

На правах рукописи



Голицын Александр Сергеевич

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ДЛИННОСТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ
ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 4.3.1 –
Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный руководитель
Официальные оппоненты:

Курасов Владимир Станиславович
доктор технических наук, доцент

Федорова Ольга Алексеевна
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, кафедра «Технические системы в АПК», профессор

Бухтояров Леонид Дмитриевич
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, кафедра «Лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации», доцент

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ имени В.М. Кокова (г. Нальчик)**

Защита состоится «09» апреля 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики, ауд. 110.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г., размещен на официальном сайте ВАК РФ <https://vak3.minobrnauki.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент
Самурганов Евгений Ерманекосович



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для обеспечения полной потребности организма животного в обменной энергии, высокопродуктивные коровы должны съедать физиологически максимально возможное количество кормов. Достижение этого заключается в приготовлении полнорационных кормовых смесей, в которых оптимально сочетаются длинностебельные, сочные, грубые и концентрированные корма высокого качества, включая сбалансированные белково-витаминно-минеральные добавки и премиксы, а в целом в повышение качества кормов.

Важным источником энергии и питательных веществ при кормлении крупного рогатого скота (КРС) являются длинностебельные корма, такие как кукуруза и подсолнечник (на силос или для зеленой подкормки животных), поэтому уделяется большое внимание потреблению таких кормов.

Приготовление кормов (с учетом измельчения, дробления, плющения и т. д.) занимает до 40 % общих затрат труда на животноводческих комплексах.

Поэтому разработка новых типов измельчителей с низкой энергоемкостью является актуальной задачей. Один из способов снижения энергоемкости – совмещение операций среза и измельчения растения (одновременно по всей высоте) вертикальными вальцами с дисками.

Исследования по теме диссертационной работы, проводились в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ на 2016-2020 годы ЕГИСУ НИОКР АААА-А16-11622410038-8.

Степень разработанности темы. Подготовкой стебельных кормов к скармливанию, а именно теоретическими методами и практическими разработками, одними из первых, занимались академики В. П. Горячкин, В. А. Желиговский. Работы по исследованию приемов и оборудования для измельчения кормов продолжили ученые: Г. М. Кукта, С. В. Мельников, Н. Е. Резник, П. М. Роцин, П. А. Савиных, В. И. Сыроватко, В. Р. Алешкин, Д. Н. Кошурников, В. Е. Косолапов, О. П. Ма-

тушкин, М. Н. Тимофеев, В. Ю. Фролов, С. М. Доценко, С. В. Брагинец, У. К. Сабиев, О. А. Федорова, Л. Д. Бухтояров, Ю. А. Шекихачев, М. И. Туманова, Н. Ю. Стригунова и другие ученые.

Теоретическими исследованиями процесса измельчения стебельных кормов при минимальных затратах энергии занимались многие исследователи: В. А. Кирпичев, Ф. Кик, П. А. Ребиндер, А. А. Гриффитс, С. В. Мельников, Н. Е. Резник, В. Р. Алешкин, Н. М. Рошин, И. Н. Краснов, А. М. Семенихин, А. И. Завражнов, А. Т. Лебедев и другие ученые.

Большой вклад исследования по измельчению кормов внесли ученые ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова».

Несмотря на большое количество исследований процесса измельчения стебельных кормов, недостаточное внимание было уделено рабочему органу, совмещающему срез и одновременное измельчение растения по всей его длине.

Рабочая гипотеза – совмещение операций среза с одновременным измельчением по всей длине позволит повысить производительность и снизить энергоемкость всего процесса измельчения кормов, включающего: срез, подачу и измельчение.

Цель работы – обоснование конструктивно-режимных параметров измельчителя длинностебельных кормов с двухвальцовым режущим аппаратом для повышения его производительности и снижения энергоемкости процесса измельчения.

Задачи исследования.

1. Разработать конструктивно-технологическую схему измельчителя длинностебельных кормов.

2. Получить аналитические зависимости режимов работы измельчителя длинностебельных кормов с двухвальцовым режущим аппаратом и теоретически обосновать параметры его рабочих органов.

3. Экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режимы работы измельчителя длинностебельных кормов.

4. Разработать методику инженерного расчета основных параметров измельчителя длинностебельных кормов и методику построения геометрии диска измельчителя.

