

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЗАХВАТА СЛОЯ СТЕБЕЛЬЧАТОЙ МАССЫ ВАЛЬЦОВЫМ УСТРОЙСТВОМ СО ШТИФТАМИ

С.К. Журиба, инженер, И.М. Лабоцкий, канд. техн. наук, А.В. Наумик, аспирант (РУП "Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства")

Аннотация

Рассмотрены условия захвата слоя стебельчатой массы вальцовым устройством со штифтами и приведены выводы формулы для определения пропускной способности устройства.

Введение

Заготовить сено и сенаж в короткие сроки и высокого качества невозможно без применения дополнительной обработки скошенной массы. Для обработки скошенной массы в Беларуси применяют, в основном, косилки с кондиционерами бильного типа. Данные кондиционеры обеспечивают неплохое качество обработки злаково-бобовых травостоев, но при обработке клевера или люцерны данные косилки создают много мелких частиц, основная часть из которых листья и соцветия. Особенно это имеет место, если стебли в барабан подаются не прикорневой частью (местом среза), а верхушками или боковой поверхностью, а также при неправильных регулировках зазоров между декой и бичами [1]. Мировой опыт показывает, что сокращение потерь при обработке бобовых трав возможно лишь с применением косилок с плющильными вальцами. Все известные зарубежные фирмы-производители сельскохозяйственной техники выпускают косилки двух модификаций: с бильно-дековым устройством для обработки преимущественно растительной массы злаковых трав и с плющильными вальцами со сложной профилированной поверхностью для обработки бобовых трав, позволяющие производить обработку стеблей независимо от ориентации стебля и улучшающие условия захвата слоя обрабатываемого материала. Однако для устройства с плющильными вальцами при увеличении слоя подаваемой массы ухудшаются условия захвата и полнота обработки, так как необходимо для качественной обработки создавать большие усилия прижатия вальцов.

С целью увеличения интенсивности обработки, снижения энергоёмкости и увеличения надёжности захвата слоя обрабатываемого материала в нашем институте разработана новая конструкция вальцового плющильного устройства со штифтами.

В основу положена идея, что обработка стебельчатой массы в этом устройстве осуществляется не за счет сдавливания всей толщины слоя поверхностями прижимающихся друг к другу вальцов, как это имеет место в обычных вальцовых устройствах, а за счет рассредоточенного сдавливания стеблей в небольших зазорах между боковыми поверхностями штифтов. Эти зазоры получают при вхождении штифтов одного вальца в пространство между штифтами другого вальца [2].

Основная часть

При выработке подхода к рассмотрению условий захвата слоя стебельчатой массы штифтовым устройством были проанализированы результаты ранее проведенных исследований, посвященных работе устройств для дополнительной обработки скошенных трав.

В материалах исследований [1,3] приведены результаты изучения взаимодействия рабочих органов бильно-декового устройства со слоем подаваемой травы.

Результаты данных исследований показывают, что для нормальной работы этого устройства необходимо, чтобы стебли скошенных растений поступали к рабочим органам барабана комлевой частью вперед, были ориентированы в плоскостях, перпендикулярных оси вращения барабана, и начинали контактировать с барабаном на участке его поверхности, охватываемом дугой с углом $\alpha < 45^\circ$, где угол α – это угол между осью рабочего органа, занимающего горизонтальное положение, и линией, соединяющей ось барабана с точкой касания стебля на поверхности барабана. Поступление стеблей параллельно оси вращения барабана нежелательно, так как уменьшается степень обработки и возрастают потери. Кроме того, в принцип действия данного устройства заложено условие, чтобы окружная скорость рабочих органов была в несколько раз больше скорости поступления стебельчатой массы к барабану. Благодаря этим условиям, а также соответствующему пространственному расположению и форме рабочих органов, при захвате рабочими органами растительной массы происходит скользящий удар по стеблям, при этом между стеблями и рабочим органом возникают силы трения, за счет которых стебли затягиваются в пространство между рабочими органами и декой. Дальнейшее продвижение стебельчатой массы обеспечивается также за счет сил трения при последующих скользящих ударах по стеблям и прочесывании потока травы рабочими органами из-за того, что их окружная скорость остается большей, чем продвижение потока травы.

