

УДК 631.363.636

UDC 631.363.636

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДЛИННО-СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ СЕГМЕНТОМ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ

ANALYSIS OF THE PROCESS OF CUTTING LONG-STEM FEED PLANTS WITH A CURVILINEAR CUTTING EDGE SEGMENT

Фролов Владимир Юрьевич
д.т.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Frolov Vladimir Yurievich
Dr.Sci.Tech., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Сысоев Денис Петрович
к.т.н., доцент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Sysoev Denis Petrovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Журтов Алим Хасанович
инженер
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Zhurtov Alim Hasanovich
engineer
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Предложен режущий сегмент на серийно выпускаемые кормораздатчики, представлена расчетная схема режущих кромок, угла установки сегмента на рабочем органе

We have proposed a cutting segment for commercially available feeders; we have also presented the design scheme of the cutting edges and the angle of segment installation on a working body

Ключевые слова: РЕЖУЩИЙ СЕГМЕНТ, ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ, ЛЕЗВИЕ РЕЖУЩИХ СЕГМЕНТОВ

Keywords: CUTTING SEGMENTS, IMPROVING QUALITY OF CUTTING PROCESS, BLADE CUTTING SEGMENTS

В настоящее время, как в отдельных регионах, так и в стране в целом, стоит проблема обеспечения населения качественной мясомолочной продукцией по приемлемой цене. Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации поставлена задача обеспечения потребностей населения страны сельскохозяйственной продукцией и продовольствием за счет отечественного производства. Одним из пунктов отраслевой целевой программы «Развития молочного скотоводства и увеличение производства молока в Российской Федерации» предусмотрено реализация комплекса мер государственной поддержки повышения качества молочного скотоводства в хозяйствах населения и крестьянских (фермерских) хозяйствах, укрепление кормовой базы и улучшение качества кормов.

Исследования ученых и всемирная практика показывают, что увеличение производства продуктов животноводства возможно за счет каче-

ственной подготовки кормов к скармливанию в соответствии с зоотехнической нормой. При этом трудоемкость процесс кормления составляет 40% общих трудовых затрат по уходу за животными, что оказывает существенное влияние на себестоимость животноводческой продукции [2,3,4].

Важная роль в качественном кормлении животных отводится специальным мобильным бункерным измельчителям-кормораздатчикам разнообразных по конструкции и принципу действия. Они являются основными составными частями поточно-технологических линий приготовления и раздачи кормов.

Известные конструкции рабочих органов измельчителей-кормораздатчиков представляют собой режущий аппарат, состоящий из вала или барабана с измельчающими сегментами.

Недостатком большинства конструкций режущий аппарат является воздействие режущей кромки на материал только в одной плоскости, поскольку в большинстве схем измельчающих аппаратов не учитывается хаотическое расположение стеблей, а также высокие затраты энергии на измельчение [1,5,6]]

В целях уменьшения усилия резания, следовательно, и мощности на рабочий процесс, измельчающие сегменты должны подбираться таким образом, чтобы при работе машины по всей длине режущей кромки сегмента происходило резание материала со скольжением.

Нами предложен режущий сегмент, который осуществляет измельчение материала в продольно-поперечных плоскостях, за счет скользящего резания. Это позволит снизить энергоемкость рабочего процесса и улучшить качество измельчения кормов, повысить эксплуатационную надежность и срок службы машины путем снижения ударной нагрузки и вибрации.

Целью работы является разработка режущего сегмента для серийно выпускаемых измельчителей-кормораздатчиков, обеспечивающего за счет своего конструктивного исполнения улучшение качества измельчения

корма, снижение энергоемкости процесса, повышение эксплуатационной надежности и срока службы машины.

Постановка проблемы. Качество и энергоемкость процесса резания в значительной степени определяется формой и параметрами рабочих органов режущих сегментов, основой которых является лезвие. Возможность совершенствования рабочих органов зависит от уровня соответствия теоретических моделей и реальных процессов взаимодействия лезвия сегментов с измельчаемым материалом. Поэтому развитие теории резания лезвием является важной и актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросами совершенствования рабочих органов измельчителей-кормораздатчиков на основе моделирования процесса взаимодействия лезвия со стебельным материалом занимались многие исследователи, такие как: В.П. Горячкин, В.А. Желиговский, Е. И. Резник, Н.Е. Резник, Б. И. Вагин, Г. М. Кукта, Л. М. Куцын, С. В. Мельников, В. А. Стремнин, В. И. Земсков, А. А. Кутлембетов, Ю. В. Новиков, В. Г. Коба, С. М. Доценко, А.М.Семеникин, В. Ю. Фролов, А. В. Бурмага, Ю. Б. Курков, М.А. Тищенко, С.В. Брагинец.

