

*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 «26» марта 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 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. Матушкин, 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. Роцин, 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 исчисления, 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», направленность «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;

- сходимостъ 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.



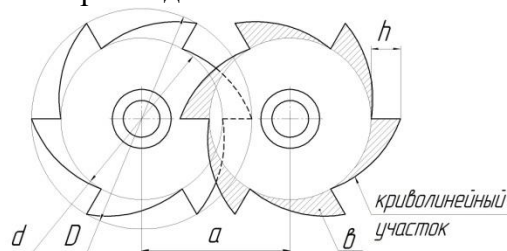
Установлено, что перспективным направлением при измельчении длинностебельных культур считается измельчение кормов непосредственно в процессе уборки.

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;  $b$  - количество выступов.

Рисунок 1 - Схема смежной пары дисков измельчителя длинностебельных кормов

Угловая скорость валцов  $\omega$  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  $\epsilon$  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  $\epsilon$ ;

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).

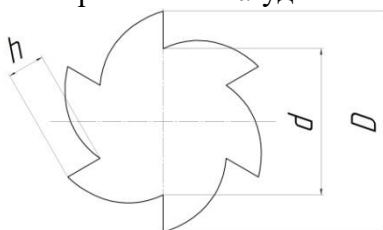


Рисунок 2 - Схема диска измельчителя  
длинностебельных кормов

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;  $\gamma$ - угол смещения следующего диска относительно предыдущего, град.

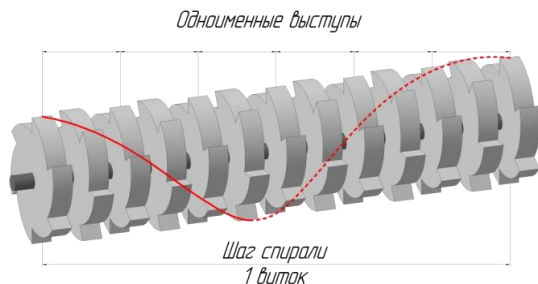


Рисунок 3 - Модель вальца с шагом спирали в 1 виток

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

Угловое ускорение при нагрузке  $\varepsilon_H$  в зависимости от рабочих параметров измельчителя, частот вращения валцов при холостом ходе  $\omega_X$  и нагрузке  $\omega_H$ , 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/м<sup>2</sup>;  $\Pi$  - коэффициент переходного состояния;  $\Phi$  - 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).

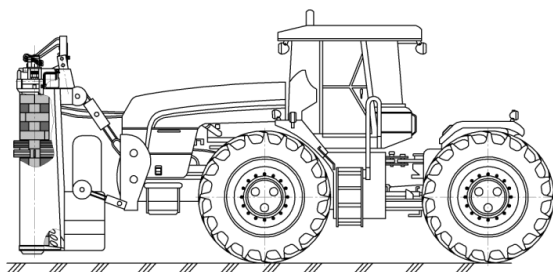


Рисунок 4 - Конструктивно-технологическая схема измельчителя длинностебельных кормов

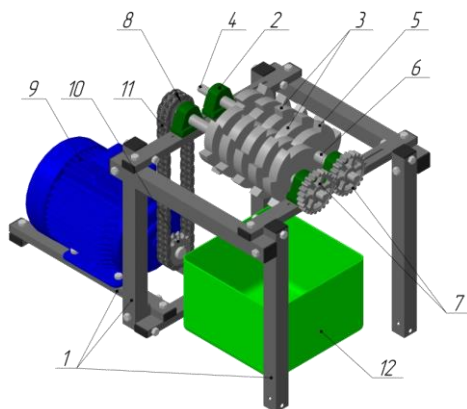
Анализ способов заготовки, технологий и устройств для измельчения длинностебельных кормов, с учетом серийно выпускаемой техники, а так же проведенные теоретические исследования позволили разработать устройство для среза и измельчения длинностебельных кормов, непосредственно в поле (патент РФ на полезную 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, $\Delta_i$	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 <sup>-1</sup>	$x_2$	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.

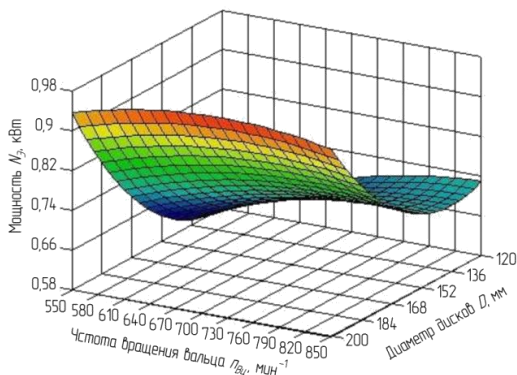


Рисунок 6 – Поверхность отклика зависимости затрат мощности  $N_9^i$  от диаметра диска  $D_i$  и частоты вращения вальца  $n_i$  в натуральных значениях исследуемых факторов

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

Получен сравнительный график зависимости мощности

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

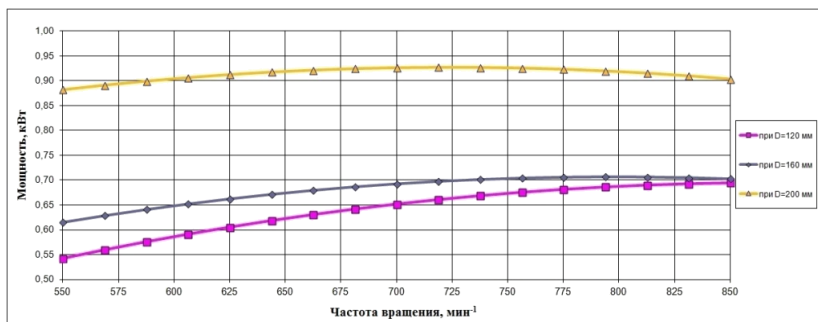


Рисунок 7 - Сравнительный график зависимости затрат мощности  $N_{\text{э}}^i$  от частоты вращения валца  $n_{\text{ВЦ}}^i$  при заданном диаметре диска  $D_i$

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; $\epsilon$ - количество выступов, шт; $v$ - поступательная скорость агрегата, м/с.
Частота вращения валцов $n_{\text{ВЦ}}$ , мин <sup>-1</sup>		$n_{\text{ВЦ}} = \frac{2 \cdot 30 \cdot v}{h \cdot \epsilon}$
Расчетный момент сопротивления, Н/м	$M_{\text{Расч}} = M_{\text{Сопр}} \cdot \Phi$	$M_{\text{Сопр}}$ - момент сопротивления, Н/м, $\Phi$ - коэффициент формы кривой.
Момент сопротивления, Н/м	$M_{\text{Сопр}} = J_{\text{В}} \cdot \Pi$	$J_{\text{В}}$ - момент инерции всего валца, кг/м <sup>2</sup> ; $\Pi$ - коэффициент переходного состояния.



Продолжение таблицы 2

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

**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<sup>-1</sup> 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 2024. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. лист – 0,76.

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13