5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

6. Произвести оценку экономической эффективности предлагаемого измельчителя длинностебельных кормов.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием дифференциального и интегрального исчислений, а также основных законов теоретической механики. При проведении экспериментов использовалась теория планирования многофакторного эксперимента. Опыты проводились в лабораторных условиях с использованием апробированных методик. Обработка опытных данных осуществлялась с использованием программ для ЭВМ Microsoft Excel 2010 и MathCad 7.

Объект исследования – технологический процесс измельчения длинностебельных кормов и технические средства для его осуществления.

Предмет исследований – закономерности, связывающие геометрические параметры и кинематический режим работы измельчителя длинностебельных кормов с показателями производительности и энергоемкости.

Научная новизна работы:

- аналитические зависимости угловой скорости валцов от поступательной скорости измельчителя, режимов работы от геометрических параметров измельчителя длинностебельных кормов с двухвальцовым режущим аппаратом;

- уравнение регрессии, описывающее зависимость производительности и энергоемкости процесса измельчения кормов от основных параметров измельчителя.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- аналитические зависимости работы измельчителя длинностебельных кормов, позволяющие обосновать основные кинематические и геометрические параметры измельчителя;

- методика инженерного расчета основных параметров измельчителя и методика построения геометрии диска, позволяющие спроектировать рабочие органы;

- регрессионные зависимости энергоемкости измельчителя длинностебельных кормов от геометрических параметров и режимов работы, позволяющее обосновать его основные геометрические, кинематические параметры и режим работы.

- конструктивно-технологическая схема измельчителя длинностебельных кормов с двухвальцовым режущим аппаратом, которая позволяет разработать техническое решение конструкции измельчителя, совмещающего операции среза и измельчения стеблей;

- соотношение между параметрами и режимами работы измельчителя с показателями производительности и энергоемкости, обеспечивающее оптимальный процесс измельчения длинностебельных кормов.

Техническая новизна предложенного конструктивного решения подтверждена патентами РФ № 144351, № 172239 на полезную модель и патентами РФ № 2749064, № 2749077, № 2750113, № 2750114, № 2750206, № 2750207, № 2751841, № 2764990, № 2765265 на изобретение.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований приняты: сбытовым сельскохозяйственным потребительским кооперативом кукурузокалибровочным заводом «Кубань» (ССПК ККЗ «Кубань») Гулькевичского района Краснодарского края для практического применения; обществом с ограниченной ответственностью Агрофирмой «Луч» (ООО Агрофирма «Луч») Динского района Краснодарского края для практического применения; Кубанским государственным аграрным университетом имени И. Т. Трубилина (Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина) для использования в учебном процессе на кафедре «Тракторы, автомобили и техническая механика» при написании выпускных квалификационных работ обучающимися по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», направ-

ленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»

Степень достоверности и апробация работы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: результаты получены с применением известных методик проведения исследований, современной измерительной и вычислительной техники; теория согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертаций М. И. Тумановой, Н. Ю. Стригуновой; идея базируется на обобщении передового опыта ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова»; использованы результаты опубликованных исследований по теме диссертации Д. П. Сысоева; установлено качественное и количественное совпадение теоретических и экспериментальных данных с результатами, представленными в независимых источниках; использованы современные методы обработки исходной информации, математической статистики с использованием пакетов программ MathCad и Microsoft Excel.

Основные положения диссертации докладывались на: научно-практических конференциях молодых ученых: «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2017-2019 гг.); Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов и молодых ученых вузов Минсельхоза России ЮФО (Зерноград, 2017 г); научно-практических конференциях «Совершенствование техники в АПК» Краснодарской краевой научной и просветительской общественной организации «Кубанская народная академия» (Краснодар, 2016 и 2017 гг.).

На защиту выносятся:

- конструктивно-технологическая схема измельчителя длинностебельных кормов с двухвальцовым режущим аппаратом;
- аналитические зависимости работы измельчителя длинностебельных кормов и режимные параметры работы;

- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров измельчителя длинностебельных кормов;

- методика инженерного расчета основных параметров измельчителя;

- сходимости результатов теоретических и экспериментальных данных.