Анализ работы вальцовых устройств показывает, что захват слоя стебельчатой массы и дальнейшее его продвижение в этом случае осуществляется также за счет сил трения, возникающих при скольжении поверхности вальцов по слою стебельчатой массы.

Таким образом, в рассмотренных устройствах принцип захвата слоя стебельчатой массы основан на использовании, в основном, сил трения, возникающих при скольжении рабочих органов по стеблям.

Предлагаемое нами устройство имеет такую конструкцию, в которой рабочие органы представляют собой заостренные штифты, установленные перпендикулярно к поверхности валцов. Валцы синхронно вращаются навстречу друг другу. При поступлении стебельчатой массы к валцам штифты обоих валцов сначала только захватывают слой стебельчатой массы, погружаясь в глубь слоя по мере своего движения, и перемещают массу вперед, а обработка стеблей происходит на участке, когда штифты одного валца входят в пространство между штифтами второго валца. Обработка стеблей осуществляется за счет их сдавливания в получасных небольших зазорах между боковыми поверхностями штифтов, принадлежащих различным валцам. Частота вращения валцов в этом устройстве задается такой, чтобы только обеспечить прохождение слоя стебельчатой массы с производительностью немногим больше производительности поступления массы от режущего аппарата косилки.

Поэтому, в связи с отличительными особенностями устройства со штифтовыми валцами по сравнению с вышеназванными устройствами, условия захвата стеблей необходимо рассматривать применительно к принципу действия данного устройства.

При работе устройства от режущего аппарата косилки к валцам может поступать слой растительной массы некоторой толщины и некоторой первоначальной плотности со скоростью V_c . Эти параметры зависят от вида и урожайности скашиваемой культуры, скорости передвижения косилки, равномерности травостоя, скорости вращения ножей косилки. На рисунке 1 показана схема поступления к валцам со штифтами слоя растительной массы некоторой толщины h .

Соприкосновение концов штифтов с раститель-

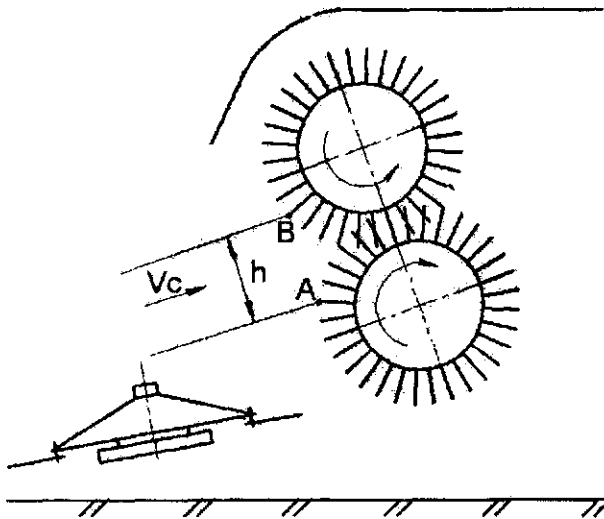


Рисунок 1. Схема поступления слоя растительной массы к валцам со штифтами.

ным материалом происходит в точках А и В. Так как растительная масса представляет собой набор стеблей растений, то рассмотрение условий захвата можно базировать на изучении взаимодействия отдельного штифта со стеблем с учетом связи стебля со слоем стебельчатой массы, частью которого он является.

Вид начального соприкосновения штифтов со стеблями может быть различным. Рассмотрим случай, когда штифты соприкасаются своей боковой поверхностью со стеблями, расположенными в горизонтальной плоскости перпендикулярно к плоскостям, в которых движутся штифты (рис. 2).