Формулировка целей исследования. Цель исследования – совершенствовать процесс скользящего резания лезвием стебельных кормов в продольно-поперечных плоскостях под действием предложенного режущего сегмента (рисунок 3) и предложить расчетную схему режущих кромок, угла установки сегмента на рабочем органе (рисунок 2) кормораздатчиков КИС-8, АКМ-9 (Россия) (рисунок 1), деформаций и напряжений в пласте измельчаемого стебельного материала с учетом реальных явлений при работе шнекового рабочего органа (рисунок 4) [7]



Рисунок 1 – Кормораздатчик AKM-9



Рисунок 2 – Шнековый рабочий орган

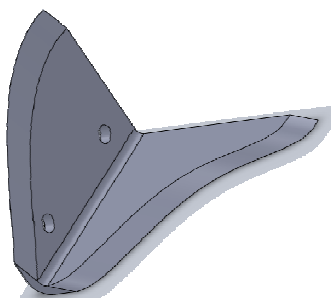


Рисунок 3 – Режущий сегмент

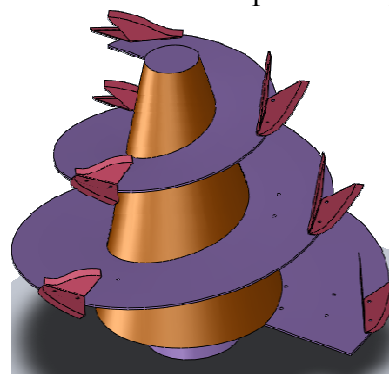


Рисунок 4 – Шнековый рабочий орган с новыми режущими сегментами

Дальнейшие исследования данного проекта будут направлены на оценку энергетических характеристик зон резания в пласте стебельного материала в зависимости от различных параметров режущей кромки, режимов работы шнекового рабочего органа и физико-механических свойств стебельных кормов.

Определение зависимости силы резания от влажности кормов и числа оборотов рабочего органа:

Между влажностью корма и качеством его резки существует сложная обратная зависимость. Абсолютную влажность вещества определим как:

$$f = \frac{m_{\text{вл}}}{m_{\text{с}}} \quad (1)$$

где f – абсолютная влажность вещества;

$m_{\text{вл}}$, $m_{\text{с}}$ – его масса во влажном сухом состоянии, соответственно.

Экспериментально установлено, что существует некоторое максимальное количество влаги, которое может адсорбировать вещество. Для грубых и стебельчатых кормов она составляет 3–7 масс.

Теоретически был установлен факт, что производительность процесса резания с ростом числа оборотов возрастает до некоторого значения в связи с ускорением процесса, а затем довольно быстро падает (рабочий орган не успевает захватить режущий материал). Для различной относительной влажности корма максимум достигался в диапазоне 830–1130 об/мин.

Зависимость производительности установки (Q , кг/ч) от числа оборотов рабочего органа (n , об/мин) для различных значений влажности корма (b) приведена на рисунок 5.