Публикации результатов работы. Основные положения диссертации опубликованы в 16 научных работах: 3 статьи из перечня ВАК; 2 патента РФ на полезную модель; 9 патентов РФ на изобретение; 2 статьи в прочих изданиях. Общий объем опубликованных работ составил 6,81 п. л., из них личный вклад автора 2,67 печатных листа.

Структура и объем работы. Диссертация содержит: введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложения. Работа изложена на 148 страницах печатного текста (с учетом приложений, 30 страниц), включает в себя 52 рисунка и 19 таблиц. Список литературы состоит из 114 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены актуальность исследований, цель работы, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе изложены: актуальность повышения качества измельчения длинностебельных кормов, особенности процесса измельчения длинностебельных кормов, рассмотрены физико-механические свойства растений кукурузы и подсолнечника как объектов измельчения, дана оценка и краткий анализ способов, технологий и технических устройств, для осуществления этих процессов. Представлена классификация измельчителей длинностебельных кормов.

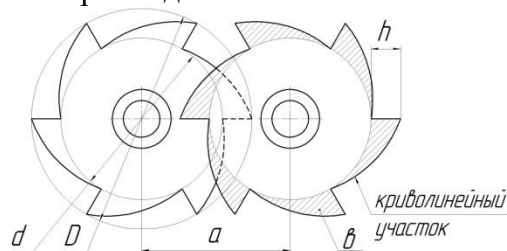
Установлено, что перспективным направлением при измельчении длинностебельных культур считается измельчение кормов непосредственно в процессе уборки.

Для измельчения кормов непосредственно в поле, разработаны силосоуборочные комбайны и косилки-измельчители, которые способны одновременно производить срез и измельчение растений. Но для животноводческих ферм малого поголовья и личных подсобных хозяйств данная техника не подходит из-за излишне высокой производительности, энергоемкости и стоимости. Кроме того, недостаточно исследован процесс среза с одновременным измельчением длинностебельных кормов рабочим органом в форме вертикальных валцов с дисками, имеющими выступы.

Сформулирована цель работы и задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований по обоснованию основных параметров и режимов работы измельчителя длинностебельных кормов.

Рабочий орган измельчителя состоит из дисков, представленных на рисунке 1. Криволинейные участки дисков образованы спиралью Архимеда.



D - внешний диаметр диска или диаметр по вершинам выступов;
 d - внутренний диаметр диска или диаметр по впадинам выступов;
 h - высота выступа; a - межосевое расстояние; β - количество выступов.

Рисунок 1 - Схема смежной пары дисков измельчителя длинностебельных кормов

Угловая скорость валцов ω измельчителя определяется из выражения:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot v}{h \cdot \epsilon}, \quad (1)$$

где v - поступательная скорость агрегата, км/ч.

Из анализа возможных вариантов взаимодействия дисков со стеблем растения: $d_C > a$, $d_C \approx a$ и $d_C < a$ наиболее приемлемый - когда диаметр измельчаемого стебля d_C меньше межосевого расстояния вальцов a .

Разработана инженерная методика построения геометрии диска измельчителя, основанной на спирали Архимеда

Приращение Архимедовой спирали постоянное, поэтому шаг III спирали определили как произведение высоты h выступа и количества ϵ выступов.

$$III = h \cdot \epsilon \quad (2)$$

Определено неравенство включающее связь шага III спирали и внутреннего диаметра d диска, при котором построение геометрии диска гарантированно пройдет на втором и последующих витках Архимедовой спирали $d \geq 2III$.

Определено неравенство включающее связь шага III спирали и внешнего диаметра D диска, при котором построение геометрии диска гарантированно пройдет на первом витке Архимедовой спирали $D \leq 2III$.

Методика построения диска включает следующие этапы:

1. Расчет шага спирали - III по выражению (2);
2. Выбор диаметра по условиям $d \geq 2III$ или $D \leq 2III$;
3. Построение Архимедовой спирали с шагом III и с центром в точке O ;
4. Ограничение участка диаметром D с центром в точке O , части спирали и построения вне границы D удаляются;
5. Точка пересечения спирали с границей D поворачивается вокруг центра O до горизонтальной прямой;
6. Граница диаметра D разделяется вспомогательными линиями, проходящими через центр O , на равные части, исходя из количества выступов ϵ ;

7. Спираль копируется на точки пересечения вспомогательных линий и границы D ;
8. Ограничивается участок диаметром d с центром в точке O ;
9. Границы D и d соединяются по вспомогательным линиям;
10. Части спирали и построения внутри границы d удаляются;
11. Границы построения D и d удаляются (рисунок 2).

