

УДК 631.3:633.2

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА КОСИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ СКАШИВАНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТРАВ

В.Н. Кондратьев, доктор технических наук

РУП «Институт мелиорации»

В.Н. Бобко, старший преподаватель

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Ключевые слова: косилка, ножи-измельчители, конструкция, скашивание, сенокосы, пастбища, кинематика движения ножей, срез стебля.

Введение

Отечественные и зарубежные косилки-измельчители бильного типа производят скашивание и измельчение растений посредством ударного резания ножей [1,2,3]. При этом отделение стеблей от комлевой части растений происходит разрывом в короткий промежуток времени, а не путем среза [2]. Следует отметить, что срез получается ровный и неровный; скашивание и измельчение растений требует больших затрат мощности на единицу производительности.

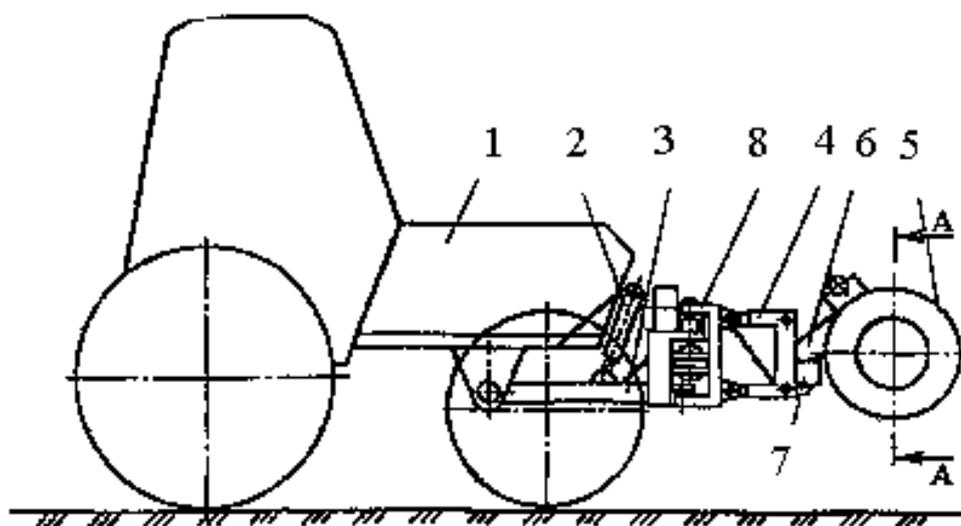
Из-за больших скоростей лезвия ножей (до 50 м/с) затраты мощности равны 22 кВт и выше при захвате косилки 1,5 м [2].

Поэтому целью авторов является разработка на основе теоретических и экспериментальных исследований рабочего органа для фронтальной косилки с режущим аппаратом, осуществляющим комбинированное резание стеблей при скашивании и измельчении грубостебельных растений, обеспечивающим снижение энергозатрат до 20-30% и повышающим качество работ.

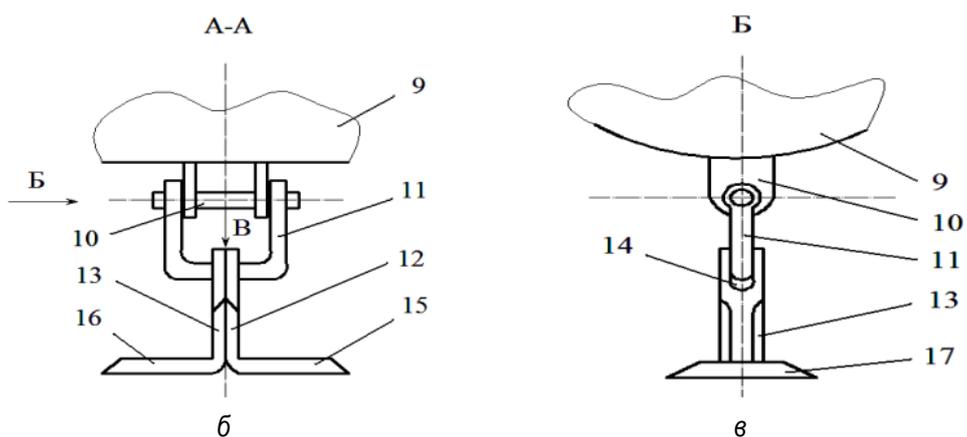
Авторами разработан и предложен целый ряд новых режущих аппаратов с комбинированным резанием стеблей [4, 5, 6]. Один из этих аппаратов показан на рис. 1 (б,в,г).