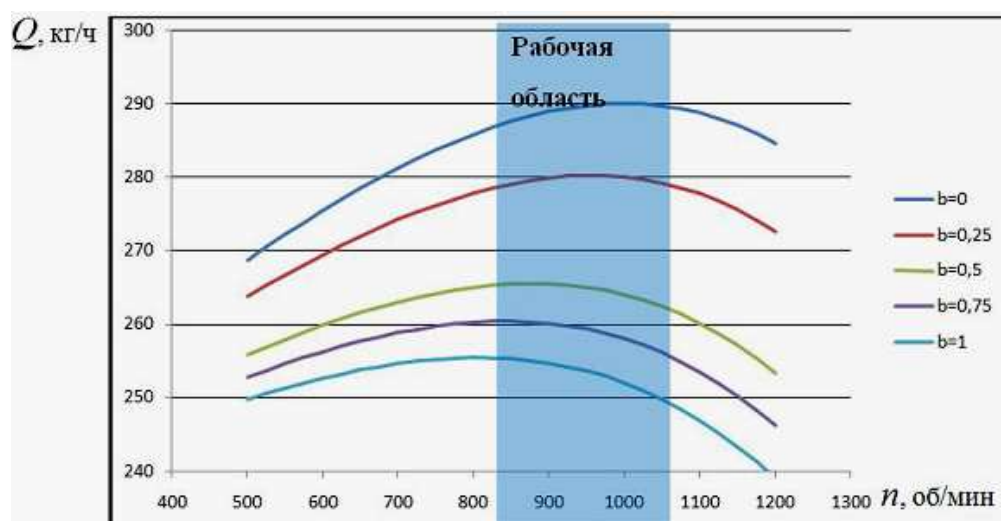


Рисунок 5 – Зависимость производительности установки от числа оборотов рабочего органа для различных значений влажности корма

Из приведенной графической зависимости видно, что во всех случаях имеет место экстремум функции. То есть существует критическое значение частоты вращения. Графическая зависимость показывает, что рациональный скоростной режим находится в пределах 830–1130 об/мин, именно в этом диапазоне частот вращения рабочего органа производительность достигнет своего максимума независимо от влажности материала.

В данном скоростном интервале рационально действуют комбинированные ножи, т.е. криволинейные лезвия вертикальные, эффективно расщепляют продольные волокна перерезаемого слоя, а горизонтальные ножи отрезают частицы требуемых размеров при соблюдении условий резания со скольжением.

Очевидно, что показатель относительной влажности также будет оказывать существенное влияние на энергоемкость и производительность измельчителя, о чем свидетельствует графическая зависимость, приведенная на рисунке 5.

Зависимость производительности (Q , кг/ч) от относительной влажности корма (b), для различных значений числа оборотов рабочего органа (n , об/мин) приведена на рисунке 6.

Относительная влажность измельчаемого грубого корма находится в пределах 0,2–0,5%. В данном интервале влажности наиболее рациональной частотой вращения рабочего органа является $n = 830$ об/мин. Следовательно, при проведении оптимизационных исследований фактора такого как частота вращения рабочего органа целесообразно принимать $n = 830$ об/мин. А интервал варьирования данного фактора, судя по данным приведенным на графической зависимости (см. рис. 5), составит ± 50 об/мин.

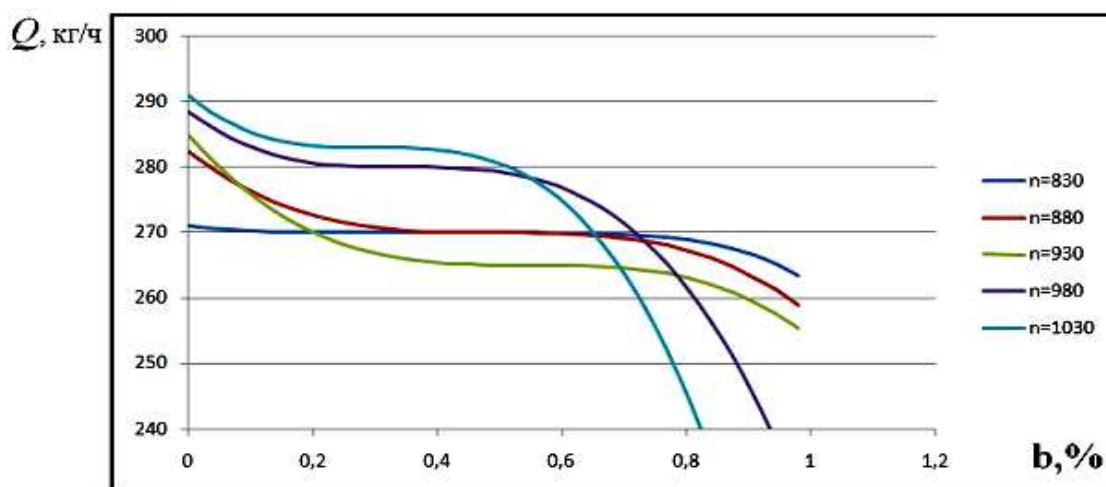
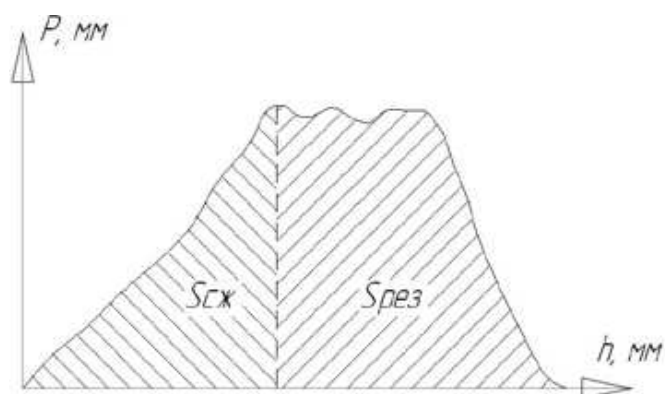


