

МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

УДК 631.352.02:631.311.5

В. А. ШАРШУНОВ¹, Е. И. МАЖУГИН², С. Г. РУБЕЦ²

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ НОЖА РОТОРНОЙ КОСИЛКИ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ

¹Могилевский государственный университет продовольствия

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

(Поступила в редакцию 21.12.2010)

Скашивание травянистой и кустарниковой растительности является одной из важнейших технологических операций при обслуживании дорог, дамб, мелиоративных каналов. Благодаря высокой производительности и достаточной надежности для выполнения данного вида работ обычно применяют сельскохозяйственные или созданные на их основе дорожные или мелиоративные многороторные косилки с шарнирно закрепленными ножами. Обзор конструкций косилок наиболее полно приведен в работе [1]. Многороторные косилки работают по принципу бесподпорного срезания растительности. Типичная конструкция режущего аппарата такой косилки приведена на рис. 1. Роторы 3 с шарнирно закрепленными на них ножами 4, установленные на редукторе 2 с приводными шестернями, вращаются обычно попарно встречно с большой скоростью, необходимой для срезания растительности, за счет силы инерции срезанного стебля. Вращение обеспечивается приводом 1, связанным с валом отбора мощности трактора или гидромотором.

Параметры режущего аппарата и режимы работы сельскохозяйственных косилок достаточно хорошо изучены как практически, так и теоретически, однако выполнение работ на мелиоративных объектах имеет свои особенности. К ним относится то, что косилки в основном окашивают наклонные поверхности (откосы каналов, дамб, дорог), данные поверхности обычно неровные, травянистая растительность часто имеет грубые стебли. Однако главной проблемой, возникающей при обслуживании мелиоративных объектов и дорог, является то, что в периметре каналов и на откосах дорог допускается наличие кустарниковой поросли, которая часто перерастает в кустарник и даже мелколесье. Поэтому для мелиоративной косилки требуется не только высокая скорость ножей, обеспечивающая качественное срезание тонкостебельной травянистой растительности, но и высокая энергия воздействия ножей на жесткие стебли, срезание которых происходит за счет удара ножа по стеблю.

Элементом режущего аппарата, непосредственно осуществляющим его главную функцию – срезание растений, является нож. Несмотря на достаточно продолжительный опыт эксплуатации, ножи современных роторных режущих аппаратов имеют большое разнообразие форм, это делает актуальной задачу поиска рациональной конструкции ножа, особенно для условий работы мелиоративных косилок и обоснования его геометрических параметров.

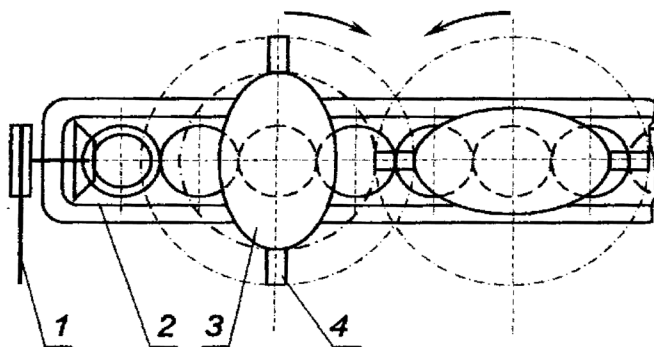


Рис. 1. Схема режущего аппарата многороторной косилки

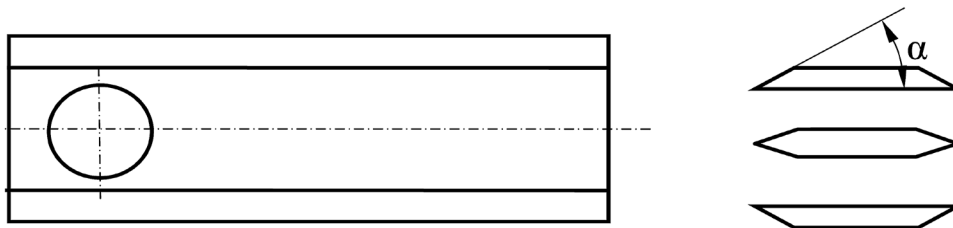


Рис. 2. Форма ножа и рассматриваемые варианты заточки режущих кромок

Одним из наиболее эффективных путей усовершенствования ножей роторных косилок является оптимизация их геометрических параметров, при этом эффективность любого процесса механического резания во многом предопределяется параметрами режущей части ножа.