Основная часть

Рабочий орган 5 навешивают на базовую машину 1а, на которой смонтирован гидроцилиндр 2 для подъема рамы 3 с подпружиненными параллелограммными контурами 4. Посредством крючкообразных зацепов 6, вводимых в петли 7, рабочий орган 5 крепится к параллелограммным контурам 4. Параллелограммные контуры 4 шарнирно соединяются с управляемой гидроцилиндром кареткой 8, опирающейся роликами на брус рамы 3. Шарнирные подвески включают на валу 9 рабочего органа 5 жестко закрепленные проушины 10, на которых шарнирно установлены звенья 11.

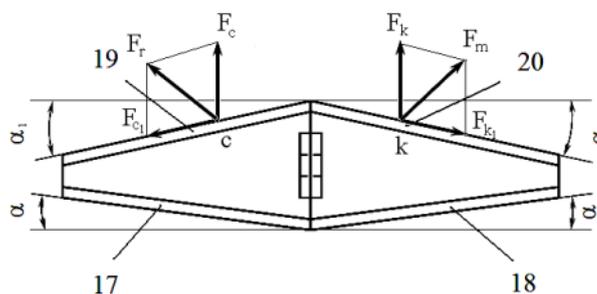


а



б

в



г

Рис. 1 – Фронтальная косилка с комбинированным режущим аппаратом:
а – общий вид фронтальной косилки; б – шарнирная подвеска с комбинированными ножами;
в – вид на шарнирную подвеску сбоку; г – вид на шарнирную подвеску сверху.

На каждое звено нанизаны по два ножа 12 и 13 своими пазами 14. Отгибы 15 и 16 ножей ориентированы в противоположные стороны вдоль вала 9, а их режущие кромки 17 и 18 расположены впереди по ходу вращения вала 9 и выполнены под углом α в плоскости отгибов 15 и 16, режущие кромки 19 и 20 расположены сзади по ходу вращения вала 9 и выполнены под углом α_1 в плоскости отгибов 15 и 16 (рис. 1 (б, в, г)). Для скашивания растений диаметром от 1 до 10 мм угол α выполняют от 0° до 15° , а для скашивания растений диаметром от 10 мм и выше угол α_1 выполняют выше 15° .

Фронтальная косилка работает следующим образом. Рабочий орган 5 гидроцилиндрами 2, поворотом рамы 3, опускают вниз к скашиваемой поверхности, оставляя зазор на высоту среза. Включают привод от базовой машины 1 и соответствующую передачу. При движении косилки вращающиеся вместе с валом 9 ножи 12 и 13 своими режущими кромками 17 и 18 или 19 и 20 на отгибах 15 и 16 срезают и измельчают мелкостебельную или крупнотемельную растительность. Стебель растения сначала срезается сверху, когда вращающиеся ножи подходят к нему. Окончательный срез происходит, когда ножи располагаются снизу рабочего органа. В процессе высокочастотного вращения ножи многократно контактируют со стеблем, измельчая его на части.

Одновременно каждый нож срезает и измельчает различное количество растений, отчего изменяется сопротивление срезу. При этом расположение кромок 17 и 18, 19 и 20 под углами α и α_1 позволяет скашивать грубостебельные растения с меньшими затратами энергии, а также повышается качество среза растений, имеющих различные физико-механические свойства стебля.

