

МЕТОД АГРОТЕХНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТРАВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ВЛАГООТДАЧИ ПРИ СКАШИВАНИИ КОСИЛКАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ БИЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

А.А. Шупилов,

доцент каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В статье представлены результаты исследований по обоснованию метода агротехнической оценки механической обработки трав для ускорения влагоотдачи при скашивании косилками, оснащенными бильными устройствами. Определены отличительные признаки механического повреждения стеблей при скашивании косилкой, оснащенной данным устройством. Предложен метод определения функционального показателя качества выполнения процесса механической обработки травы устройствами бильного типа – полнота обработки.

Ключевые слова: косилка, стебель, барабан, плющение, угол, деформация, планка.

The article presents the results of research to substantiate the method of agrotechnical assessment of mechanical processing of grasses to accelerate moisture transfer when mowing with mowers equipped with beating devices. The identifying particulars of mechanical damage to stems when mowing with mowers equipped with this device have been determined. The method for defining a functional indicator of the quality of grass processing with beater-type devices - completeness of processing is offered.

Key words: mower, stem, drum, squashing, angle, deformation, bar.

Введение

Для интенсификации полевой сушки скашиваемых трав на косилках применяются механические устройства с различным типом рабочих органов. Косилки могут оснащаться рабочими органами для обработки травы в виде пары обрезиненных ребристых плющильных вальцов или барабанно-дековым устройством с бильными планчатыми рабочими органами.

Результаты исследований по обоснованию конструкций рабочих органов для механической обработки трав с целью ускорения их сушки приведены в трудах Особова В.И., Пиуновского И.И. и других ученых [1-5].

С учетом появления новых конструкций рабочих органов требуется внесение уточнений и дополнений в агротехническую оценку их работы и методы испытаний.

Для агротехнической оценки работы косилок-плющилок в 1990 г. разработан ГОСТ 28722-90 «Машины сельскохозяйственные и лесные. Косилки-плющилки. Методы испытаний», в котором указан метод оценки качества выполнения технологической операции плющения трав вальцовым плющильным аппаратом. В стандарте были установлены показатели функционального назначения косилок-плющилок, одним из которых являлась полнота плющения стеблей скошенной травы.

В последующем конструкции косилок-плющилок и методы их испытаний получили дальнейшее развитие. Указанный ГОСТ, действовавший

до 2018 г., был пересмотрен и заменен на аналогичный, обновленный, в котором метод определения показателя функционального назначения (полнота плющения) оставлен в предыдущей редакции, без внесения изменений [6].

В стандарте агротехническая оценка устройств для механической обработки трав определяется по показателю функционального назначения – полнота плющения стеблей в трех усредненных пробах (массой, не менее 1 кг каждая). Все растения по признаку механического повреждения стеблей делятся на три группы: полностью плющенные, плющенные на 1/2 длины стебля и неплющенные. Плющенными считаются стебли, имеющие механические повреждения в виде сплюсненных участков, продольных трещин, изломов, перегибов, с повреждением кутикулы (водонепроницаемой оболочки). Количество перегибов на полностью плющенном стебле должно обеспечивать выполнение методического требования стандарта – повреждение каждого междоузлия по длине растения [6].

В настоящее время на косилках-плющилках для механической обработки травы с целью ускорения ее влагоотдачи при сушке на сено широко применяются устройства, обрабатывающие скошенную траву вращающимся барабаном с радиально расположенными на нем бильными рабочими органами [7, 8]. Данный тип устройств фактически имеет другой принцип воздействия на стебли растений по сравнению с ранее известным вальцовым плющильным аппаратом. Де-

формация стеблей методом их сплющивания и перегибов, как при их пропуске между парой вращающихся ребристых валцов, уже не является определяющей и основной для агротехнической оценки эффективности бильных барабанных устройств. Очевидно, что повреждения, наносимые на стебли растений в результате динамического воздействия радиально расположенными на барабане бильными рабочими органами, имеют другой характер, а, следовательно, и метод определения полноты их механической обработки данными устройствами, приведенный в стандарте [6], требует корректировки.

При испытании косилок-плющилок отсутствие повреждений в виде перегибов стебля по длине растений, исходя из методики определения полноты плющения, указанной в стандарте [6], связывают с неэффективностью работы устройства для их механической обработки. Чтобы получить требуемую полноту плющения, бильное устройство настраивают на более жесткий режим обработки травы – уменьшают зазор между рабочими органами барабана и кожухом (декой), переходят на более высокую частоту вращения барабана. Как следствие, добиваются повышения значения показателя – полнота плющения, но с потерями листьев и соцветий от отбивания, особенно на бобовых культурах, превышающими допустимые.