Рисунок 6 – Зависимость производительности установки от относительной влажности корма для различных значений числа оборотов рабочего органа

Определение зависимости силы резания от высоты лезвия и плотности кормов:

Процесс измельчения упруговязких материалов состоит из двух стадий. На первой стадии лезвие сжимает материал до давления, достаточного для проникновения лезвия в материал (предварительное сжатие), и на второй стадии лезвие перерезает материал (резание). На каждую из указанных стадий затрачивается работа.

Для исследования закономерностей между высотой режущей кромки сегмента и плотности материалов выбран корм для крупного рогатого скота. Резание принято по способу «резанья-рубки». В процессе измельчения получены диаграммы резания различной высоты режущей кромки, одна из которых представлена на рисунке 7.



Scж и Sрез – площадь работ сжатия и резания,
P – масштабная сила резания, h – высота режущей кромки сегмента

Рисунок 7 – Диаграмма резания корма

По диаграммам определялись площади заштрихованных участков – участок сжатия материала и участок резания материала.

Работа сжатия определяется по формуле:

$$A_{сж} \times S_{сж} = \mu . \quad (2)$$

Работа резания определяется по формуле:

$$A_{рез} \times S_{рез} = \mu . \quad (3)$$

Работа измельчения складывается из работ сжатия и резания, и определяется по формуле:

$$A_{изм} = A_{сж} + A_{рез} . \quad (4)$$

С помощью формул (2), (3), (4) определялись работы сжатия, резания и измельчения. По данным таблицы 1 был построен график изменения работ в зависимости от высоты лезвия (рисунок 8), в координатах высота лезвия – работа.

Таблица 1 – Средние значения работ ($A_{изм}$, $A_{сж}$, $A_{рез}$) в зависимости от высоты лезвия в процессе измельчения

Высота лезвия, мм	Работа сжатия, Дж	Работа резания, Дж	Работа измельчения, Дж
5	0,99	2,58	3,65
10	1,05	2,67	3,70
15	1,11	2,77	3,87
20	1,17	2,86	4,03
25	1,20	2,66	3,86
30	1,23	2,45	3,68
35	1,27	2,19	3,46
40	1,30	1,93	3,23
45	1,41	1,94	3,35
50	1,51	1,95	3,46
55	1,64	2,03	3,66
60	1,76	2,10	3,86
65	1,95	2,27	4,22
70	2,14	2,43	4,57
75	2,31	2,52	4,83
80	2,47	2,61	5,08
85	2,45	2,57	5,02
90	2,43	2,52	4,95
95	2,32	2,40	4,72
100	2,21	2,27	4,48

Посредством программы для работы с электронными таблицами MicrosoftOfficeExcel 2007 точки графика были аппроксимированы и получены уравнения аппроксимации.

Так, для работы измельчения: $A_{изм} = 0,015 \times h + 3,283$.

Для работы резания: $A_{рез} = -0,0021 \times h + 2,498$.