Из рис. 1 г видно, что срез и измельчение растений режущими аппаратами комбинированного типа является сложным процессом, зависящим от технологических свойств трав, высоты и густоты стеблестоя, толщины скашиваемых грубостебельных растений, характера и скорости резания, характера движения ножа и др.

В точках "с и к" на отгибах лезвий шарнирной подвески действуют силы как ударного характера F_c и F_k , так и силы среза (скольжения) F_{c1} и F_{k1} (рис. 1 г). Следовательно, один и тот же режущий аппарат комбинированного типа при скашивании и измельчении растений будет давать разное качество работы. Поэтому проведем исследования возможных кинематических режимов работ косилки-измельчителя в зависимости от состояния травостоя. Для оценки процесса скашивания и измельчения растений на полях и пастбищах проведем исследования кинематики движения точек ножей режущего аппарата комбинированного типа в направлении действия ударных сил F_c и F_k (рис. 1 г).

Траектория движения точек на лезвиях ножей является результатом их вращательного движения с угловой скоростью ω_H и поступательного перемещения со скоростью v_M (рис. 2).

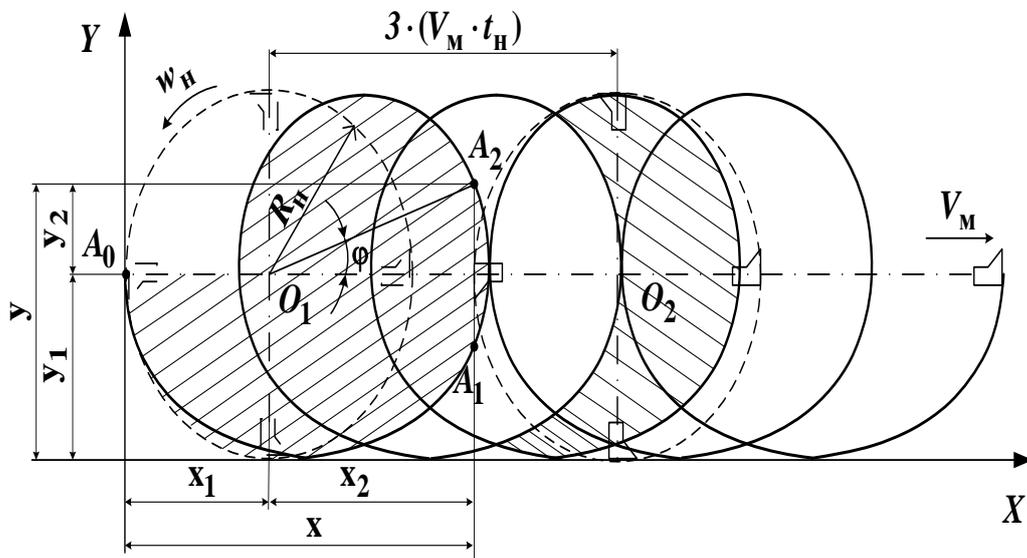


Рис. 2 – Кинематика движения точек на лезвиях ножей косилки бильного типа

Рассматривая два последовательных положения ножей на окружности режущего аппарата, отделенных друг от друга промежутком времени t_H , можно написать:

$$\begin{cases} x = x_1 + x_2 = R_H + v_M t_H - R_H \cos(\omega_H t_H) \\ y = y_1 + y_2 = R_H + R_H \sin(\omega_H t_H) \end{cases} \quad (1)$$

Выразив $\omega_H \times t_H$ через φ , а v_M через $R_H \times \varphi$, показатель кинематического режима работы ножей будет равен:

$$\lambda_H = \frac{2\pi R_H n_H}{v_M} \quad (2)$$

Подставив в уравнение трохоиды (1) получим:

$$\begin{cases} x = \frac{R_H \varphi}{\lambda_H} + R_H (1 - \cos \varphi) \\ y = R_H (1 + \sin \varphi) \end{cases} \quad (3)$$

Для установившегося процесса скашивания растений поступательная скорость агрегата $v_M = \text{const}$ и угловая скорость вращательного движения ножей режущего аппарата $\omega_H = \text{const}$, следовательно, $\lambda_H = \text{const}$. Из рис. 2 видно, что за один оборот вала режущая часть ножа проходит путь по траектории $A_0 A_1 A_2 A_3$.