Цель настоящей работы – теоретическое и экспериментальное обоснование геометрических параметров режущей кромки ножа роторной косилки, предназначенной для работы на мелиоративных и им подобных объектах.

Нож роторной косилки, как правило, представляет собой вытянутую стальную пластину (рис. 2) с отверстием для болта на одном из ее концов и имеет заостренные боковые режущие кромки.

Режущую кромку ножа обычно получают путем образования фаски на боковой кромке за счет снятия металла под углом α (см. рис. 2), который является углом заточки режущих кромок. Возможны три варианта расположения режущей кромки: фаска расположена сверху (верхняя заточка), с двух сторон (двухсторонняя заточка) и снизу (нижняя заточка).

Рассмотрим силы, действующие на режущую кромку ножа (рис. 3), приняв за основу схему, предложенную академиком И. Ф. Василенко [2]. В соответствии с этой схемой, режущая кромка упрощенно представляется состоящей из верхней и нижней фасок и незаостренной части толщиной $\Delta_{лр}$.

На незаостренную часть режущей кромки ножа, имеющую толщину $\Delta_{лр}$, действует сила

$$F_p = \sigma_p S_{кр}, \quad (1)$$

где σ_p – разрушающие напряжения; $S_{кр}$ – площадь нагруженной части режущей кромки.

На верхнюю фаску режущей кромки действует сила

$$F_b = F_{от} + F_{см} + F_c, \quad (2)$$

где $F_{от} = \sigma_{от} S_b$ – сила, вызываемая отгибом стебля (отклонение относительной скорости среза); $\sigma_{от}$ – составляющая напряжений, вызываемых отгибом стебля; S_b – площадь нагруженной части верхней фаски режущей кромки; $F_{см} = \sigma_{см} S_b$ – сила смятия, вызываемого раздвиганием материала стебля фасками режущей кромки ножа; $\sigma_{см}$ – составляющая напряжений от указанного смятия; $F_c = \sigma_c S_b$ – сила, возникающая от обжатия стеблем режущей кромки за счет прогиба стебля; σ_c – составляющая напряжений смятия от обжатия режущей кромки ножа.

На нижнюю фаску режущей кромки действует сила

$$F_n = F_{см} + F_c, \quad (3)$$

где $F_{см} = \sigma_{см} S_n$ и $F_c = \sigma_c S_n$ – сила смятия, вызываемого раздвиганием материала стебля фасками режущей кромки ножа, и сила, возникающая от обжатия стеблем режущей кромки ножа за счет прогиба стебля.

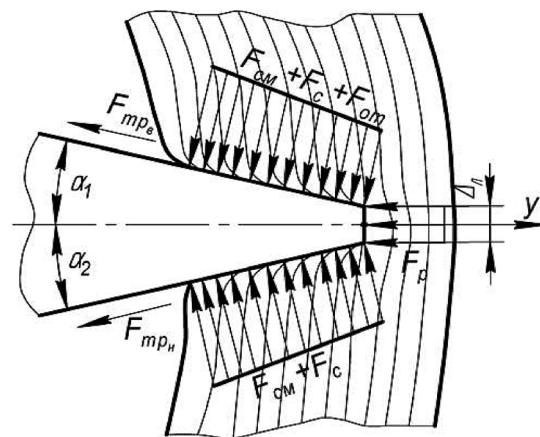


Рис. 3. Силы, действующие на режущую кромку ножа

Нормальные силы на фасках вызывают силы трения

$$F_{\text{тр}_b} = fF_b, \quad (4)$$

$$F_{\text{тр}_n} = fF_n \quad (5)$$

(f – коэффициент трения).

