

**А. А. Шупилов<sup>1</sup>, В. Б. Ловкис<sup>1</sup>, Э. В. Дыба<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dekanat\_amf@bsatu

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **АДАПТАЦИЯ РЕЖИМНО-КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОЙ КОСИЛКИ-ПЛЮЩИЛКИ К ВИДУ И СОСТОЯНИЮ ТРАВ**

*Аннотация.* В статье приведены результаты исследований по адаптации процесса механической обработки трав при скашивании билльным плющильным устройством к особенностям строения и физиологическим свойствам кормовых культур, представлены теоретические основы взаимодействия рабочих органов с растениями и предложения по повышению эффективности обработки трав для интенсификации их сушки.

*Ключевые слова:* косилка, трава, плющение, барабан, срез, метод, стебель.

**A. A. Shupilov<sup>1</sup>, V. B. Lovkis<sup>1</sup>, E. V. Dyba<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dekanat\_amf@bsatu

<sup>2</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

## **ADAPTATION OF MODE-DESIGN PARAMETERS OF A ROTARY MOWER-CONDITIONER TO THE TYPE AND CONDITION OF GRASSES**

*Abstract.* The article presents the results of studies on the adaptation of the process of mechanical processing of herbs when mowing with a billet-type ivy device to the peculiarities of the structure and physiological properties of feed crops, presents the theoretical foundations of interaction of working organs with plants and proposals for increasing the efficiency of processing herbs for intensifying their drying.

*Keywords:* mower, grass, ivation, drum, slice, method, stem.

### **Введение**

Плющение трав при скашивании является наиболее известным и простым приемом интенсификации сушки бобовых и бобово-злаковых травосмесей, характеризующихся неравномерностью влагоотдачи, который широко используется в конструкциях современных ротационных косилок. Ряд предприятий в стране освоили производство косилок с плющильными устройствами билльного типа [1].

Для обеспечения высокой эффективности процесса плющения трав необходимо научно обоснованно осуществлять проектирование конструкций рабочих органов, определять параметры и режимы их работы с учетом особенностей строения и физиологических свойств кормовых культур.

### **Основная часть**

При обосновании конструкции рабочих органов для эффективного их воздействия на стебли принимали во внимание выполнение двух основных условий:

- воздействие рабочих органов на скошенную массу должно вызывать повреждения покровных тканей по длине стебля, в несколько раз превышающей его диаметр;
- воздействие рабочего органа на стебель для предотвращения измельчения растения следует производить в плоскости, имеющей наибольшую энергоемкость для его перебивания.

Выполнение первого условия обеспечивает эффективность обработки массы, второго – минимум потерь от измельчения.

Характер получаемых стеблем повреждений зависит от вида удара рабочего органа по стеблю. Так, например, поперечный удар по стеблю не удовлетворяет первому условию: воздействие рабочего органа на движущийся стебель в поперечной плоскости приводит лишь к его прегибу, образуя минимально возможную площадь повреждения покровных тканей. При этом существует опасность перебивания стеблей.

Повреждение стеблей при помощи расщепляющих ударов также не отвечает вышеуказанным условиям. Объясняется это тем, что расщепление цельного стебля, имеющего большую длину и малый диаметр, торцевым ударом невозможно без его измельчения при острой рабочей кромке (лезвии) и трудно выполнимо при тупой рабочей кромке (планке) рабочего органа.

При определении плоскости воздействия рабочего органа на стебель в процессе обработки трав исходили из теории энергоемкости процесса резания растений [2–4]. Определив из теории резания плоскость воздействия на стебель, где срез наиболее энергоемкий, и «заменяя» нож плющильной планкой рабочего органа бильного устройства, исключаяющей этот срез, можно теоретически обосновать принцип деформации стебля – повреждение покровных тканей бильными рабочими органами. Воздействуя планкой в плоскости наиболее энергоемкого разделения растения на части, обработку трав бильным устройством можно производить эффективно без значительных потерь от измельчения стеблей.

В исследованиях проф. Л. П. Краморенко [2] отмечается, что резание под углом  $45^\circ$  к оси стебля значительно снижает усилие на работу по сравнению с резанием поперек стебля. В статье С. Д. Трофимова [3] указывается, что с увеличением угла между плоскостью среза и торцевой плоскостью стебля усилие и работа снижаются по закону прямой линии. Однако, поскольку в его опытах угол среза не превышал  $50^\circ$ , вопрос о полном исследовании процесса резания стебля не рассматривался.