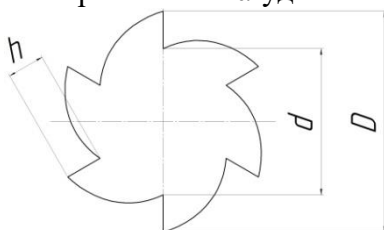


Рисунок 2 - Схема диска измельчителя
длинностебельных кормов

Исходя из конструкции вальца (рисунок 3), шаг винтовой спирали L определяется по формуле:

$$L = 2T_D \frac{360}{\gamma}, \quad (3)$$

где T_D - толщина диска, мм; γ - угол смещения следующего диска относительно предыдущего, град.

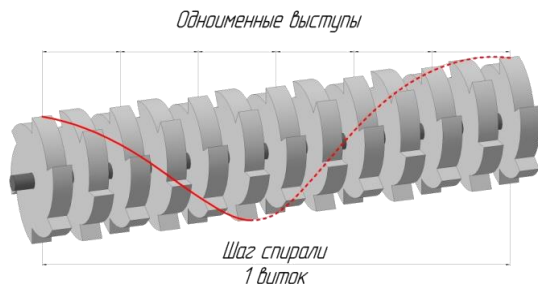


Рисунок 3 - Модель вальца с шагом спирали в 1 виток

Шаг винтовой спирали L влияет на следующие показатели: количество выступов, вступающих в работу одновременно; количество выступов, осуществляющих измельчение.

Угловое ускорение при нагрузке ε_H в зависимости от рабочих параметров измельчителя, частот вращения валцов при холостом ходе ω_X и нагрузке ω_H , а так же, от времени среза у комлевой части растения t_C и времени на доизмельчение t_D определяется как:

$$\int_{\omega_{XX}}^{\omega_H} d\omega_H = - \left(\frac{2\pi \cdot v}{h \cdot \varepsilon} - \omega_H \right) \cdot \int_0^{t_1} dt \quad (4)$$

Определены общие затраты мощности N_O с учетом коэффициента сдвоенных валцов I .

$$N_O = \frac{J_B \cdot I \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot \frac{2\pi \cdot v}{h \cdot \varepsilon}}{\eta}, \quad (5)$$

где J_B - момент инерции всего вальца, кг/м²; Π - коэффициент переходного состояния; Φ - коэффициент формы кривой.

Определено выражения для расчета производительности измельчителя длинностебельных кормов:

$$Q = \frac{h \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot m_P}{2\pi \cdot b}, \quad (6)$$

где m_P - масса растения, кг; b - расстояние между растениями в рядке, м.

Обоснована конструктивно-технологическая схема измельчителя длинностебельных кормов (рисунок 4).

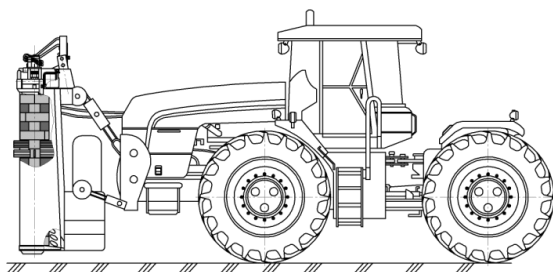


Рисунок 4 - Конструктивно-технологическая схема измельчителя длинностебельных кормов