Тогда сопротивление срезанию выразится суммой проекций сил на направление перемещения ножа

$$F = F_p + F_{\text{тр}_b} (\sin \alpha_1 + f \cos \alpha_1) + F_{\text{тр}_n} (\sin \alpha_2 + f \cos \alpha_2), \quad (6)$$

где α_1 и α_2 – углы, образуемые верхней и нижней фасками режущей кромки ножа с плоскостью перемещения ножа.

В процессе срезания растительный элемент отклоняется, что обуславливает наклонность плоскости среза относительно плоскости перемещения режущей кромки (траектории a_1, b_1 и a_2, b_2), а следовательно, и отклонение относительной скорости частиц, прилегающих к плоскости среза (рис. 4).

Максимальный угол между относительной скоростью и плоскостью одной из фасок режущей кромки, как это изображено на рис. 4, при верхней заточке равен

$$\alpha_b = \alpha + \alpha_V, \quad (7)$$

где α – угол заточки режущей кромки; α_V – угол отклонения $V_{\text{от}}$ от плоскости перемещения режущей кромки.

При нижней заточке аналогичный угол α_n равен большему из углов α или α_V , однако, в обоих случаях

$$\alpha_b \geq \alpha_n, \quad (8)$$

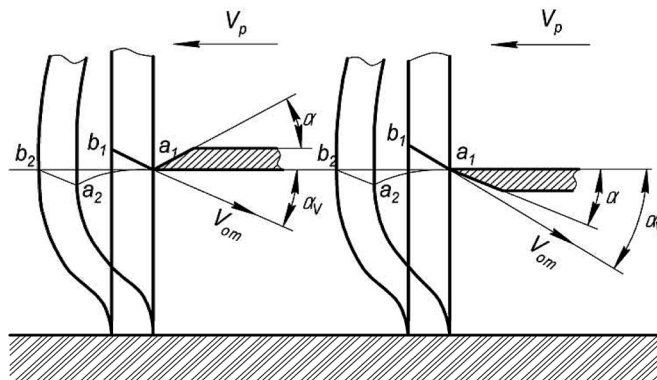
следовательно, для бесподпорного срезания при нижнем расположении фаски создаются лучшие условия. Однако применение нижней заточки является нецелесообразным, так как это ведет к увеличению высоты среза, кроме того при срезании кустарниковой растительности действующие на режущую кромку силы будут способствовать изгибанию ножа вверх, что может привести к поломке ножа.

Для оценки силы сопротивления срезанию рассмотрим уравнение (6). При верхней заточке ($\alpha_2 = 0$) сопротивление срезанию равно

$$F_1 = F_p + F_{\text{тр}_b} (\sin \alpha_1 + f \cos \alpha_1) + F_{\text{тр}_n} f, \quad (9)$$

а при нижней заточке ($\alpha_1 = 0$)

$$F_2 = F_p + F_{\text{тр}_n} (\sin \alpha_2 + f \cos \alpha_2) + F_{\text{тр}_b} f, \quad (10)$$



Если $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, то, вычитая (9) из (10), получаем

$$F_2 - F_1 = (F_{\text{тр}_n} - F_{\text{тр}_b}) \sin \alpha + f(F_{\text{тр}_b} - F_{\text{тр}_n})(1 - \cos \alpha). \quad (11)$$

После преобразования и замен это выражение примет следующий вид:

$$F_2 - F_1 = [\sin \alpha - f(1 - \cos \alpha)] \sigma_{\text{от}} S, \quad (12)$$

Рис. 4. Срезание растительного элемента ножами с верхней и нижней заточками

но $|\sin \alpha| \geq |1 - \cos \alpha|$, поэтому $F_2 \geq F_1$.