В этом случае длину траектории $A_0 A_1 A_2 A_3$ определяется по формуле 4.

$$l_H = \int_0^{\varphi} \sqrt{d^2 x + d^2 y} = \int_0^{\varphi} \sqrt{\left[\frac{R_H \cdot \varphi}{\lambda_n} + R_H (1 - \cos \varphi) \right]^2 d^2 \varphi + \sqrt{[R_H (1 + \sin \varphi)]^2 d^2 \varphi} =$$

$$= \int_0^{\varphi} \sqrt{R_H \cdot \cos^2 \varphi + \frac{R_H^2}{\lambda_M^2} + 2 \frac{R_H^2}{\lambda_H} \cdot \sin \varphi + R_H^2 \cdot \sin^2 \varphi + R_H^2 \cdot \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (4)$$

При работе режущего аппарата угол φ изменяется от 0 до 2π . Тогда:

$$l_H = \frac{2\pi}{\lambda_H} \cdot \sqrt{\lambda_H^2 + 1} + R_H \quad (5)$$

Воспользовавшись формулой (5) определяется максимальная площадь растений, срезаемых за один оборот лезвием ножа.

$$S_H = b_H l_H = b_H R_H \frac{2\pi}{\lambda_H} \sqrt{\lambda_H^2 + 1} \quad (6)$$

где b_H – ширина лезвия ножа, м.

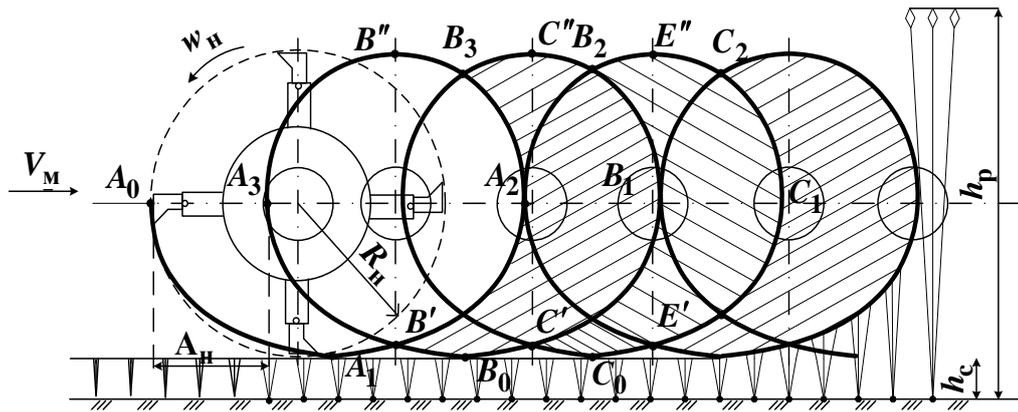


Рис. 3 – Схема скашивания растений высотой $h_p > D_H + h_c$.

Полученная формула (6) позволяет дать оценку степени влияния показателя λ_H на процесс скашивания и измельчения растений. Для этого рассмотрим три возможных режима работы косилки-измельчителя в зависимости от состояния травостоя на полях и пастбищах (см. рис. 2, 3, 4).

Остановившись на теоретическом исследовании наиболее энергоемкого режима работы косилки-измельчителя, при котором осуществляют скашивание растений высотой $h_p > D_H + h_c$ и густотой более $2,5 \times 10^3$ шт/м² (рис. 4). Из рис. 4 видно, что в начальный период технологического процесса нож режущего аппарата внедряется в травостой по трохоиде $A_0A_1A_2A_3$ и при установившемся режиме работы срез и измельчение растений идет на ее участках $B_0B_1B_2B_3$, $C_0C_1C_2C_3$ и т. д., смещенных друг от друга на величину A_H .