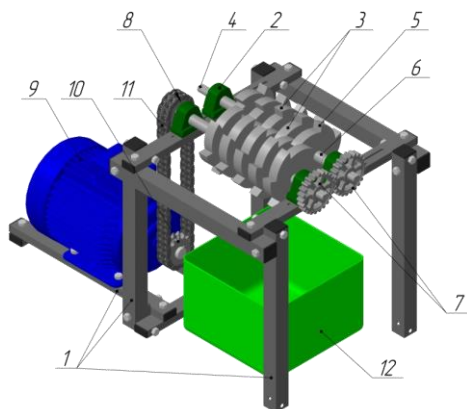
Анализ способов заготовки, технологий и устройств для измельчения длинностебельных кормов, с учетом серийно выпускаемой техники, а так же проведенные теоретические исследования позволили разработать устройство для среза и измельчения длинностебельных кормов, непосредственно в поле (патент РФ на полезную модель № 144351, № 172239, на изобретение № 2749064, № 2749077, № 2750113, № 2750114, № 2750206, № 2750207, № 2751841, № 2764990, № 2765265). Отличительной особенностью разработанного измельчителя длинностебельных кормов (рисунок 4), является совмещение операций среза и измельчения длинностебельного корма двухвальцовым режущим аппаратом.

В третьей главе представлены методика и результаты экспериментальных исследований.

В эксперименте в качестве отклика выбрали мощность ($N_{э}$) измельчителя, потребляемую в процессе работы.

Определена степень значимости факторов и выявлены из их числа существенные факторы, влияющие на критерий оптимизации: $n_{вц}$ - частота вращения вальцов, D - диаметр дисков, переходим к постановке основного эксперимента.

Экспериментальная установка позволяла изменять частоту вращения вальцов в интервале $550...850 \text{ мин}^{-1}$ (рисунок 5).



1 – рама, 2 – подшипниковые опоры, 3 – вальцы, 4 – вал, 5 – диски,
 6 – промежуточные кольца, 7 – зубчатая передача, 8 – звездочка ведомая,
 9 – двигатель, 10 – звездочка ведущая, 11 – цепь, 12 – контейнер.

Рисунок 5 - Схема опытной установки

Для установки вальцов с дисками другого диаметра, происходила смена вальцового узла. Установка имеет набор из трех пар вальцов с дисками диаметры которых 120 мм, 160 мм и 200 мм.

Для постановки двухфакторного эксперимента, был выбран симметричный композиционный план типа B_k , В таблице 1 представлены изменяемые факторы, интервалы варьирования и уровни факторов.

Таблица 1 - Изменяемые факторы, интервалы варьирования и уровни факторов

Переменные факторы	Кодированные обозначения, x_i	Интервал варьирования, Δ_i	Уровни факторов		
			+1	0	-1
Диаметр диска X_1 (D_i), мм	x_1	40	200	160	120
Частота вращения вальца X_2 ($n_{Вц}^i$), мин ⁻¹	x_2	150	850	700	550

Для обработки результатов опытов были разработаны специальные программы в приложении Mathcad 7.

Исходя из функции отклика получили уравнение регрессии в кодированном виде, рассчитав коэффициенты регрессии методом математической обработки экспериментальных данных, полученных по результатам опытов.

$$y = 0.692085 + 0.137208x_1 + 0.043501x_2 - 0.03275x_1x_2 + 0.097504x_1^2 - 0.0335x_2^2 \quad (7)$$

где y - мощность затрачиваемая установкой, кВт; x_1 - диаметр диска установки; x_2 - частота вращения вальца установки.

По критерию Фишера провели проверку гипотезы на адекватность, полученного уравнения регрессии. Табличное значение критерия Фишера составило $F_{0.05,4,8}=6.04$, а расчетное значение составило $F_p=5.894$, следовательно уравнение (7) адекватно описывает изучаемый процесс.

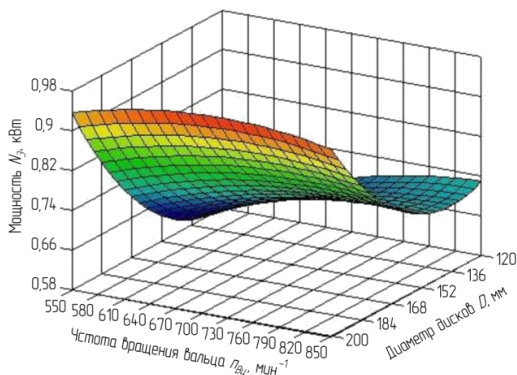


Рисунок 6 – Поверхность отклика зависимости затрат мощности N_9^i от диаметра диска D_i и частоты вращения вальца n_i в натуральных значениях исследуемых факторов

Минимальные затраты мощности в действительных значениях изучаемых факторов будут при диаметре диска $X_1 = 138$ мм и частоте вращения вальца $X_2 = 838$ мин⁻¹.