Следовательно, при верхнем расположении фаски режущей кромки сопротивление срезанию будет меньше по сравнению с нижним расположением.

Предварительное изучение позволило установить, что режущая кромка (начальная острота 25–30 мкм) затупляется в процессе работы до 100–120 мкм, причем острота в этих пределах сохраняется довольно устойчиво [8]. Данные результаты подтверждают исследования, выполненные Б. Н. Штомпелем [9].

Для экспериментальной оценки влияния геометрии режущей кромки на усилие срезания нами была изготовлена установка, схема которой приведена на рис. 5, и в июне 2010 г. проведены лабораторные исследования на кафедре мелиоративных и строительных машин Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

Установка состоит из стойки 1, к которой крепится основной рычаг 2, на основном рычаге при помощи трех болтов прикреплена режущая пластина 3. Основной рычаг при помощи динамометра 6 связан с дополнительным рычагом 7.

При высокой скорости резания ствола кустарниковой растительности, закрепленного в грунте корневой системой, в месте срезания ствола растительности 4 происходит инерционный подпор. Так как роторный рабочий орган работает по принципу бесподпорного резания, то для крепления ствола использовали трехкулачковый патрон токарного станка 5, обеспечивающий жесткую фиксацию стебля.

Для обеспечения параллельности перемещения режущей пластины во время срезания в стойке сделаны отверстия 8, что позволяет перемещать основной рычаг.

Для исключения влияния изгибающих деформаций на сопротивление срезанию длина выступающей из трехкулачкового патрона части образца равнялась двойному диаметру исследуемого образца, при этом высота срезания принималась равной 5 мм, что обеспечивалось перемещением трехкулачкового патрона с исследуемыми образцами кустарниковой растительности.

В качестве исследуемых элементов использовали режущие пластины с односторонней заточкой (рис. 6, а) и двухсторонней заточкой (рис. 6, б), что позволило обеспечить верхнюю, двухстороннюю и нижнюю заточки режущей кромки.

Режущие пластины выполнены из стали 65Г с углом заточки 20, 25, 30, 35 и 40°. Толщина пластин h соответствует наиболее распространенной толщине ножей роторной косилки и равна 5 мм. Длина пластин l составила 80 мм.

Замер сопротивления срезанию образцов проводили поверенным динамометром ДПУ-0,02–2 по ГОСТ 9409–60, цена деления 20 Н, 2-й класс точности.

Диаметр образцов измеряли штангенциркулем по ГОСТ 166–80, цена деления 0,1 мм. Измерения проводили по трем диаметрам, расположенным под углом друг к другу примерно в 120°.

Число повторностей в каждом опыте определяли как необходимый объем выборки из неограниченной совокупности по формуле [3]

$$n_b = \frac{t_c^2 \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (14)$$

где n_b – число повторностей опыта, шт.; t_c – критерий Стьюдента; σ – среднее квадратическое отклонение, %; Δ – возможная ошибка средней величины, %.