Величина A_H определяется из выражения (2.7):

$$A_H = v_M \cdot t_H = \frac{2\pi R_H}{\lambda_H Z_H} \quad (7)$$

где A_H – подача на нож, мм;

Z_H – число ножей режущего аппарата, расположенных в одной плоскости резания;

t_H – время поворота ножа за один оборот, с.

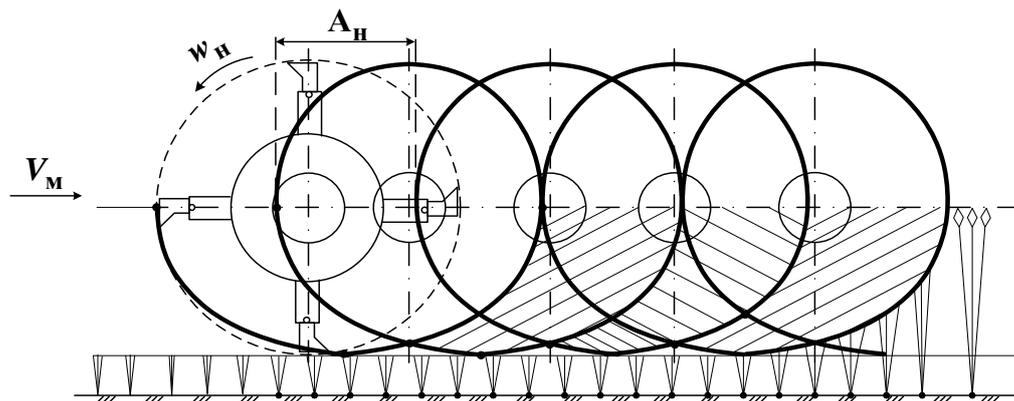


Рис. 4 – Схема скашивания растений высотой $h_p > D_H/2 + h_c$

Анализируя выражение (7) можно сделать вывод, что показатель λ_H является фактором, позволяющим в широких пределах регулировать подачу на нож A_H . Например, величина показателя λ_H косилки-измельчителя при реальных скоростях v_M существующих тракторов находится в пределах 16,1...454,6, а подача на нож – 1,7...6,3 мм. Как видно из приведенных данных, широкий диапазон изменения показателей λ_H и A_H позволяет выбрать максимальную возможную длину частиц измельченных растений.

При дальнейшем анализе процесса измельчения растений высотой $h_p > D_M + h_p$ надо отметить, что весь процесс измельчения срезанных растений можно разделить на два периода. При первом периоде происходит срез и измельчение растений в пространстве вращения ножей, объем которого определяется по формуле (2.8).

$$U_H = S_{A_1 B_1 B_3 B_2}^{cm} \cdot B_H \cdot Z_H, \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

где $S_{A_1 B_1 B_3 B_2}^{cm}$ – площадь срезаемой стружки при подаче на нож за оборот вала (рис. 2), м;

Z_H – количество ножей на валу косилки-измельчителя.

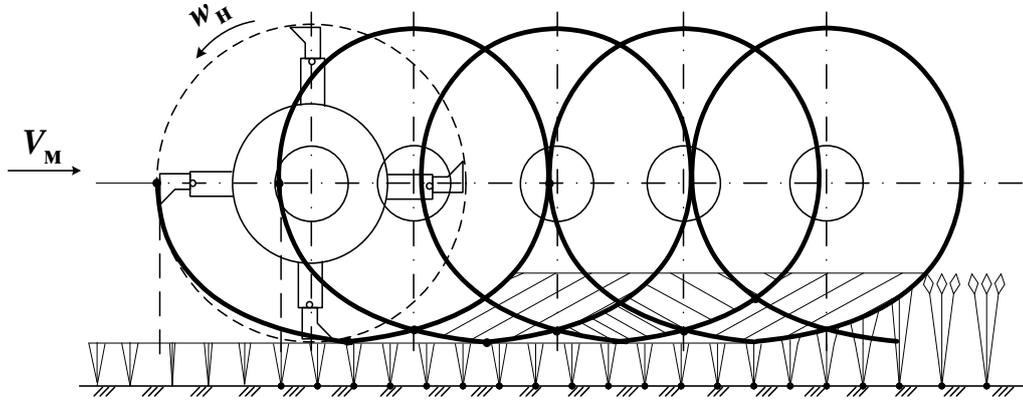


Рис. 5 – Схема скашивания растений высотой $h_p \leq D_H/2 + h_c$

В рассматриваемом случае площадь срезаемой стружки ножом за оборот высчитывается из выражения (9) (рис. 3):