Получен сравнительный график зависимости мощности

$N_{\mathcal{D}}^i$, потребляемой установкой, от частоты вращения валцов при заданном диаметре дисков (рисунок 7).

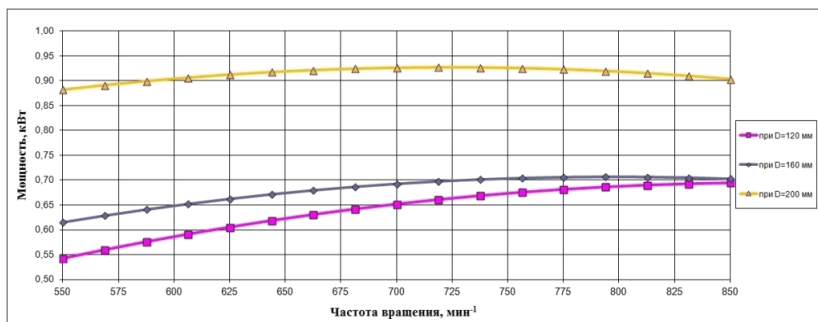


Рисунок 7 - Сравнительный график зависимости затрат мощности $N_{\mathcal{D}}^i$ от частоты вращения валца $n_{ВЦ}^i$ при заданном диаметре диска D_i

Расхождение между теоретическим и экспериментальными значениями затрат мощности не превышает 7 %.

Разработана инженерная методика расчета основных параметров измельчителя длинностебельных кормов (таблица 2).
Таблица 2 - Основные параметров измельчителя длинностебельных кормов

Показатели	Расчетные формулы	Условные обозначения
Угловая скорость валцов с дисками, рад/с	$\omega = \frac{2\pi \cdot v}{h \cdot \epsilon}$	h - высота выступа диска, м; ϵ - количество выступов, шт; v - поступательная скорость агрегата, м/с.
Частота вращения валцов $n_{ВЦ}$, мин ⁻¹		$n_{ВЦ} = \frac{2 \cdot 30 \cdot v}{h \cdot \epsilon}$
Расчетный момент сопротивления, Н/м	$M_{Расч} = M_{Соп} \cdot \Phi$	$M_{Соп}$ - момент сопротивления, Н/м, Φ - коэффициент формы кривой.
Момент сопротивления, Н/м	$M_{Соп} = J_B \cdot \Pi$	J_B - момент инерции всего валца, кг/м ² ; Π - коэффициент переходного состояния.

Продолжение таблицы 2

Кoeffициент переходного состояния	$\Pi = \frac{\pi(n_{XX} - n_H)}{30(t_C + t_D)}$	n_{XX} - частота вращения вальцов, мин ⁻¹ ; n_H - частота вращения вальцов под нагрузкой, мин ⁻¹ ; t_C - время на срез растения, с; t_D - время на измельчение растения, с.
Затраты мощности, Вт	$N = \frac{M_{\text{Пасч}} \cdot \omega}{\eta}$	$M_{\text{Сопр}}$ - момент сопротивления, Н/м; ω - угловая скорость вальцов, с ⁻¹ ; η - КПД передачи.
	$N = \frac{J_B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot \frac{2\pi \cdot v}{h \cdot \epsilon}}{\eta}$	
Общие затраты мощности, Вт	$N_o = I \cdot N$	N - затраты мощности, Вт/ч; I - коэффициент двойных вальцов.
	$N_o = \frac{J_B \cdot I \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot \frac{2\pi \cdot v}{h \cdot \epsilon}}{\eta}$	
Производительность одного русла, кг/с	$Q = \frac{h \cdot \epsilon \cdot \omega \cdot m_p}{2\pi \cdot b}$	m_p - масса растения, кг; b - расстояние между растениями в ряду, м.