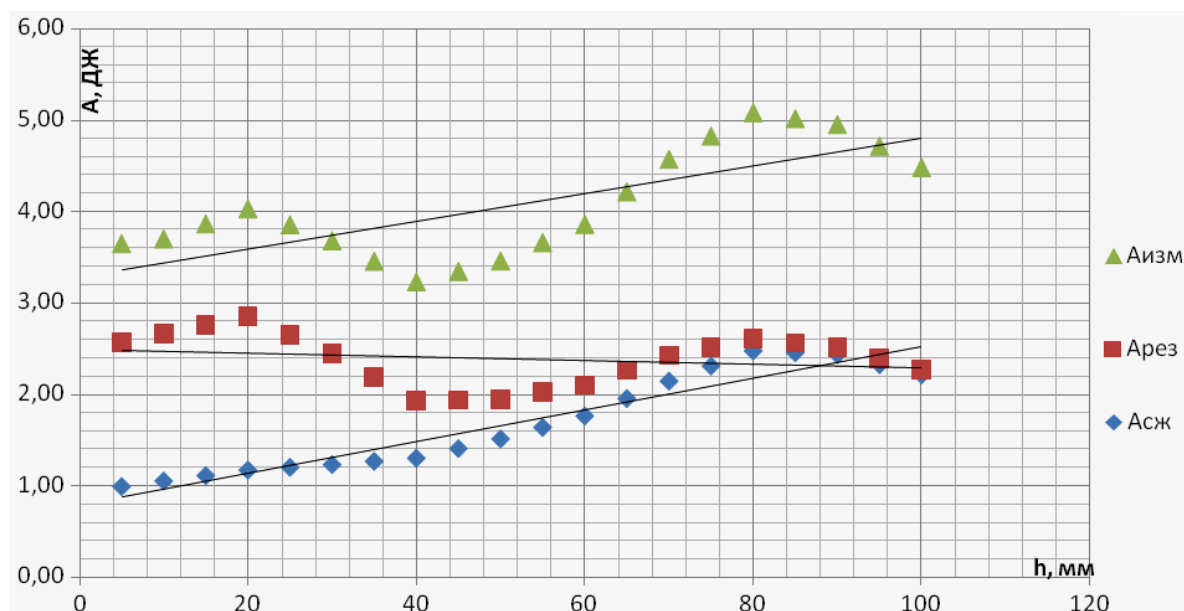
Для работы сжатия: $A_{сж} = 0,0071 \times h + 0,786$.

На графике (рисунок 8) с увеличением высоты лезвия наблюдается незначительное уменьшение работы резания, с 2,66 до 1,95 Дж, наименьшее значение (1,93 Дж) удельная работа резания принимает при высоте 40 мм. При этом также наблюдается постепенное в 2,23 раза увеличение работы сжатия, с 0,99 до 2,21 Дж, и в 1,23 раза увеличение работы измельчения, с

3,65 до 4,48 Дж. Наименьшее значение (3,23 Дж) работа измельчения принимает при высоте 40 мм.

В результате полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением высоты лезвия работа измельчения повышается, причем в значительной мере она зависит от работы сжатия и в меньшей мере – от работы резания.

Полученная зависимость изменения работы измельчения от высоты лезвия имеет также прямолинейный вид и возрастает с увеличением высоты. Также аналогичным является то, что работа измельчения в значительной мере зависит от работы сжатия и в меньшей мере – от работы резания.



$A_{изм}, A_{сж}, A_{рез}$ – работы измельчения, резания, сжатия
Рисунок 8 – График зависимости работ от высоты лезвия

При резании стебельных кормов шнековым рабочим органом с измельчающими сегментами значительная часть стеблей попадает под лезвие ножа и перерезается не перпендикулярно продольной оси стеблей, а под острыми углами. В этих случаях на их перерезание требуется затратить усилие и работу значительно меньшие, чем при резании поперек.

При оптимальной скорости движения ножа насеченные лезвия улучшают резание в значительно большей степени, чем гладкие, за счет увеличения действующих вдоль лезвия сил. Рабочие удельные давления

насеченных лезвий меньше, а долговечность использования повышенная в сравнении с гладкими.

При нахождении материала на режущей кромке ножа на частицу корма действуют: сила давления ножа на корм T и центробежная сила $P_{ц}$, действующая на частицу корма при вращении ее вместе с ножом. Из условия равновесия корма на режущей кромке ножа запишем:

$$P_{ц} \geq 2T \cos \left\{ 180^\circ - \left[\varphi + \left(180^\circ - 90^\circ - \frac{\psi}{2} \right) \right] \right\}, \quad (5)$$

где φ – угол внешнего трения, град; ψ – угол защемления материала, град, принимаем $\psi = 2\varphi$.

$$P_{ц} = m\omega^2 r = \frac{m\pi^2 n^2}{900} r, \quad (6)$$

где ω – угловая скорость вращения ножевого ротора, рад/с; m – масса частицы корма, кг; n – частота вращения рабочего органа, об/мин; r – расстояние от оси вращения до оси крепления сегмента, м.

