

УДК 631.31

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ РОТАЦИОННЫМИ РЕЖУЩИМИ АППАРАТАМИ

В. Б. ПОПОВ, П. Е. ГОЛУШКО, А. А. ИВАНОВ, В. П. ЧАУС

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

Введение

Ротационный режущий аппарат производит срез растений, действуя по принципу косы, т. е. срез стеблей происходит без противорежущего элемента.

Ротационные режущие аппараты для кошения трав и грубостебельных культур характеризуются следующими параметрами:

- 1) захватом одного режущего аппарата – диаметром диска;
- 2) количеством ножей на одном диске;
- 3) количеством режущих аппаратов;
- 4) перекрытием между смежными режущими аппаратами.

Усилие среза $P_{\text{ср}}$ в ротационном режущем аппарате уравнивается (гасится) сопротивлением стебля отгибу $P_{\text{отг}}$ и силой его инерции $P_{\text{ин}}$.

Силы, действующие на стебель при его срезе без подпора, показаны на рис. 1.

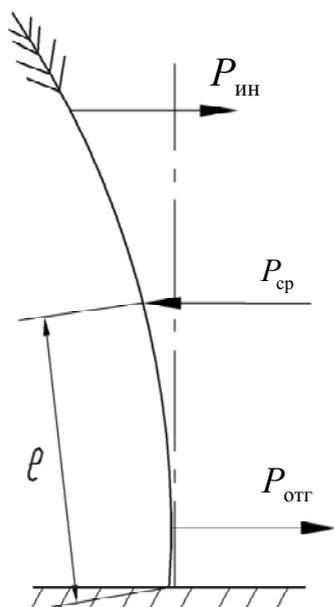


Рис. 1. Силы, действующие на стебель при его срезе ротационным режущим аппаратом

Сопротивление отгибу в основном зависит от физико-механических свойств стебля, а сила инерции – от скорости ножа и массы срезаемого стебля.

Скорость ножа для среза стебля без противорежущего элемента должна быть сравнительно высокой и изменяться в значительном диапазоне (от 10 до 65 м/с).

Целью данной работы является выявление преимуществ и недостатков ротационного режущего аппарата косилок в сравнении с режущими аппаратами возвратно-поступательного действия.

Анализ результатов эксперимента

В Белорусском ИМЭСХ («РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства») были проведены экспериментальные работы по определению необходимой скорости среза стеблей люпина и тимофеевки в зависимости от веса стебля и состояния лезвия ножа (гладкие и насеченные) [1].

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Процент среза травостоя	Окружная скорость ножа при срезе, м/с			
	люпина		тимофеевки	
	Состояние лезвия		Состояние лезвия	
	насеченное	гладкое	насеченное	гладкое
0	1,4	2,2	2,5	3,2
30	2,2	3	6,5	7,9
50	4,2	6	10,4	12,8
70	6,6	9	16,8	20,8
100	10,8	15	30,2	35

При 100%-м срезе стеблей люпина скорость ножа изменяется от 11 м/с при насеченном лезвии ножа до 15 м/с при гладком лезвии.

Для 100%-го среза стеблей тимофеевки скорость ножа должна быть в несколько раз выше, чем при скашивании люпина – 30 м/с для насеченного лезвия и 35 м/с для гладкого лезвия. Из этого можно сделать вывод, что чем больше вес стебля, тем меньше необходима скорость ножа для срезания растений. Как показал эксперимент [1], с уменьшением скорости среза потери зеленой массы увеличиваются из-за неполного среза и увеличения длины стерни.

Как уже было отмечено выше, процесс срезания ротационным режущим аппаратом сопровождается отгибом. Угол наклона лезвия (рис. 2) оказывает влияние на скорость и на усилие сопротивления срезу. При малых углах наклона ($\alpha < 30^\circ$) имеет место значительное сопротивление срезу, с увеличением этого угла ($\alpha > 30^\circ$) сопротивление уменьшается. При увеличении угла наклона лезвия ($\alpha > 45^\circ$) наблюдается выкальзывание стеблей при срезе. Объяснение такому влиянию дано академиком В. А. Желиговским [2].