В четвертом разделе представлен расчет экономической эффективности использования измельчителя длинностебельных кормов. Производительность труда возрастает с 0,38 га/чел.ч до 0,5 га/чел.ч, затраты труда на площади уборки 100 га сокращаются с 2,63 чел.ч/га до 2,0 чел.ч/га, так же сокращаются эксплуатационные затраты - в 1,5 раза, металлоемкость - в 1,2 раза, энергоемкость на 3%. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат составит - 213 тыс. руб./год, а срок окупаемости - 3,8 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. На основании проведенного анализа конструкций технических средств для среза и измельчения кормов, разработана конструктивно-технологическая схема измельчителя длинностебельных кормов и экспериментальная установка. Новизна технических решений подтверждена патентами РФ № 144351, № 172239 на полезную модель и патентами РФ № 2749064, № 2749077, № 2750113, № 2750114, № 2750206, № 2750207, № 2751841, № 2764990, № 2765265 на изобретение.

2. Получены аналитические зависимости: угловой скорости валцов от поступательной скорости агрегата; затрат мощности на измельчение и производительности измельчителя от его параметров.

3. Теоретически обоснованы параметры измельчителя: высота выступов диска; межосевое расстояние валцов в зависимости от диаметра измельчаемого стебля с учетом рационального соотношения диаметра измельчаемого стебля и межосевого расстояния валцов; шаг спирали Архимеда для построения геометрии диска измельчителя, учитывая условия построения на первом, втором и последующих витках спирали Архимеда; шаг винтовой спирали валца, для обеспечения затягивающей способности; количество выступов одного диска, участвующих в измельчении, в определенный момент времени. Рассчитаны затраты мощности на измельчение - 0,67 кВт., производительность измельчителя - 18500 кг/ч., а так же удельные затраты энергии на процесс измельчения исходя из полученных параметров - 0,04 Дж/кг, по теоретически полученным выражениям.

4. В результате проведенных экспериментальных исследований были установлены оптимальные параметры частоты вращения валцов измельчителя длинностебельных кормов - 838 мин⁻¹ и диаметра диска - 138 мм, обеспечивающих оптимальные затраты мощности при установившемся режиме работы - 0,675 кВт.

5. Разработаны методика инженерного расчета основных параметров измельчителя длинностебельных кормов, позволяющая рассчитать его: мощностные показатели; производительность, в зависимости от массы и густоты стояния растений. Получена методика построения геометрии диска измельчителя, позволяющая спроектировать диск с значениями спирали Архимеда.

6. Расхождение между экспериментальными значениями затрат мощности полученными в ходе эксперимента и теоретическими затратами мощности рассчитанными для оптимальных параметров, полученных в ходе эксперимента не превышает - 7 %.

7. Анализ выполненных расчетов по вариантам сравниваемых измельчителей показал высокую эффективность предлагаемого измельчителя. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат на площади 100 гектар составит - 213 тыс. руб./год, а срок окупаемости - 3,8 года.

Рекомендации производству

Предложенные в работе конструкция измельчителя длинностебельных кормов и методики расчета основных параметров и построения дисков могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке устройств для заготовки длинностебельных кормов на силос. Разработанная конструкция измельчителя может быть модернизирована из мобильного прицепного/навесного устройства в стационарный измельчитель и использоваться с целью кормозаготовительных работ в животноводстве, например, измельчение корнеклубнеплодов, а так же как измельчитель раздатчик кормов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Предлагаемая методика инженерного расчета основных параметров измельчителя, может быть использована при дальнейшей разработки измельчителей с рабочими органами в виде

пар вертикальных вальцов с дисками имеющими выступы с целью повышения производительности и снижения энергетических затрат на процесс измельчения. Предлагаемая методика построения геометрии диска измельчителя, позволит спроектировать диск не только с элементами спирали Архимеда а так же с вариантами поверхностей выступов для увеличения затягивающей способности измельчителя и снижения энергетических затрат на процесс измельчения.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Голицын, А. С. Аналитическое обоснование параметров рабочих органов измельчителя длинностебельных кормов /А.С. Голицын // Известия Оренбургского государственного аграрного университета № 5(79), 2019 год, С. 137-139.

2. Голицын, А. С. Построение геометрии диска измельчителя длинностебельных кормов, основанное на первом витке спирали Архимеда /А. С. Голицын, Е. Е. Самурганов, Б. Х Тазмеев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета № 6(80), 2019 год, С. 160-162.