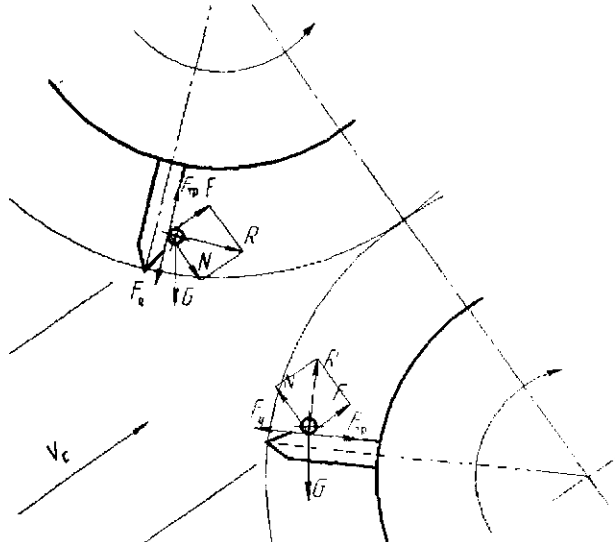


Рисунок 2. Силы, действующие на стебли при соприкосновении со штифтами.

При соприкосновении со стеблем, движущимся с некоторой скоростью V_c в направлении, как показано на рисунке 1, штифт, ударяясь о стебель, придает ему скорость, по величине не меньше окружной скорости $V_{шн}$ штифта в месте соприкосновения, и направленную по линии удара. Силу удара R можно определить исходя из теоремы о количестве движения:

$$R \Delta t = m(V_{шн} - V_{cn}),$$

где Δt — продолжительность воздействия штифта на стебель, с;

m — масса стебля, взаимодействующего со штифтом, кг;

V_{cn} и $V_{шн}$ — проекции на линию удара, соответственно скорости передвижения стебля, и скорости, приобретенной стеблем при взаимодействии со штифтом, м/с.

Этот процесс ударного взаимодействия кратковременный, однако, если рассматривать направление силы R , то из рисунка 2 видно, что эта сила с одной стороны способствует продвижению стебля в направлении пространства между валцами (составляющая F), а с другой стороны сжимает слой стеблей по линии, перпендикулярной поверхности слоя (составляющая N).

После начального соприкосновения штифта со стеблем, в результате движения штифтов разных валцов навстречу друг другу, происходит дальнейшее сжатие слоя стеблей, и, соответственно, имеет место сила упругости, которая обуславливает реакцию R штифта, направленную по нормали к поверхности штифта. Эта сила также способствует перемещению стеблей в пространство между валцами. При движении захваченного стебля вместе со штифтом по окружности возникает центробежная сила F_c , направленная от центра вращения вдоль штифта. Под действием центробежной силы F_c стебель может переместиться к концу штифта, но этому препятствует сила трения $F_{тр}$ стебля о штифт, возникающая под действием силы упругости сжимаемых стеблей, по величине равной R . Перемещение стебля к концу штифта может происходить при условии, когда $F_c > F_{тр}$. Однако, если произойдет случай соскальзывания стебля со штифта, то этот стебель все равно останется в общем слое поступающей к валцам стебельчатой массы.

Еще можно заметить, что на стебель действует сила тяжести G , направленная вниз. Если учитывать силу тяжести, то видно, что для штифтов нижнего валца реакция от этой силы увеличивает давление стебля на штифт, а для штифтов верхнего валца сила тяжести способствует перемещению стеблей вниз, в слой стебельчатой массы.

Итак, направления сил, действующих на стебли, для рассмотренного случая соприкосновения штифтов со стеблями показывают, что и в период ударного соприкосновения штифтов со стеблями, и при дальнейшем перемещении стебельчатой массы в пространство между валцами существуют силы, которые с одной стороны перемещают массу в необходимом направлении, а с другой стороны сжимают поступающий слой. Таким образом, обеспечивается захват слоя и перемещение его между валцами со штифтами.

При работе дисковых косилок поток скошенной травы характеризуется тем, что стебли ориентированы, в основном, под углом $70...80^\circ$ к направлению движения косилки, т. е. почти параллельно валцам. Поэтому начальное соприкосновение штифтов со стеблями в большинстве случаев будет близким к рассмотренному нами случаю.