Из выражения (5) получим:

$$\cos\left(90^\circ + \varphi - \frac{\psi}{2}\right) \geq \frac{P_{ц}}{2T}, \quad (7)$$

отсюда:

$$\psi \leq 2 \left(\varphi - 90^\circ + \arccos \frac{P_{ц}}{2T} \right), \quad (8)$$

Определение оптимальной частоты вращения рабочего органа

Многочисленные исследования показали, что достаточно точно рассчитать параметры и режимы работы шнекового рабочего органа с измельчающими сегментами по существующим формулам не удастся (ошибка составляет 20–60%) и необходимые величины, как правило, подбирают опытным путем. Это объясняется тем, что при расчете производительности шнеков, мощностей, потребных для их работы, и других параметров вместо скоростей транспортируемых продуктов определяют скорости самого шнека.

При работе шнека, частицы корма имеют поступательное движение со скоростью $v_{\text{пост}}$ – в осевом направлении шнека и вращательное движение в диаметральной направлении по траектории витков шнека – со скоростью $v_{\text{вр}}$. Скорость v_a является геометрической суммой скоростей $v_{\text{пост}}$ и $v_{\text{вр}}$ (рисунок 9).

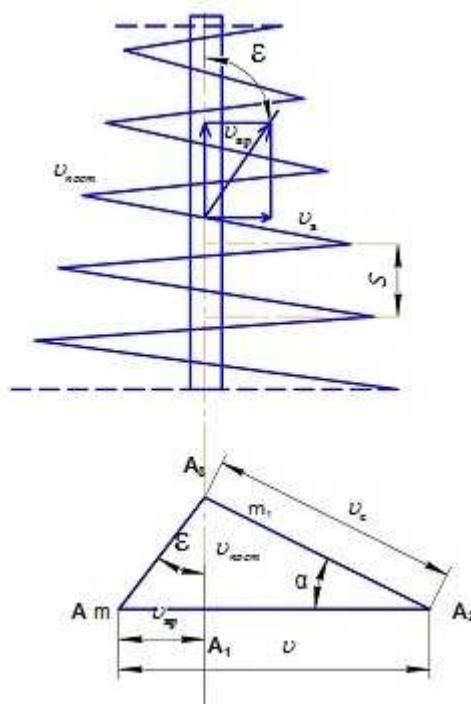


Рисунок 9 – Схема к определению окружной скорости наружной кромки шнека
 Зависимость между этими скоростями выражается уравнениями:

$$v_a = \frac{v_{\text{пост}}}{\cos \varepsilon} \quad \text{и} \quad v_{\text{пост}} = \frac{v_{\text{вр}}}{\tg \varepsilon}, \quad (9)$$

где ε – угол наклона вектора абсолютной скорости v_a к оси вращения шнека.

Рассматривая прямоугольный треугольник $A_1A_2A_3$, получим:

$$v - v_{\text{вр}} = v_{\text{пост}} \ctg \alpha,$$

Подставив из уравнений (9) значение $v_{\text{вр}}$, определим скорость v :

$$v = v_{\text{пост}} (\ctg \alpha + \tg \varepsilon), \quad (10)$$

Определение оптимальной высоты сегмента и длины режущей кромки

Высота ножевого сегмента с целью обеспечения процесса резания со

скольжением определим, воспользовавшись рисунком 10:

$$l_n = \frac{2 \cdot k}{3 \cos \psi}, \quad (11)$$

где ψ – угол кромки ножа;
 k – длина основания ножа, мм.

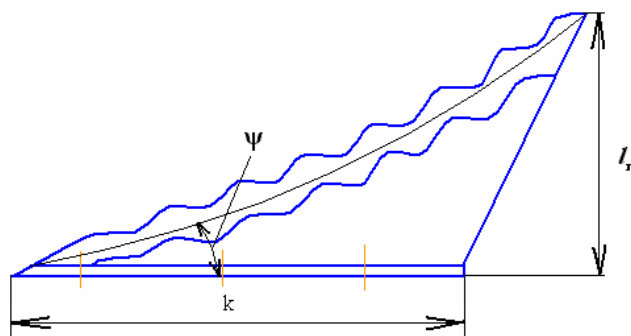


Рисунок 10 – Схема к определению высоты ножевого сегмента

Анализ рисунка 10 показал, что длина режущей кромки определяется из треугольника, при установленном угле кромки ножа и длине основания или высоты ножевого сегмента.