Если срез стебля происходит без скольжения, что может иметь место при угле наклона лезвия $\alpha = 0^\circ$, то стебель в процессе среза будет перемещаться по траектории, описываемой точкой контакта лезвия со стеблем, при этом величина динамического отгиба будет зависеть от времени среза τ и окружной скорости ножа:

$$f_0 = V_n \cdot \tau, \text{ мм.}$$

На основании изучения процесса замещения свободностоящего стебля найдено условие отсутствия выкальзывания стебля с лезвия:

$$\alpha \leq \varphi,$$

где φ – угол трения стебля о лезвие сегмента.

На основании имеющихся данных [3] угол трения стебля о лезвие находится в пределах: для гладкого лезвия $\varphi = 28^\circ$, для насеченного лезвия $\varphi = 51 - 53^\circ$.

Следовательно, соскакивание стебля с гладкого лезвия будет отсутствовать при $\alpha \leq 28^\circ$.

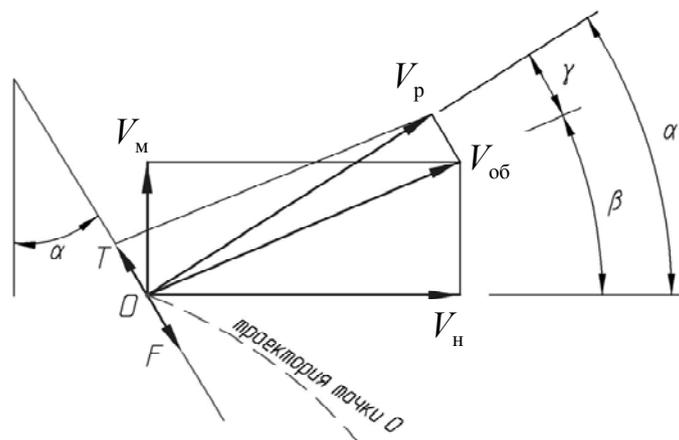


Рис. 2. Иллюстрация влияния угла наклона лезвия ножа

На рис. 3 приведен график изменения скорости среза от угла наклона гладкого и насеченного лезвий ножа [1].

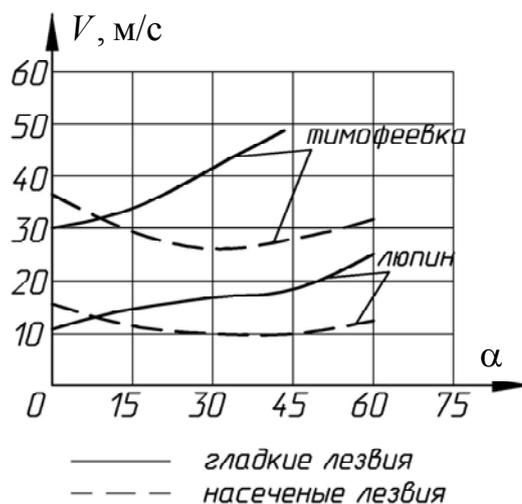


Рис. 3. Зависимость скорости среза культуры от угла наклона лезвия ножа

Как видно из графика, для ножа с насеченным лезвием скорость среза имеет наименьшее значение при угле наклона его от 30 до 45° , для ножа с гладким лезвием – при угле его наклона 0° . Однако срез при этом угле наклона лезвия получается нечистый – со следами обрыва стебля. При угле наклона гладкого лезвия в пределах $15 - 30^\circ$ следы обрыва исчезают и потери мощности будут уменьшаться.