$$S_{A_1B_1B_2A_2}^{cm} = 4 \cdot v_M \cdot t_H \cdot R_H - 2S_{A_1A_2C_0} - S_{mp}^n + v_M t_H \cdot R_H = \frac{4\pi R_H^2}{\lambda_H Z_H} \quad (9)$$

$$S_{A_1A_2C_0} = \frac{3v_M \cdot t_H \cdot R_H - S_{mp}}{2}$$

где $S_{A_1A_2C_0}$ – площадь $\Delta A_1A_2C_0$;

S_{mp} – площадь нижней части трохойды, которую определим по формуле (10) [3]:

$$\begin{aligned} S_{mp}^H &= \int_0^\pi y dx = \int_0^\pi R_H (1 + \sin \varphi) \cdot d \left[\frac{R_H \cdot \varphi}{\lambda_H} + R_H (1 - \cos \varphi) \right] = \\ &= \int_0^\pi R_H (1 + \sin \varphi) \cdot \left(\frac{R_H}{\lambda_H} - R_H \cdot \sin \varphi \right) \cdot d\varphi = \\ &= R_H^2 \left(\frac{\pi}{\lambda_H} + \frac{2}{\lambda_H} - \frac{\pi}{2} - 2 \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Подставим в формулу (8) значение $S_{A_1B_1B_3B_2}^{cm}$
Получается:

$$U_H = \frac{4\pi R_H^2}{\lambda_H \cdot Z_H} \cdot B_H \cdot Z_H^K, \text{ м}^3/\text{с} \quad (11)$$

Второй период изучаемого процесса характеризуется измельчением оставшейся части растений, находящейся над пространством вращения ножей.

По мере подачи растений в пространство вращения ножей последние измельчаются в течении времени, определяемого по формуле (12):

$$t_p = \sqrt{\frac{2 h_p - h_c}{g}} \quad (12)$$

где h_p – высота растений, м;

h_c – высота стерни, м.

При этом объем дополнительно измельчающихся растений в пространстве вращения ножей определяется из выражения (2.13):

$$U_B = v_M \cdot t_H (h_p - D_H - h_c) \quad (13)$$

В рассматриваемом случае должны быть обеспечены два технологические требования:

1. Все растения должны измельчаться за время падения их с высоты равной $h_p - h_c$;
2. Длина измельченных частиц растений должна соответствовать техническим условиям косилки.

Выполнение первого требования возможно при условии непрерывного контакта ножей с растениями в течении времени t_p . Для этого необходимо предусмотреть в корпусе косилки-измельчителя лобовой вход, ширина которого должна быть не меньше величины $v_M \cdot t_p$. В противном случае растения, находящиеся над зоной вращения ножей, будут падать на землю и оставаться неизмельченными. Ширина лобового входа определяется из допущений, что окашивание растений высотой 2 м происходит на самой высокой рабочей скорости = 1,38 м/с.

На практике v_M ширина лобового входа равна 0,25 м [3]. При этом падающая часть растений будет измельчена на $n_{cp}+1$ части. Следовательно, длину частицы можно определить по формуле (14):

$$l_q = \frac{h_p - h_c - D_H}{n_{cp}} = \frac{h_p - h_c - D_H}{t_p \cdot n_H - 1} \quad (14)$$

где n_{cp} – число срезов растений, определяемое из уравнения (15):

$$n_{cp} + 1 = \frac{t_p}{t_H} \quad (15)$$

Откуда следует:

$$n_{cp} = \frac{t_p}{t_H} - 1 = t_p \cdot n_H - 1 \quad (16)$$

где n_H – частота вращения ножей, c^{-1} .