Как результат, у определенной части практиков и исследователей сложилось мнение, что косилки с бильным устройством можно применять только для злаковых культур, так как на обработке бобовых они приводят к значительным потерям наиболее ценной в питательном отношении части растений – листьев и соцветий [7, 8].

Целью настоящей работы является обоснование метода агротехнической оценки механической обработки трав для ускорения влагоотдачи при скашивании косилками, оснащенными бильными устройствами.

Основная часть

При постановке цели данных исследований исходили из гипотезы, что тип и конструктивные особенности устройства рабочих органов косилки обуславливают наличие на стеблях характерных для данных рабочих органов признаков механического повреждения.

Планки рабочих органов бильного барабана, расположенного горизонтально над режущим аппаратом, в конструкциях ротационных косилок, как правило, устанавливаются с отклонением от радиального положения. В проведенных исследованиях обоснован угол данного отклонения – 15° [4]. Две планки, установленные в одном кронштейне барабана, образуют рабочий орган V – образной формы, с углом раствора 30° . Это позволяет упростить конструкцию бильного барабана и производить обработку поступающей в него травы наклонно-косыми ударами одним рабочим органом в двух плоскостях.

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 превышающие его диаметр;

– для предотвращения измельчения растения воздействие рабочего органа на стебель 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 перегибу, 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 [9-11]. Определив из теории резания плоскость воздействия на стебель, где срез наиболее энергоемкий, и «заменяя» нож планкой рабочего органа бильного устройства, исключаяющей этот срез, можно теоретически обосновать принцип деформации стебля – повреждения 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 профессора Л.П. Краморенко [9] отмечается, что резание под углом 45° к оси стебля значительно снижает усилие на работу по сравнению с резанием поперек стебля. В статье С.Д. Трофимова [10] 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° , то 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 в своей работе [11] сделали вывод о том, что важнейшими факторами, влияющими на резание стебля, являются углы расположения плоскости среза и скорости ножа относительно торцевой плоскости стебля. Определим и проанализируем эти углы.

На рис. 1 представлена схема момента удара планки рабочего органа бильного устройства по стеблю в системе координат XYZ и указаны углы, характеризующие положение планки рабочего органа от-

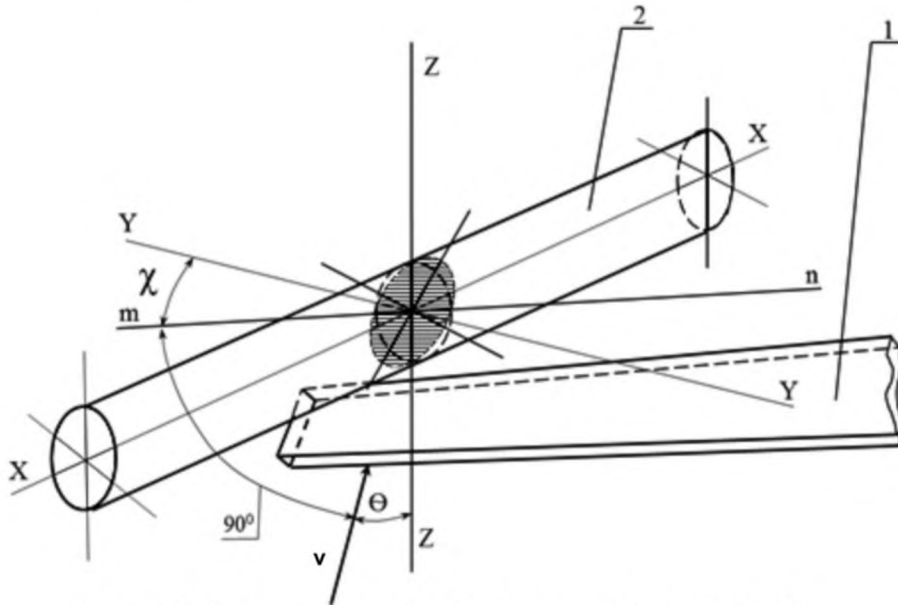


Рисунок 1. Положение планки рабочего органа бильного барабана при воздействии на стебель растения:

1 – планка рабочего органа; 2 – стебель растения; v – вектор скорости планки рабочего органа; χ – угол наклона планки относительно торцевой поверхности стебля в плоскости XOY ; Θ – угол наклона планки относительно торцевой поверхности стебля плоскости XOZ ; mn – линия нормальной кромки планки

носителю стебля. Положение планки должно обеспечивать механическое отделение эпидермиса (покровных тканей) от субэпидермальной ткани по длине стебля без нарушения цельности растения.

Плоскость действия планки рабочего органа на стебель пересекает продольную плоскость XOY по линии mn , 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 χ наклона планки относительно торцевой поверхности стебля в плоскости XOY и углом Θ 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 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$).