Исследуя возможные варианты взаимного положения ножа и стебля в процессе резания, Н. В. Тудель и В. М. Верхуша [4] в своей работе сделали вывод, что важнейшими факторами, влияющими на резание стебля, являются углы расположения плоскости среза и скорости ножа относительно торцевой плоскости стебля.

На рис. 1 приведена схема момента удара планки рабочего органа бильного устройства по стеблю в системе координат XYZ и указаны углы, характеризующие положение планки рабочего органа относительно стебля. Положение планки должно обеспечивать механическое отделение эпидермиса (покровных тканей) от субэпидермальной ткани по длине стебля без нарушения целостности растения.

Плоскость действия планки рабочего органа на стебель пересекает продольную плоскость XOY по линии mn (линия нормальной кромки планки), перпендикулярной к вектору скорости V. Косой срез на передней вершине планки позволяет производить деформацию стеблей при ударе со скольжением (рис. 1).

Удар планки по стеблю характеризуется двумя углами: углом  $\chi$  отклонения планки относительно торцевой поверхности стебля в плоскости XOY и углом  $\Theta$  наклона планки относительно торцевой поверхности стебля плоскости XOZ. При помощи этих углов определяются все виды ударов планки по стеблю. Исходя из числового значения данных углов определяется вид ударов планки по стеблю (рис. 1), которые могут быть:

- поперечными ( $\chi = 0^\circ$  и  $\Theta = 0^\circ$ );
- косыми ( $\Theta = 0^\circ$  и  $0^\circ < \chi < 90^\circ$ );
- наклонными ( $\chi = 0^\circ$  и  $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ );
- наклонно-косыми ( $0^\circ < \chi < 90^\circ$  и  $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ ).

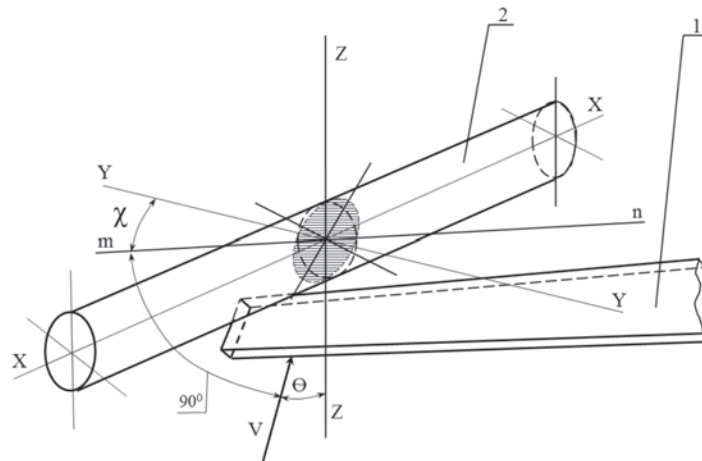


Рис. 1. Положение планки рабочего органа бильного барабана при воздействии на стебель растения:  
1 – планка рабочего органа; 2 – стебель растения

Расщепляющие продольные углы:

торцовый ( $\Theta = 90^\circ$  и  $\chi = 90^\circ$ );

продольный ( $\chi = 90^\circ$ , от угла  $\Theta$  не зависит);

торцово-продольный ( $\Theta = 90^\circ$  и  $0^\circ < \chi < 90^\circ$ ).

Косой, наклонный, торцово-продольный удары планки имеют один переменный угол ( $\chi$  или  $\Theta$ ) и являются переходными. Ее наклонно-косой удар характеризуется изменением обоих углов ( $\chi$  и  $\Theta$ ) на всем интервале их значений от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , кроме предельных, что дает основание считать их наиболее общим случаем при воздействии планки на стебель. Наклонно-косой удар сочетает в себе свойства всех остальных видов ударов и может рассматриваться как переходный от косого к торцово-продольному путем изменения угла  $\Theta$ .

В трудах Н. В. Тудель, В. М. Верхуша предложили формулу для определения полной работы по перерезанию стебля в общем случае при наклонно-косом срезе, по которой построили пространственную диаграмму работы при этом срезе [4]. По данной диаграмме определены плоскости под углами  $\chi \geq 75^\circ$  и  $\Theta \geq 60^\circ$  наиболее энергоемкого разделения стебля на части срезом. Сделав допущение, что планка рабочего органа для обработки травы представляет собой нож с «тупым» лезвием, можно предположить, что срез в данных плоскостях не происходит – при ударе планкой повреждается только покровная ткань стебля без его перебивания.