Если рассмотреть второй крайний случай, когда штифт и стебель движутся в параллельных плоскостях и соприкасаются своими боковыми поверхностями (рис. 3), то в этом случае прямого ударного воздействия на стебель не происходит, а захват стебля может осуществляться за счет силы трения, возникающей при скольжении штифта по поверхности стебля. Для этого необходимо, чтобы $F_{тр} > F$, где F – сила на преодоление инерции стебля. Сила $F_{тр}$ зависит от силы P , возникающей за счет сжатия слоя стеблей при вхождении штифтов в стебельчатую массу. В подаваемом рыхлом слое стебельчатой массы сила P прижатия стеблей к штифту в горизонтальном направлении может быть недостаточной для возникновения необходимой для захвата стебля силы, поэтому такой случай не является надежным для продвижения стеблей. В связи с тем, что ориентация стеблей в потоке скошенной массы, как бы-

ло сказано выше, находится ближе к положению параллельному к валцам, то случаев, неблагоприятных для захвата, не должно быть много. К тому же, передвиганию тех стеблей, которые пока не захвачены штифтами, но находящихся в общем слое, способствует трение между самими стеблями.

Таким образом, рассмотрение условий захвата стеблей штифтами показало, что захват и продвижение слоя стебельчатой массы валцовым устройством со штифтами обеспечивается, в основном, не за счет сил трения, возникающих при скольжении рабочих органов по стеблям, как это имеет место в бильно-дсковом или в обычном валцовом устройствах, а за счет прямого первоначального удара и дальнейшего перемещения непосредственно захваченных стеблей. В связи с тем, что в валцовом устройстве со штифтами частота вращения валцов предусматривается ниже, чем у других устройств, то процесс захвата стеблей в этом случае проходит в более щадящем режиме.

Пропускная способность штифтового устройства должна обеспечивать прохождение между валцами стебельчатой растительной массы, поступающей от режущего аппарата косилки. Так как сечение пространства между валцами со штифтами, которое заполняется стебельчатой массой, по ходу продвижения слоя непостоянное, то пропускную способность устройства определяем, исходя из величины порции массы, приходящейся на участок, расположенный в месте наименьшего расстояния между поверхностями валцов, где масса уплотняется максимально. Длину l этого участка ограничим параллельными плоскостями, проходящими через соседние точки 1 и 2, лежащие посередине промежутка между штифтами на поверхности цилиндра валцов. Тогда $l = d_w - l_{шп}$, где d_w – диаметр штифта, м; $l_{шп}$ – величина промежутка между штифтами по поверхности валца, м.

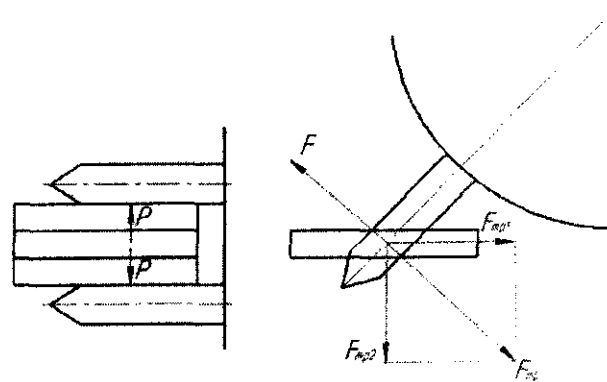


Рисунок 3. Силы, действующие на стебли при движении штифтов и стеблей в параллельных плоскостях.

В результате предварительных расчетов установлено, что для длины l расчетного участка наименьшее свободное пространство для размещения стебельчатой массы получается при таком положении рядов штифтов обоих валцов, когда их оси совпада-

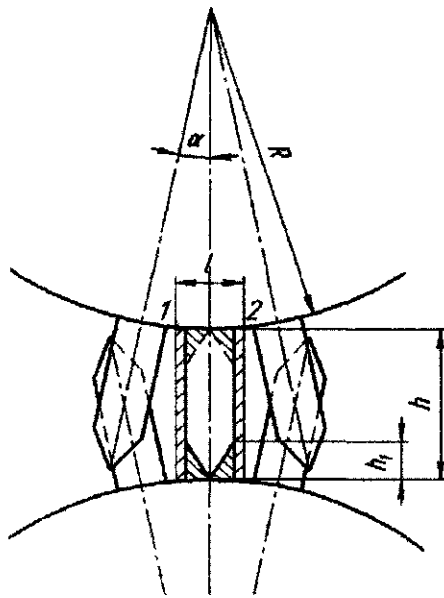


Рисунок 4. Схема расчетного расположения штифтов

ют с плоскостью, проходящей через оси валцов. Схема для этого случая приведена на рисунке 4.