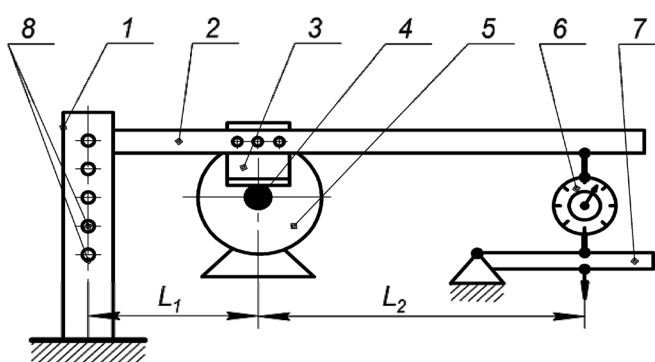


Рис. 5. Схема экспериментальной установки

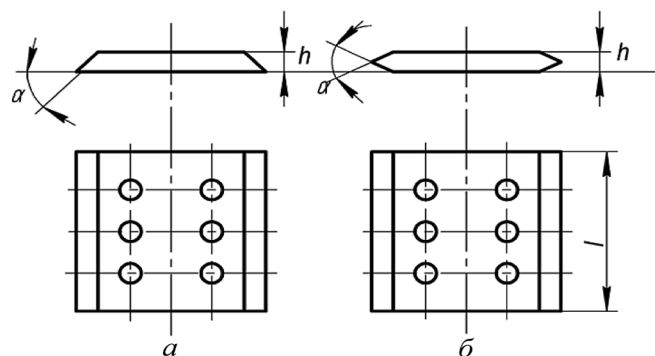


Рис. 6. Схема исследуемых режущих элементов: а – односторонняя заточка, б – двухсторонняя заточка

Значение критерия Стьюдента зависит от избранного уровня значимости. В расчетах принимаем $t_c = 2,447$ и $\sigma = 0,5$ [4].

Каждый опыт проводили с трехкратной повторностью. При этом вероятность охвата генеральной средней в исчисленных пределах равна 0,95, что удовлетворяет требованиям, так как значение относительной величины предельной ошибки при исследовании сельскохозяйственных процессов рекомендуется выбирать в пределах 3–5% [6, 7].

По имеющимся данным [5] наиболее часто на каналах мелиоративных систем встречаются береза, осина, ольха, крушина, тополь, ива, лоза, которые чаще всего закрепляются на откосах самосевом и растут достаточно быстро, поэтому для исследований были заготовлены стволы осины и лозы диаметром 21–24 мм, срезанные в вегетационный период.

По результатам проведенных исследований были построены экспериментальные кривые, которые аппроксимированы логарифмическими линиями, так как величина достоверности аппроксимации для данного вида кривой наиболее приближена к 1 по сравнению с остальными рассматриваемыми линиями аппроксимации (экспоненциальная, линейная, полиномиальная и степенная). Уравнения аппроксимирующих линий и величина достоверности аппроксимации представлены в таблице.

Уравнения аппроксимированных линий и величина достоверности аппроксимации

Вариант заточки режущей кромки	Уравнения аппроксимированных линий	Величина достоверности аппроксимации (R^2)
Двухсторонняя	$y = 284\ln(x) - 764,6$	0,955
Верхняя	$y = 212\ln(x) - 409,4$	0,868
Нижняя	$y = 204,3\ln(x) - 571,9$	0,885

Анализ таблицы показывает, что наиболее достоверно зависимость геометрических параметров режущей кромки ножа от сопротивления срезанию кустарниковой растительности описывается логарифмической кривой при двухстороннем варианте заточки режущей кромки.

Экспериментальные данные свидетельствуют (рис. 7), что при испытании образцов кустарниковых пород сопротивление срезанию постоянно возрастает с увеличением угла заточки режущей кромки ножа (от 90–170 Н при 20° до 270–320 Н при 40°). При этом следует отметить значительное увеличение сопротивления срезанию кустарниковой растительности при угле заточки режущей кромки ножа 30°. Наименьшее сопротивление срезанию, кустарниковой растительности наблюдается при двухсторонней и верхней заточках режущей кромки ножа, что подтверждает теоретические предпосылки, изложенные выше. Кроме того, результаты исследований показывают, что при угле заточки режущих кромок $\alpha \geq 35^\circ$ расположение режущей кромки не оказывает существенного влияния на сопротивление срезанию кустарниковой растительности.