При ударе планкой бильного рабочего органа под углами  $\chi \geq 75^\circ$  и  $\Theta \geq 60^\circ$  возможна лишь деформация стеблей путем смятия и разрушения на большой длине покровных тканей. Объясняется это тем, что необходимые энергетические затраты на перебивание стеблей при воздействии планок с определенным усилием в плоскостях с указанными углами значительно превышают энергию, необходимую для возможного их перебивания под меньшими углами.

Учитывая, что поступающие в бильное устройство стебли в основной массе ориентированы в одной плоскости – вдоль прохода косилки, можно сделать заключение о возможности обработки скошенных растений наклонно-косым ударом.

В результате анализа основных возможных видов ударов рабочего органа по стеблю растения обосновано расположение на барабане рабочих органов с отклонением планок от радиального положения на угол, равный  $15^\circ$ , которые при установке на одном кронштейне должны образовывать рабочий орган V-образной формы с углом раствора  $30^\circ$ .

Длина планок рабочих органов определяется исходя из толщины потока травы, поступающего от режущего аппарата, который имеет величину по результатам исследований в диапазоне 100–150 мм. При рабочей длине планок менее 100 мм эффективность воздействия планок на стебли за счет наклонного удара снижается.

Исходя из расчетной длины рабочих органов определен диаметр бильного барабана, который является значимым параметром конструкции плющильного аппарата. Для предотвращения по-

вторного воздействия рабочего органа на один и тот же участок стебля растение должно изменить свое положение относительно вращающихся планок, исходя из чего диаметр барабана должен быть по расчетам не менее 0,4 м.

Вместе с тем, при проектировании бильного барабана необходимо учитывать диаметр трубы, на которой устанавливаются рабочие органы, из условия предотвращения наматывания растений.

Диаметр бильного барабана с учетом длины планок рабочих органов ( $h = 0,10-0,15$  м) определяется из выражения:

$$D = 1,2 - 1,3 \frac{H}{\pi} + 2h, \quad (1)$$

где  $H$  – высота травостоя, и по расчету должен составлять 0,60–0,70 м.

Расстановку рабочих органов на поверхности бильного барабана целесообразно производить по винтовым линиям, поскольку при этом обеспечивается обработка покровных тканей стеблей на большой длине. Обработка стеблей растений осуществляется за счет пересечения криволинейной траектории движения стеблей по деке плющильного устройства, вследствие расстановки рабочих органов на барабане по винтовой линии, с радиальной плоскостью действия отдельных планок рабочих органов на движущийся в зазоре поток травы. Применение винтовой (двухходовой) линии расположения рабочих органов способствует более равномерному распределению поступающей в зазор плющилки травы по всей поверхности (длине) бильного барабана.

Для повышения эффективности обработки стеблей целесообразно расстановку рабочих органов второго захода по винтовой линии осуществлять с осевым смещением относительно первого на величину, равную половине расстояния между вершинами планок V-образного рабочего органа.

Важнейшей составляющей обеспечения эффективного плющения стеблей является частота вращения бильного барабана. При максимальной поступательной скорости косилки 4,2 м/с и радиусе барабана 0,3 м частота вращения должна составлять не менее 134,0 мин<sup>-1</sup>. Однако, учитывая V-образную конструкцию рабочих органов, не обеспечивающую захват растений с первого воздействия планок, необходимая частота вращения определяется из условий  $n = 134,0 \cdot r$ , где  $r$  – число ударов рабочих органов по стеблю.

При поступлении растения в радиальном направлении за один оборот барабана на него воздействуют два V-образных рабочих органа. Исходя из условий, что захват растения рабочими органами осуществляется за два-три оборота барабана, частота вращения его должна находиться в диапазоне 540–800 мин<sup>-1</sup>.