На скорость среза влияет расположение фаски лезвия. Установлено, что при угле наклона фаски 19° при нижнем ее расположении уменьшение скорости среза составляет 25% , при двухсторонней фаске до $30 - 35\%$. Это объясняется тем, что нижнее расположение фаски оказывает влияние на уменьшение усилия сопротивления срезу за счет наличия косого среза. Двухстороннее расположение фаски лезвия позволяет незначительно уменьшить скорость среза по сравнению с нижним ее расположением.

На рис. 4 показан график изменения скорости среза в зависимости от толщины режущей кромки ножа.



Рис. 4. Зависимость скорости среза культуры от толщины режущей кромки ножа

Из графика видно, что с увеличением толщины режущей кромки до 100 мк скорость среза возрастает по кривой второго порядка – участок *a–b*, а потом – пропорционально изменению толщины лезвия – участок *b–c*.

При срезе растений ротационным режущим аппаратом в действительности происходит его скольжение вдоль лезвия к заднему или к переднему основанию сегмента.

Теоретические соотношения

Нож перемещается по направлению абсолютной мгновенной скорости $V_{об}$ (рис. 2), определяемой углом β . Этот угол определяется из выражения

$$\beta = \arctg \frac{V_m}{V_n},$$

где V_m – скорость машины; V_n – скорость ножа.

Для ротационного режущего аппарата всегда $V_m < V_n$, $\beta < 45^\circ$.

Следовательно, у ротационных режущих аппаратов скольжение стебля в процессе резания происходит только к переднему основанию ножа.

Чтобы стебель не скользил по лезвию к переднему основанию сегмента, необходимо соблюдать условие

$$\tg \beta = \frac{V_m}{V_n} \geq \tg(\alpha - \varphi).$$

Наименьшая подача за один оборот ножа, при которой стебель не будет соскальзывать с переднего основания ножа, выражается аналогично соответствующему выражению для возвратно-поступательного режущего аппарата:

$$h_{min} \geq 2\pi \cdot r_n \cdot \tg(\alpha - \varphi),$$

где r_n – вылет передней кромки ножа.

При этом допустимая поступательная скорость машины, зависящая от числа оборотов ножа n , будет:

$$V_{M \min} \geq \frac{n}{60} \cdot h_{\min}.$$

Если число ножей на диске i , то значение минимальной подачи на один нож будет рассчитываться по выражению

$$h'_{\min} \geq \frac{2\pi \cdot r_n}{i} \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varphi).$$

Исходя из теоретических соображений, можно допустить, что в ротационных косилках, использующих соответствующий режущий аппарат, минимально допустимую поступательную скорость агрегата желательнее увеличить в 2–3 раза.

В режущем аппарате ротационного типа нож скашивает за один рабочий ход растительную массу, занимающую площадь:

$$F = \pi \cdot r_0 \cdot h' + \frac{1}{2} \pi \cdot h'^2 \cdot \frac{\pi}{2}.$$

Это соответствует подаче растительной массы с площади, имеющей форму удлиненной циклоиды, заданной в параметрической форме.

Как для возвратно-поступательного, так и для ротационного режущего аппарата существует определенное соотношение λ скорости ножа V_n и скорости машины V_M :

$$\lambda_{\min} = \frac{V_n}{V_{M \max}} = \frac{60 \cdot V_n}{h'_{\max} \cdot i \cdot n} = \frac{2\pi \cdot r_n}{h'_{\max} \cdot i},$$

$$\lambda_{\min} = \frac{V_n}{V_{M \min}} = \frac{2\pi \cdot r_n}{h_{\min}},$$

где $h'_{\max} \cdot i = h_{\max}$ – подача за один оборот ножа.

Если скорость машины не соответствует числу оборотов ножа, то некоторые площадки могут перекрываться ножом дважды, а отдельные – ни разу, что приводит к потерям в виде несрезанных растений.

Поэтому поступательная скорость агрегата должна соответствовать следующему условию:

$$V_M \leq h'_{\max} \cdot \frac{\omega}{2\pi - \alpha_{\text{см}}},$$

где ω – угловая скорость ножа; $\alpha_{\text{см}}$ – угол между двумя смежными ножами.