Определение момент резания

Зависимость удельного давления от угла скольжения описывается прямой линией (рисунок 11).

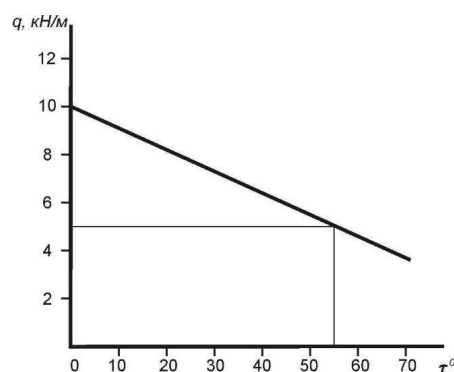


Рисунок 11 – Зависимость удельного давления резания q от угла скольжения τ

Для определения моменты резания используем формулу:

$$M_{рез} = q \cdot \Delta s \cdot r \cdot \cos \tau (1 + f \cdot tg \tau), \quad (12)$$

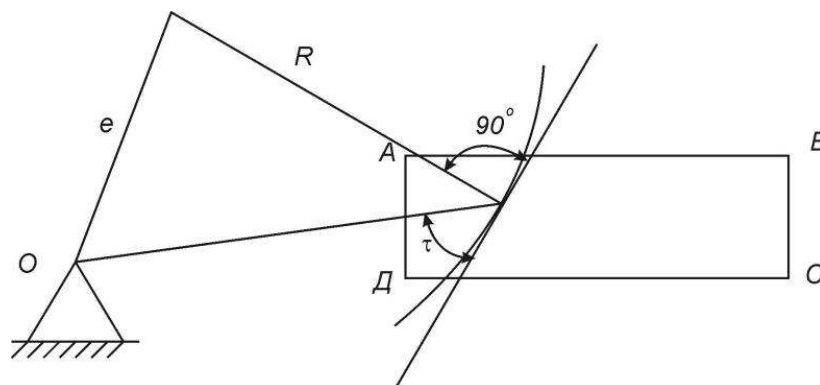
где q – удельное давление резания, кН/м (для стебельчатых кормов $q = 8 \dots 12$ кН/м);

Δs – рабочая часть лезвия ножа, м; r – радиус-вектор, м; τ – угол

скольжения;

f – коэффициент скользящего резания.

Для определения необходимых значений углов скольжения τ построим схему режущего аппарата с криволинейным лезвием (рисунок 12).



e – эксцентриситет; R – радиус кривизны ножа; $ABCD$ – элементарный участок измельчения сегментом

Рисунок 12 – Схема сегмента с криволинейным лезвием

В данном режущем аппарате угол скольжения τ изменяется в пределах $25...40^\circ$ для которых будем иметь следующие значения переменных:

$$\tau = 25^\circ: q = 7,6 \text{ кН/м}, \Delta s = 0,025 \text{ м}, r = 0,35 \text{ м};$$

$$\tau = 40^\circ: q = 6,5 \text{ кН/м}, \Delta s = 0,05 \text{ м}, r = 0,3 \text{ м}.$$

Для определения коэффициента скользящего резания воспользуемся зависимостью:

$$\text{Для углов: } \tau = 25^\circ - f = 0,08; \quad \tau = 40^\circ - f = 0,15.$$

Подставив значения в исходную зависимость, получим:

$$M_{25} = 7,6 \cdot 0,025 \cdot 0,35 \cdot \cos 25(1 + 0,08 \text{tg} 25) = 0,063 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{40} = 6,5 \cdot 0,05 \cdot 0,3 \cdot \cos 40(1 + 0,15 \text{tg} 40) = 0,085 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