Для обеспечения надежной работы устройства пропускная способность его должна быть не меньше подачи стебельчатой массы от режущего аппарата, т. е.

$$g \geq G_k$$

Подачу стебельчатой массы от режущего аппарата косилки можно определить по формуле:

$$G_k = k_k B_k v_k M_{ур}$$

где G_k – подача стебельчатой массы от режущего аппарата косилки, кг/с;

k_k – коэффициент использования ширины захвата косилки;

B_k – ширина захвата косилки, м;

v_k – скорость косилки при кошении, м/с;

$M_{ур}$ – урожайность травостоя, кг/м².

Длина расчетного участка, м:

$$l = 2R \sin(\alpha/2),$$

где R – радиус цилиндра вальца, м;

$\alpha = 360^\circ/n_1$ – угол между осями соседних штифтов, град,

где n_1 – количество штифтов, установленных по окружности вальца, шт.

Объем, занимаемый стебельчатой массой на участке длиной l :

$$V_{cm} = V_{об} - V_{шт} = kBhl - \left[\pi r_1^2 (h - h_1) + \frac{1}{3} \pi r_1^2 h_1 \right] n_2,$$

где:

$V_{об}$ – объем участка без учета штифтов, м³;

$V_{шт}$ – объем, занимаемый штифтами, м³;

k – коэффициент использования ширины захвата вальцов;

B – ширина захвата вальцов, м;

h – высота штифтов, м;

h_1 – высота заточки штифта, м;

n_2 – количество штифтов вдоль образующей цилиндра вальца, шт;

r_1 – радиус сечения штифта, м.

Количество стебельчатой массы, приходящейся на расчетный участок, кг:

$$m = \rho V_{cm},$$

где ρ – значение плотности стебельчатой массы в расчетном объеме, кг/м³.

Пропускная способность устройства, кг/с:

$$g = mv/l$$

где v – средняя линейная скорость перемещения порции стебельчатой массы по расчетному участку, м/с.

Средняя линейная скорость может быть представлена как:

$$v = \omega(R - h/2),$$

где ω – частота вращения валцов, с-1.

Следовательно, общая формула для определения пропускной способности вальцового устройства со штифтами:

$$g = \frac{\rho \left[2kBhR \sin(180^\circ/n_1) - \pi n_2 r_1^2 (h - 2/3 h_1) \right] \omega (R + h/2)}{2R \sin(180^\circ/n_1)}$$

Надежность захвата слоя штифтовым вальцовым устройством подтверждена опытами, проведенными с помощью лабораторной установки по соответствующей методике с удельной массой 3, 4, 5 и 6 кг/м², что отвечало урожайности травостоя, соответственно, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 кг/м² с учетом того, что ширина слоя, проходящего через устройство для обработки травы, принята в два раза меньше ширины захвата косилки. В ходе проведения опытов установлено, что слой надежно захватывается штифтами при всех толщинах слоя, принятых для данных исследований. Скопления растительной массы перед вальцами не наблюдалось. Было четко видно, как штифты углублялись в слой травы, захватывали ее и протаскивали между вальцами, незначительно завися от толщины слоя. Масса после вальцов сбрасывалась сзади устройства.

Заключение

Рассмотрение сил, возникающих при взаимодействии штифтов со стебельчатой массой в момент захвата слоя материала, показало, что захват стеблей происходит как за счет сил трения штифтов о стебли, так и благодаря прямому захвату стеблей, что обеспечивает надежное прохождение слоя стебельчатой массы между вальцами. Это подтверждено опытами, проведенными на лабораторной установке, в ходе которых не было зафиксировано случаев, когда стебельчатая масса задерживалась перед вальцами.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Шупилов. Ускорение процессов влагоотдачи путём обработки трав бильным устройством косилки. Дис. ... канд. тех. наук. Минск, 1991. – С.112,116.

2. С. К. Журиба, А. В. Наумик. Особенности обработки трав с целью ускорения их сушки в полевых условиях. В сб. «Механизация и электрификация сельского хозяйства», вып. 40, 2006. – С. 123-126.

3. И. И. Пиуновский, А. А. Шупилов. Совершенствование косилок-плющилок для скашивания трав. // Техника в сельском хозяйстве, №1, 1999. – С. 3-6.