Расщепляющие продольные углы: торцевой ($\Theta = 90^\circ$ и $\chi = 90^\circ$); продольный ($\chi = 90^\circ$, от угла Θ не зависит); торцово-продольный ($\Theta = 90^\circ$ и $0^\circ < \chi < 90^\circ$).

Косой, наклонный, торцово-продольный удары планки имеют один переменный угол (χ или Θ) и являются переходными. Ее наклонно-косой удар характеризуется изменением обоих углов (χ и Θ) на всем интервале их значений – от 0° до 90° , 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 Θ .

В источнике [11] приведена формула для определения полной работы по перерезанию стебля в общем случае при наклонно-косом срезе, по которой построена пространственная диаграмма работы при этом срезе. 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, т.к. при ударе планкой повреждает-

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

Технологический процесс обработки травы бильным барабанно-дековым устройством осуществляется следующим образом.

Травостой скашивается ротационным режущим аппаратом и подается на рабочие органы вращающегося барабана. Рабочие органы барабана V-образной формы, движущиеся со скоростью, превышающей скорость подачи растений, захватывают и прочесывают поток скошенной массы травы, нанося механические повреждения стеблям. При захвате растений, поступающих в барабан преимущественно прикорневой частью, нижняя часть стебля будет получать большие механические повреждения от воздействия нескольких рабочих органов. В результате взаимодействия с планками рабочих органов растениям передается количество энергии для ускоренного движения в зазоре между барабаном и декой. При движе-

нии по деке слой травы подвергается действию нормальной силы сжатия, сил трения, возникающих в зоне контакта между планками рабочих органов и травой, а также между порцией травы и поверхностью деки. В результате динамического воздействия указанных сил стебли растений получают механические повреждения покровных тканей.

При визуальном осмотре взятых проб травы были определены характерные признаки механических повреждений стеблей клевера красного, подвергнутого обработке бильным барабанно-дековым устройством, которые подтвердили теоретические предположения (рис. 2-7).

При осмотре растений в пробе была выявлена более интенсивная механическая обработка прикорневой части стеблей (рис. 2). Указанные повреждения являются следствием того, что растения, радиально поступающие в габарит вращающегося барабана и первоначально имеющие скорость значительно меньшую, чем скорость его рабочих органов, при захвате указанной части стебля подвергались неоднократному воздействию рабочих органов.

Другой отличительной особенностью обработки растений бильным барабаном явилось повреждение покровных тканей (эпидермиса) по длине стебля, которые в несколько раз превышали диаметр стебля (рис. 3). Повреждения покровных тканей по их происхождению можно классифицировать как счесы, полученные в результате наклонно-косого (скользящего) удара и прочесывания потока травы планками рабочих органов барабана. Нитевидное снятие по-

кровных тканей (кутикулы), воскового налета происходило в результате изгибания растений и действия сил трения в потоке скошенной массы при протаскивании ее в зазоре и взаимодействия движущейся скошенной массы с рабочей поверхностью деки. Нитевидный счес покровных тканей и воскового налета на стеблях после первого дня сушки проявлялся в виде раскрывшихся в данных местах продольных трещин (рис. 4, 5). Часть растений имела также отдельные перегибы стеблей, с образованием трещин в этих местах (рис. 6).

Выявленные механические повреждения стеблей растений после обработки бильным барабанно-дековым устройством (для определенной части растений) соответствовали указанным в межгосударственном стандарте [1]. Вместе с тем значительная часть растений имела другие характерные признаки, присущие только для данного приема обработки травы. Это интенсивная обработка наиболее длительно сохнувшей прикорневой части стебля (рис. 2), повреждения в виде счеса покровных тканей по длине, в несколько раз превышающие диаметр стебля (рис. 3).

Данные повреждения скашиваемых растений отличаются от производимых плющильными вальцами, для которых более характерно наличие нескольких перегибов на стеблях по длине в результате прохода потока травы между ребристыми поверхностями вращающихся вальцов (рис. 6). Для отнесения растений к группе полностью плющенных, стандартом оговорено обязательное наличие повреждений в виде перегибов и изломов стеблей в



Рисунок 2. Вид прикорневой части стебля после обработки



Рисунок 3. Счес покровных тканей со стебля при ударе планкой рабочего органа



Рисунок 4. Вид участка стебля после сушки в месте счеса покровных тканей



Рисунок 5. Вид стебля после сушки с трещиной по длине в месте нитевидного счеса покровных тканей



Рисунок 6. Вид перегиба стебля с трещиной



Рисунок 7. Вид стебля с перегибами после плющения ребристыми вальцами

каждом междоузлии [6]. В стандарте приведены методические требования по определению полноты плющения стеблей при агротехнической оценке косилок с плющилками с вальцами. Тип устройств для механической обработки травы с целью ускорения ее влагоотдачи при сушке на сено в виде вращающегося барабана с закрепленными на нем бильными рабочими органами для механического воздействия на стебли растений имеет другой принцип воздействия на стебли растений. Часть имеющихся повреждений стеблей в виде перегибов, как при динамическом воздействии ребристой поверхностью при их пропуске через зазор плющилки с вальцами, уже не являются определяющими и основными для бильных барабанных устройств.

