по формуле

$$L_{FG} = \delta\beta. \quad (27)$$

Используя изложенную методику, были рассчитаны параметры режущей части ножа роторной лугопастбищной косилки и программное проектирование сечения режущей части ножа: $b - 162$ мм; $h_1 - 48$ мм; $\gamma_1 - 35$ град; $\gamma_2 - 5$ град; $\beta - 40$ град; $\delta - 12$ мм.

Полученные данные легли в основу при разработке опытного образца косилки для ухода за лугопастбищными угодьями КП-6,2 шириной захвата 6,2 м (рис. 4).

Эффективность разработанной косилки для ухода за лугопастбищными угодьями подтверждается ее техническими и функциональными показателями (см. таблицу).

Технические и функциональные показатели косилки КП-6,2

Показатель	Значение
Конструктивная ширина захвата, м	6,2
Рабочая скорость, км/ч	6–10
Окружная скорость ножей, м/с	70
Количество роторов, шт.	5
Количество ножей на роторе, шт.	3 или 6
Полнота среза растительности, %	98,6
Качество измельчения стеблей растительности, %:	
массовая доля частиц длиной до 10 см	68
массовая доля частиц длиной свыше 10 см	32

В зависимости от вида скашиваемой растительности на роторе могут быть установлены три ножа с подъемной пластинкой (рис. 5) или три дополнительных ножа шинковки (шестиножевой ротор с ножами, измельчающими растительность в двух плоскостях). Ножи с подъемной пластинкой способны скашивать и измельчать примятую колесами трактора растительность, поэтому они не оставляют непрокошенных полос.

Косилка оснащена спаренными опорными колесами, каждая пара которых имеет плавающую ось. Такое техническое решение обеспечивает стабильную высоту стерни, даже когда окашиваются неровные поверхности.



Рис. 5. Трехножевой ротор косилки КП-6,2

Заключение. На основе теоретических исследований получены зависимости, связывающие конструктивные параметры рабочих органов (режущей части ножа, подъемной пластинки) косилки с кинематикой процесса резания. Полученные результаты позволяют реализовать программное проектирование параметров режущей части ножа. Теоретические предпосылки подтверждены результатами экспериментальных исследований. Так, для косилок с шириной захвата 6,2 м конструктивные параметры рабочих органов, обеспечивающие соблюдение функциональных показателей качества выполнения технологического процесса, должны быть следующие: ширина пластины ножа – 162 мм, высота подъемной пластинки – 48 мм, угол заострения режущей кромки – 35°, задний угол режущей части – 5°, угол наклона рабочей поверхности подъемной пластинки – 40°, толщина ножа – 12 мм.

С использованием предложенной методики расчета в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» созданы рабочие органы опытного образца косилки КП-6,2, которая прошла приемочные испытания в ИЦ ГУ «Белорусская МИС» и рекомендована для постановки на производство.

Литература

1. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур : рекомендации // М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва, Ин-т мелиорации. – Минск: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва, 2011. – 52 с.
2. Современные технологии и машины для улучшения естественных и окультуренных сенокосов и пастбищ : аналит. обзор / В. В. Азаренко [и др.]. – Минск: Белорус. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2003. – 46 с.
3. Короткевич, А. В. Технологии и машины для заготовки кормов из трав и силосных культур: учеб. пособие / А. В. Короткевич. – Минск : Ураджай, 1991. – 383 с.
4. Мажугин, Е. И. Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов: пособие / Е. И. Мажугин. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2010. – 336 с.
5. Фирма «Bush Hog» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bushhog.com/product-line/rotary-cutters/flex-wing-rotary-mowers.html>. – Дата доступа: 22.02.2013.
6. Фирма «McConnel» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mcconnel.com/products/mowers/rotarymowers/SRSeries/SR620/Default.aspx?nav=SR620>. – Дата доступа: 22.02.2013.
7. Фирма «Schulte» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://schulte.ca/products_cutters_fx520.htm. – Дата доступа: 22.02.2013.

N. G. BAKACH, A. N. BASAREUSKI, I. E. MAZHUHIN

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE CUTTING PART OF KNIVES OF A GREENLAND MOWER

Summary

The paper presents the theoretical substantiation of the basic design parameters of the knife of a greenland mower KP-6,2 and kinematic modes of cutting. The method of programmed design of the section of the knife cutting part is described.