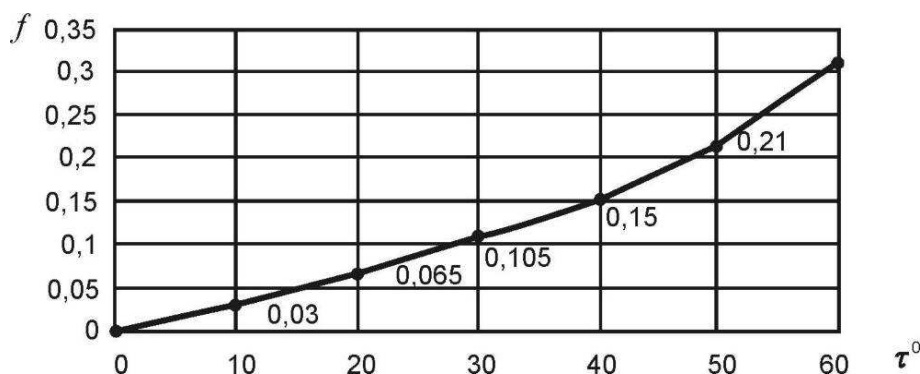


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента скользящего резания f от угла скольжения τ

Выводы:

В результате проведенных исследований по обеспечению процесса приготовления грубых кормов можно сделать следующие выводы:

1. Частота вращения измельчающего барабана с радиусом кривизны режущей кромки ножа 0,3...0,35 м должно находиться в диапазоне 830...1130 об/мин. При этом производительность составляет 300 кг/ч.;
2. Работа затрачивается на измельчение длинностебельного материала (с влажностью $W=16\%$), при рабочей высоте режущей кромке сегмента $h=0,04$ м. составляет : $A_{рез}=1,93$ Дж;
3. Рациональным значением угла скользящего резания следует считать $\tau=25...40\%$. Анализ показал, что с увеличением угла τ скольжения от 25 до 40 % коэффициент скольжения резания f составляет 0,075-0,15.

Литература

1. Фролов В.Ю., Совершенствование рабочего органа раздатчика кормов/ Сысоев Д.П., Техника в сельском хозяйстве. 2009. № 5. с. 12.
2. Фролов В.Ю., Оптимизации процесса приготовления кормов раздатчиком-смесителем/ Сысоев Д.П., Техника и оборудование для села. 2011. № 2. С. 22.
3. Фролов В.Ю. Режущий элемент измельчителя кормов/ Сысоев Д.П., Эффективное животноводство. 2012. № 5. С. 66.
4. Фролов В.Ю., Рабочий элемент измельчителя кормов/ Сысоев Д.П., Шкамаридин В.В. патент на изобретение RUS 2457665 29.12.2010
5. Фролов В.Ю., Ресурсосберегающая технология приготовления и раздачи кормов на малых фермах/ Сысоев Д.П., Сарбатова Н.Ю., Марченко А.Ю. Сельский механизатор. 2014. № 1 (59). С. 30-31.
6. Фролов В.Ю. Раздатчик-измельчитель грубых кормов/ Сысоев Д.П., Туманова М.И. Сельский механизатор. 2014. № 3 (61). С. 24-25.
7. Фролов В.Ю. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи грубых кормов из рулонов /Сысоев Д.П., Туманова М.И. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 99. С. 234-243.

References

1. Frolov V.Ju, Sovershenstvovanie rabocheho organa razdatchika kormov/ Sysoev D.P., Tehnika v sel'skom hozjajstve. 2009. № 5. s. 12.
2. Frolov V.Ju, Optimizacii processa prigotovlenija kormov razdatchikom-smesitelem/ Sysoev D.P., Tehnika i oborudovanie dlja sela. 2011. № 2. S. 22.
3. Frolov V.Ju. Rezhushhij jelement izmel'chitelja kormov/ Sysoev D.P., Jeffektivnoe

zhivotnovodstvo. 2012. № 5. S. 66.

4. Frolov V.Ju, Rabochij jelement izmel'chitelja kormov/ Sysoev D.P., Shkamaridin V.V. patent na izobrenie RUS 2457665 29.12.2010

5. Frolov V.Ju, Resursosberegajushhaja tehnologija prigotovlenija i razdachi kormov na malyh fermah/ Sysoev D.P., Sarbatova N.Ju., Marchenko A.Ju. Sel'skij mehanizator. 2014. № 1 (59). S. 30-31.

6. Frolov V.Ju. Razdatchik-izmel'chitel' grubyh kormov/ Sysoev D.P., Tumanova M.I. Sel'skij mehanizator. 2014. № 3 (61). S. 24-25.

7. Frolov V.Ju. Sovershenstvovanie tehnologij i tehniceskikh sredstv prigotovlenija i razdachi grubyh kormov iz rulonov /Sysoev D.P., Tumanova M.I. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. № 99. S. 234-243.