При выборе частоты вращения барабана необходимо учитывать в обязательном порядке вид обрабатываемых растений, поскольку коэффициент трения, а следовательно, и силы трения о рабочие органы при захвате у разных видов растений имеют свое значение. Клевер, имеющий по сравнению со злаковыми большой коэффициент трения, а также с учетом особенностей его строения и крепления листьев целесообразно обрабатывать при частоте вращения барабана, близкой к нижней границе – 600 мин<sup>-1</sup>. Для обработки злаковых культур, имеющих более жесткий и менее облиственный стебель, частота вращения должна быть выше, ближе к верхней границе диапазона – 800 мин<sup>-1</sup>.

В отдельных серийно выпускаемых косилках-плющилках привод бильного барабана косилки не позволяет изменять частоту вращения рабочих органов при плющении разных видов кормовых культур (клевер, злаковые, травосмеси). Кроме того частота вращения барабана имеет завышенное значение – 1000 мин<sup>-1</sup>, что приводит к излишним энергозатратам и потерям от переизмельчения, особенно бобовых культур. Доработка привода плющильного устройства косилки для установки частоты вращения барабана, необходимой для обработки бобовых культур, позволит адаптировать технологическую операцию к виду и состоянию убираемой культуры.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о существенном влиянии ориентации стеблей при поступлении в барабан на отрыв листьев и соцветий, измельчение стеблей, которые могут теряться при дальнейших операциях. Подача растений в бильный барабан более толстой и менее облиственной прикорневой частью стебля позволяет дифференцированно производить об-

работку стеблей по длине растения, значительно снизить возможные потери от обивания листьев и соцветий, молодых побегов.

В конструкциях косилок-плющилок предусмотрен передний брус перед режущим аппаратом для крепления защитного полога, который отклоняет вершины растений перед срезом вперед по ходу движения косилки. Однако его расположение относительно режущего аппарата и отсутствие возможности изменять высоту его положения в зависимости от высоты скашиваемого травостоя зачастую приводит к излишним потерям.

С целью обеспечения подачи стеблей в бильный барабан в радиальном направлении прикорневой частью перед режущим аппаратом косилки необходимо устанавливаемый по высоте брус, производящий перед скашиванием отгиб вершин стеблей растений вперед по ходу движения косилки.

Учитывая, что более 70 % листьев клевера находится на вершине растения, составляющей 1/3 его длины, для выполнения данного условия необходимо воздействовать брусом на растения на высоте, составляющей не менее 2/3 средней высоты убираемого травостоя.

Зазор между вершинами планок рабочих органов и поверхностью деки, частично охватывающей барабан, в значительной мере определяет качественные и энергетические показатели работы бильного плющильного устройства. Посредством изменения величины зазора бильное плющильное устройство адаптируется к свойствам и состоянию, урожайности обрабатываемой культуры. Результаты проведения исследований [5] свидетельствуют об эффективности сушки травы, обработанной при соотношении зазоров на входе и выходе с барабана, близком к 2:1. В конструкции косилки необходимо предусмотреть установку и изменение положения деки при регулировке таким образом, чтобы зазор на входе имел значение в два раза больше, чем на выходе. Это позволит уменьшить энергозатраты на обработку травы и обеспечит более адаптированный приток энергии к захватываемым в зазор растениям и, следовательно, уменьшит обивание листьев и соцветий. Технологическую настройку плющильного аппарата косилки целесообразно осуществлять за счет изменения зазора на входе деки.

### **Заключение**

Использование приведенных результатов исследований при разработке и совершенствовании ротационных косилок-плющилок позволит научно обоснованно осуществлять проектирование конструкций рабочих органов, определять параметры и режимы их работы, обеспечивать высокую эффективность процесса плющения скашиваемых трав.

### **Список использованных источников**

1. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования / П. П. Казакевич [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 481–491.
2. Крамаренко, Л. П. Сопротивление растений перерезанию: Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / Л. П. Крамаренко. – М.-Л.: Сельхозиздат, 1936. – Т. 2.
3. Трофимов, С. Д. Исследование косо́го среза толстостебельных растений / С. Д. Трофимов // Сельхозмашина. – 1957. – № 5. – С. 6–7.
4. Тудель, Н. В. Исследование энергоёмкости процесса резания толстостебельных растений / Н. В. Тудель, В. М. Верхуша // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. – № 1. – С. 25–28.
5. Шупилов, А. А. Ускорение процесса влагоотдачи путем обработки трав бильным устройством косилки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. А. Шупилов ; Центральный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Нечерноземной зоны СССР. – Минск, 1991. – 24 с.