На основании проведенных исследований и анализа полученных результатов предлагается:

- считать полностью обработанными бильным устройством косилки растения, имеющие основные признаки механической обработки в виде растрескавшейся прикорневой части стебля от неоднократного воздействия планок рабочих органов (рис. 2), а также повреждений в нижней его половине в виде счесов покровных тканей на длину, в несколько раз превышающих диаметр стебля (рис. 3). Данные повреждения у части растений могут дополняться отдельными перегибами стеблей;

- считать частично обработанными (на половину) растения с одним из указанных признаков механической обработки с повреждением покровных тканей стебля;

- не обработанными считать растения, не имеющие видимых механических повреждений от воздействия рабочих органов.

Числовое значение полноты обработки скошенной травы бильным устройством предлагается определять по формуле:

$$\lambda = \frac{M' + 0,5M''}{G} \cdot 100,$$

где λ – полнота обработки скошенной травы, %;

M' – масса стеблей в пробе, обработанных полностью, кг;

M'' – масса стеблей в пробе, обработанных частично, кг;

G – масса пробы, кг.

В конструкциях современных косилок-плющилок применяются два существенно отличающихся технологических способа ускорения влагоотдачи растений при сушке – плющением ребристыми вальцами и обработкой стеблей бильным барабаном. В этой связи предлагается уточнение терминологии для агротехнической оценки эффективности их применения. Термин «полнота плющения» целесообразно заменить термином «полнота обработки», являющимся более общим для двух указанных способов механической обработки скошенной травы для ускорения влагоотдачи. Применение термина «плющенные на 1/2 длины стебля» для бильных устройств является некорректным, так как для исключения потерь от верхушечной части растения целесообразно обрабаты-

вать не весь стебель растения, а только нижнюю его половину, наиболее длительно сохнущую.

Заключение

Опыт применения ротационных косилок с механической обработкой трав для ускорения сушки бильными устройствами свидетельствует о необходимости корректировки метода агротехнической оценки данной обработки.

В результате проведения исследований определены отличительные признаки механического повреждения стеблей при скашивании косилкой, оснащенной бильным устройством, для ускорения влагоотдачи трав.

Предложен метод определения полноты обработки – функционального показателя качества процесса обработки травы устройствами бильного типа.

Полученные результаты исследований позволяют проводить агротехническую оценку эффективности применения механической обработки трав косилками, оснащенными бильными устройствами, при их испытании, а также осуществлять контроль над технологическим процессом и выполнением требований по настройке рабочих органов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буклагин, Д.С. Тенденции развития кормоуборочной техники за рубежом / Д.С. Буклагин // Техника и оборудование для села – 2000. – № 5. – С. 5-7.
2. Особов, В.И. Механическая технология кормов / В.И. Особов. – М.: Колос, 2009. – 344 с.
3. Машины для уборки трав и силосных культур (теория и расчет рабочих органов): монография / И.И.

Пиуновский, В.Р. Петровец, Н.И. Дудко. – Горки: БГСХА, 2016. – С. 203-323.

4. Шупилов, А.А. Косилки с плющильными устройствами бильного типа для интенсификации сушки трав: монография / А.А. Шупилов. – Минск: БГАТУ, 2007. – С. 4-54.

5. Пиуновский, И.И. Научные основы интенсификации механизированных процессов заготовки кормов из трав / И.И. Пиуновский // Весці Акадэміі аграрных навук Рэспублікі Беларусь. – 1998. – № 4. – С. 90-94.

6. Техника сельскохозяйственная. Косилки и косилки-плющилки. Методы испытаний: ГОСТ 28722. – 2018. – Введен 01.07.2020.

7. Результаты исследований устройств для плющения трав / И.М. Лабозкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2009. – Вып. 43. – С. 15-20.

8. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования. П.П. Казакевич [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2018. – Т. 56. – № 4. – С. 481-491.

9. Краморенко, Л.П. Сопротивление растений перерезанию: теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. – Л.: Сельхозиздат, 1936. – Т. 2. – С. 14-27.

10. Трофимов, С.Д. Исследование косога среза толстостебельных растений / С.Д. Трофимов // Сельхозмашины. – 1957. – № 5. – С. 27-28.

11. Тудель, Н.В. Исследование энергоемкости процесса резания толстостебельных растений / Н.В. Тудель, В.М. Верхуша // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. – № 1. – С. 25.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.11.2023

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2024 года: для индивидуальных подписчиков - 42,78 руб., ведомственная подписка - 44,94 руб.