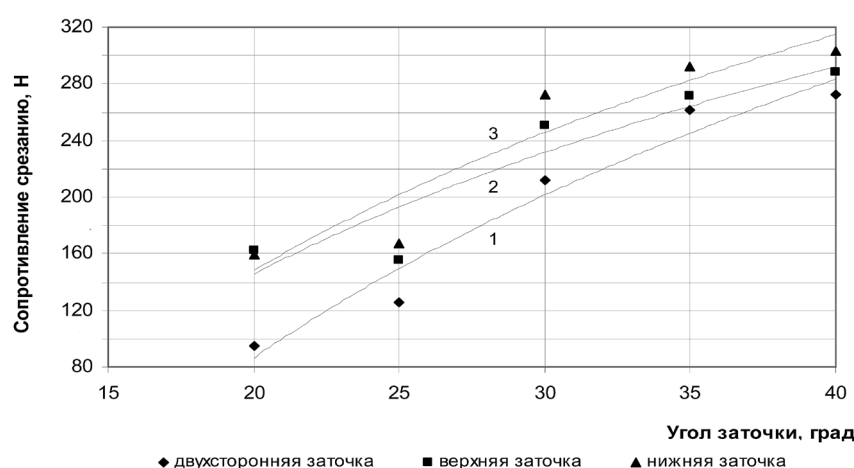


Рис. 7. Влияние угла заточки и расположения режущей кромки ножа на сопротивление срезанию кустарниковой растительности: 1 – аппроксимация экспериментальной кривой логарифмической при двухсторонней заточке; 2 – аппроксимация экспериментальной кривой логарифмической при верхней заточке; 3 – аппроксимация экспериментальной кривой логарифмической при нижней заточке

Выводы

Теоретические исследования показали, что рациональным является вариант верхней заточки режущей кромки ножа, при котором сопротивление срезанию растительности ниже, чем при нижнем варианте. Представлена лабораторная установка и методика проведения исследований для экспериментальной оценки влияния геометрии режущей кромки ножа роторной косилки на усилии срезания кустарниковой растительности. Полученные результаты экспериментальных исследований не противоречат теоретическим предпосылкам. Исследования показали, что рациональными геометрическими параметрами режущей кромки ножа роторной косилки при срезании кустарниковой растительности на мелиоративных объектах будут угол заточки режущей кромки 20–25° и верхняя либо двухсторонняя заточка режущих кромок ножа.

Литература

1. М а ж у г и н, Е. И. Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов / Е. И. Ма- жугин. – БГСХА: Горки, 2010. – 333 с.
2. В а с и л е н к о, И. Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин // Труды ВИСХОМ. – Сб. 5. – М., 1937. – С. 7–114.
3. В о л ь ф, В. Г. Статистическая обработка опытных данных / В. Г. Вольф. – М.: Колос, 1966. – 255 с.
4. Г м у р м а н, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1972. – 358 с.
5. Т и т о в, В. Н. Определение характеристики древесно-кустарниковой растительности на каналах мелиора- тивных систем / В. Н. Титов, К. А. Гуцанович // Мелиорация. – 2009. – № 1(61). – С. 222–228.
6. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки: ГОСТ 23728–88 – ГОСТ 23730–88. – Введ. 01.08.88. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 25 с.
7. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений / Б. А. Воронюк [и др.]. – М.: Колос, 1970. – 423 с.
8. Ф о м и н, В. И. Исследование процесса бесподпорного среза трав / В. И. Фомин // Сб. науч. тр. ВИСХОМа. – М.: ВИСХОМ, 1962. – Вып. 39: Исследование новых технологических процессов и рабочих органов сеноуборочных машин. – С. 3–56.
9. Ш т о м п е л ь, Б. Н. Исследование технологического процесса кошения трав ротационными косилками / Б. Н. Штомпель. – Минск: Изд-во Акад. с.-х. наук БССР, 1961. – 51 с.

V. A. SHARSHUNOV, E. I. MAZHUHIN, S. G. RUBETS

SUBSTANTIATION FOR GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE KNIFE EDGE OF A MOWING MACHINE TO BE USED ON RECLAMATION OBJECTS

Summary

Theoretical and experimental research on the substantiation of geometrical parameters of the knife cutting edge in a rotary mower while cutting bush vegetation on reclaimed lands shows that the rational parameters of a knife can be either an upper or a two-side sharpener of cutting edges, the sharpening angle of which is about 20–25°.