3. Голицын, А. С. Построение геометрии диска измельчителя длинностебельных кормов, основанное на втором витке спирали Архимеда /А.С. Голицын, В.С. Курасов, Е.Е. Самурганов // Научный журнал КубГАУ, №154(10), 2019 год. (<http://ej.kubagro.ru/2019/10/pdf/26.pdf>)

- в прочих изданиях:

4. Голицын, А. С. Зависимость угловой скорости вальцов от скорости движения измельчителя длинностебельных кормов / А. С. Голицын // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам XII Всерос. конф. молодых ученых (5–8 февраля 2019 г.). – Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 114-115.

5. Голицын, А. С. Обоснование геометрической формы рабочих органов для измельчителя длинностебельных кормов /

А. С. Голицын // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам XI Всерос. конф. молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края (29–30 ноября 2017 г.). – Краснодар: КубГАУ, 2017. С. 345-346.

- в патентах на полезную модель:

6. Пат. 144351 Российская Федерация, МПК В 02 С4/02. Шредер / В. В. Куцеев, А. А. Титученко, А. С. Голицын.; заявитель и патентообладатель КубГАУ.– № 2014108270/15; заявл. 04.03.2014; опубл. 20.08.2014; бюл. № 23.

7. Пат. 172239 Российская Федерация, МПК А 01 F 29/00. Измельчитель кормов / В. М. Короткин, В. В. Куцеев, Е. Е. Самурганов, А. С. Голицын, А. В. Короткин.; заявитель и патентообладатель ССПК ККЗ «Кубань».– № 2016133448; заявл. 15.08.2016; опубл. 03.07.2017; бюл. № 19.

- в патентах на изобретение:

8. Пат. 2 749 064 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Устройство кормозаготовительное / Голицын А. С, Артюхин Д. А., Курасов В. С., Самурганов Е. Е. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132199, заяв. 28.09.2020; опубл. 03.06.2021 Бюл. № 16 - 9 с.

9. Пат. 2 749 077 Российская Федерация МПК А01D 45/00 Способ заготовки корма из длинностебельных растений / Голицын А. С, Артюхин Д. А. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020131874, заявл. 24.09.2020; опубл. 03.06.2021 Бюл. № 16 - 8 с.

10. Пат. 2 750 113 Российская Федерация МПК В02С 4/02, А01D 45/00, А01F 29/00 Измельчитель длинностебельных кормов / Голицын А. С, Артюхин Д. А., Куцеев В. В., Титученко А. А. заявитель и патентообладатель Федеральное государ-

ственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132198, заявл. 28.09.2020; опубл. 22.06.2021 Бюл. № 18 - 9 с.

11. Пат. 2 750 114 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Агрегат для заготовки длинностебельных кормов / Голицын А. С, Артюхин Д. А. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132519, заявл. 30.09.2020; опубл. 22.06.2021 Бюл. № 18 - 9 с.

12. Пат. 2 750 206 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Агрегат кормозаготовительный / Голицын А. С, Артюхин Д. А., Курасов В. С заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132197, заявл. 28.09.2020; опубл. 24.06.2021 Бюл. № 18 - 9 с.

13. Пат. 2 750 207 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Измельчитель высокостебельных кормов / Голицын А. С, Артюхин Д. А. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132520, заявл. 30.09.2020; опубл. 24.06.2021 Бюл. № 18 - 9 с.

14. Пат. 2 751 841 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Машина для заготовки длинностебельных кормов / Голицын А. С, Артюхин Д. А., Костылев С. И. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020131873, заявл. 24.09.2020; опубл. 19.07.2021 Бюл. № 20 - 9 с.

15. Пат. 2 764 990 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Устройство для заготовки длинностебельных кормов / Голицын

А. С, Артюхин Д. А., Самурганов Е. Е. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132521, заявл. 30.09.2020; опубл. 24.01.2022 Бюл. № 3 - 9 с.

16. Пат. 2 765 265 Российская Федерация МПК В02С 4/02 Машина кормозаготовительная / Голицын А. С, Артюхин Д. А., Мечкало А. Л. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» 2020132444, заявл. 29.09.2020; опубл. 27.01.2022 Бюл. № 3 - 9 с.

Подписано в печать 06.02.2025

Формат 60 × 84 1/16

Бумага офсетная

Усл. печ. лист – 0,76

Заказ №

Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Крон»
350051, г. Краснодар, ул. Дальняя, 39/3