Расчет усилия среза и определение затрачиваемой мощности

Наибольшее влияние на усилие среза оказывают:

1. Масса стебля (m).
2. Высота среза стебля сельскохозяйственной культуры (H).
3. Физико-механические свойства травы и, в частности, жесткость стебля ($E \cdot J$).
4. Скорость среза стебля (V) и длительность удара режущего инструмента (Δt), вызывающего отклонение стебля.

Таким образом, усилие среза функционально определяется такими характеристиками и параметрами и как: $P_{\text{ср}} = f(m; V; E \cdot J; H; \Delta t)$.

Аналитическая зависимость условия срезания свободно стоящего (без опоры) стебля имеет вид [4]:

$$P_{cp} < \frac{3 \cdot V \cdot \Delta t \cdot E \cdot J}{H^3} + \frac{m \cdot V}{\Delta t}.$$

Отсюда скорость (необходимая для среза стебля) режущего инструмента:

$$V > \frac{P_{cp}}{\left(3 \cdot \Delta t \cdot E \cdot J / H^3 + m / \Delta t\right)}.$$

Экспериментальные исследования в БИМЭСХ [1] по определению мощности, потребляемой на срез травостоя ротационным режущим аппаратом, проводились на уборке люпина и тимофеевки. При этом было установлено, что на холостом ходу с повышением оборотов вала ротационного режущего аппарата потребляемая им мощность возрастает незначительно. В режущем аппарате возвратно-поступательного действия это влияние роста оборотов на потребляемую мощность более заметно.

Величина крутящего момента и мощности, потребляемые ротационным режущим аппаратом с шириной захвата 1,4 м на кошение люпина и тимофеевки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скорость машины, км/ч	Ротационная косилка				Косилка с возвратно-поступательным режущим аппаратом	
	люпин		тимофеевка		n, об/мин	N, л. с.
	M _{кр} , кгм	N, л. с.	M _{кр} , кгм	N, л. с.		
5	5	2,05	5,8	3,16	74	1,5
6	6,7	2,75	7,5	4,1	90	2,7
8	9,2	3,77	10,8	5,9	123	6,9
10	12,5	5,15	16,7	9,1	149	12,2

Графики изменения мощности, потребляемой ротационным и возвратно-поступательным режущими аппаратами, в зависимости от их поступательной скорости представлен на рис. 5.

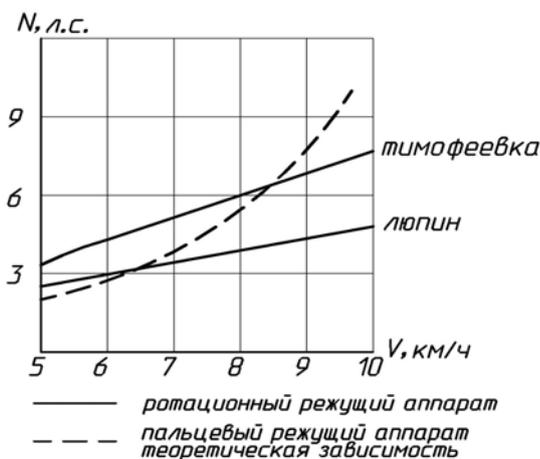


Рис. 5. Связь мощности, потребляемой режущим аппаратом, с поступательной скоростью машины

Как видно из рис. 5, мощность, потребляемая ротационным режущим аппаратом, возрастает пропорционально поступательной скорости комбайна.