Таким образом, на основании теоретических расчетов можно сделать вывод, что при ширине лобового входа равной 0,25 м возможно скашивание и измельчение растений на полях и пастбищах высотой не более 2,5 м. В этом случае показатель λ_H должен

быть в пределах 555...190, а A_H – 2,1...6,3 мм. Изменение показателей λ_H и A_H нужно осуществлять путем выбора оптимальной скорости v_M движения косилки-измельчителя в диапазоне 0,2 – 1,42 м/с.

Теоретически анализируя второй и третий режимы работы косилки-измельчителя (рис. 4 и 5) надо отметить, что режимы достаточно полно описываются уравнениями (3), (9), (10), (11). В таком случае условия удовлетворительной работы косилки-измельчителя можно характеризовать следующими значениями показателей: второй режим – $\lambda_H = 35 - 115$, $A_H = 34 - 9,5$ мм, $v_M = 0,2 - 0,43$ м/с; третий режим – $\lambda_H = 35 - 25$, $A_H = 34 - 58,8$ мм, $v_M = 1,43 - 2,44$ м/с.

Выводы

1. Анализ влияния кинематических параметров режущего аппарата комбинированного резания на показатели скашивания и измельчения растений показал, что кинематика движения точек приложения сил ударного действия, расположенных на лезвиях ножей шарнирных подвесок, одинакова. При этом по мере внедрения отгибов шарнирных подвесок в массив скашиваемых растений точки приложения ударных сил непрерывно сдвигаются по лезвиям под углом α или α_1 , образуя дополнительный срез скольжением.

2. Резание скольжением способствует снижению энергетических затрат на скашивание и измельчение растений и улучшает качество среза и измельчения их стеблей.

Литература

1. Кондратьев, В.Н. Тенденции совершенствования косилок бильного типа / В.Н. Кондратьев, С.И. Оскирко, В.Н. Бобко // Мелиорация. – 2010. – № 2(64). – С. 97-103.
2. Босой, Е.С. Теория конструкции и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой, И.И. Смирнов, О.В. Верняев, Е.Г. Султан-Шах. – Изд. «Машиностроение». – М., 1977. – 269-273 с.
3. Кондратьев, В.Н. Косилки бильного типа: Вопросы проектирования и эксплуатации / В.Н. Кондратьев. – Минск: РУП «БЕЛНИИ мелиорации и луговодства», 2002. – 40 с.
4. Бильная косилка : пат. 5503 Респ. Беларусь / В.Н. Кондратьев, В.Н. Бобко, С.И. Оскирко; заявка № u20090112 от 16.02.2009, опубл. 30.08.2009 ЦНИС РБ.
5. Фронтальная косилка : пат. 6273 Респ. Беларусь / В.Н. Кондратьев, В.Н. Бобко, С.И. Оскирко, заявка № u 20090916 от 05.11.2009, опубл. 30.06.2010 ЦНИС РБ.
6. Рабочий орган фронтальной косилки : пат. 7351 Респ. Беларусь / В.Н. Кондратьев, В.Н. Бобко, С.И. Оскирко, заявка № u 20100805 от 24.09.2010, опубл. 30.06.2011 ЦНИС РБ.

Summary

Kondratyev V.N., Bobko V.N

THE INFLUENCE OF THE KINEMATIC PARAMETERS OF THE CUTTING DEVICE MOWER ON PERFORMANCE OF CUTTING AND GRINDING HERBS

The authors of the article have developed on the basis of theoretical and experimental studies the working body for the front mower with the cutting device. The mower cuts the stalks at mowing and grinds rude stalk plants, providing lower energy costs by 20-30%. The authors have developed and proposed a number of new cutting devices with a combined cutting stems.

Поступила 7 сентября 2011 г.