Уравнения этих прямых будут иметь следующий вид:

$$N_1 = N_{01} + K_1 \cdot \dot{x} = 2,05 + \operatorname{tg}32^\circ \cdot \dot{x};$$

$$N_2 = N_{02} + K_2 \cdot \dot{x} = 3,16 + \operatorname{tg}50^\circ \cdot \dot{x},$$

где N_1 и N_2 – мощность, потребляемая на кошение люпина и тимофеевки при заданной поступательной скорости; N_{01} и N_{02} – мощность, потребляемая на кошение люпина и тимофеевки при поступательной скорости сельскохозяйственной машины; $V_m = 5$ км/ч; $K_1 = \operatorname{tg} \gamma_1$, $K_2 = \operatorname{tg} \gamma_2$ – угловые коэффициенты; γ_1 и γ_2 – углы наклона прямых к оси абсцисс; $\dot{x} = V_m$ – поступательная скорость сельскохозяйственной машины, км/ч.

Анализ графиков, приведенных на рис. 5, показывает, что для кошения трав со скоростью машины до 6–8 км/ч, учитывая сопутствующие срезу энерготраты, более выгодно использовать сельскохозяйственную машину (косилку) с возвратно-поступательным режущим аппаратом, а при кошении трав со скоростью свыше 6–8 км/ч – косилку с ротационным режущим аппаратом. Это объясняется тем, что при увеличении поступательной скорости машины выше 6–8 км/ч затраты мощности в ротационном режущем аппарате на взаимодействие со срезаемыми стеблями сопровождаются относительно незначительным ростом затрат мощности, потребляемой на холостой ход режущего аппарата этого типа.

Заключение

Преимуществами ротационных косилок при работе на повышенных рабочих скоростях является их малая забиваемость и незначительная вибрация.

Если косилки с пальцевыми режущими аппаратами могут удовлетворительно работать при скоростях 4–7 км/ч, а косилки с двухножевыми беспальцевыми режущими аппаратами при 8–11 км/ч [5], то для режущих аппаратов ротационных косилок допустимы рабочие скорости в 10–15 км/ч.

У ротационных косилок отношение поступательной скорости к скорости резания лежит в пределах от 1 : 22 до 1 : 15 против предельного значения 1 : 1,6 у косилок с возвратно-поступательным режущим аппаратом.

Производительность ротационных косилок на 1 метр захвата равна 0,95–1,4 га/ч, в то время как у косилок с пальцевым аппаратом она равна 0,6–0,65 га/ч, а у косилок с двухножевыми аппаратами 0,7–1 га/ч [6]. Однако мощность, потребная для привода ротационных косилок, сравнительно велика и составляет 15–19 л. с. на 1 м захвата против 8–12 л. с. у косилок с пальцевыми аппаратами и 11–14 л. с. у косилок с двухножевыми аппаратами.

На перерезание растений ротационные косилки расходуют 60–65 % подводимой мощности, в то время как прочие косилки только 30–40 %, т. е. ротационные косилки отличаются относительно высоким КПД.

Ротационные косилки пригодны для работы с низким срезом, но качество их работы и чистота среза не всегда превышают те, которые характерны для косилок с пальцевыми аппаратами. На чистоту среза здесь сильно влияет состояние кромок ножей, причем износ ножей особенно сильно проявляется при повышенной влажности травы и малой жесткости стеблей. Скорость сушки травы в прокосах после ротационных косилок обычно несколько выше скорости сушки травы после работы косилок с пальцевыми аппаратами.

Литература

1. Штомпель, Б. Н. Исследование технологического процесса кошения трав ротационными косилками / Б. Н. Штомпель. – Минск : Акад. с.-х. наук БССР, 1961. – 35 с.
2. Желиговский В. Н. Экспериментальная теория резания лезвием / В. Н. Желиговский / Тр. Моск. ин-та механизации и электрификации сельского хоз-ва. – Москва, 1941. – Вып. IX. – С. 1–28.
3. Турбин, Б. Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1987.
4. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин : учеб. для вузов с.-х. машиностроения / Е. С. Босой [и др.] ; под ред. Е. С. Босого. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1977. – 568 с. : ил.
5. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины / И. А. Долгов. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2003.
6. Резник, Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. – 2-е изд., перераб. – Москва : Машиностроение, 1980. – 375 с. : ил.

Получено 02.09.2009 г.