

На правах рукописи



Туманова Марина Ивановна

**ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СТЕБЕЛЬНЫХ
КОРМОВ С ДИСКОВЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ
ДЛЯ МАЛЫХ ФЕРМ КРС**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2020

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

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Фролов Владимир Юрьевич

Официальные оппоненты: **Коновалов Владимир Викторович**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «ПензГТУ», кафедра «Технология машиностроения», профессор;
Косолапов Евгений Владимирович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», кафедра
технологического и энергетического обо-
рудования

Ведущая организация: **Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (г. Зерноград)**

Защита состоится «7» июля 2020 года в 10⁰⁰ 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 механизации, ауд. 345.

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

Автореферат разослан «1» марта 2020 года и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <http://vak3.ed.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор
Фролов Владимир Юрьевич



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Кормление крупного рогатого скота питательными кормами обеспечивает высокую продуктивность животных. Доля ручного труда в малых формах хозяйствования (МФХ), крестьянско-фермерских хозяйствах (КФХ), личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) достигает 65% и более, что обусловлено отсутствием ресурсосберегающих технических средств по выполнению технологических операций при производстве продукции животноводства. Одним из наиболее трудоемких является процесс приготовления и раздачи кормов, который составляет 40% всех трудовых затрат в хозяйствах. Применение достаточно энергоемких существующих типов измельчителей, особенно в условиях предприятий МФХ, увеличивает себестоимость продукции животноводства. Поэтому разработка новых типов измельчителей с низкой энергоемкостью является актуальной задачей. Одним из способов снижения энергоемкости – применение дисковых рабочих органов, оснащенных комбинированными режущими сегментами.

Исследования проведены в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ по теме № ГР 01201153626 на 2011–2015 гг. и по теме №ЕГИСУ НИОКР 4А-А16-116022410038-8 на 2016-2020 гг.

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

Несмотря на большое количество исследований процесса измельчения стебельных кормов в прессованном виде, такие вопросы как измельчение кормов дисковым рабочим

органом, оснащенным комбинированными режущими сегментами не решены.

Рабочая гипотеза – снижение затрат энергии на процесс измельчения стебельных кормов и улучшение качественных показателей возможно посредством разработки измельчителя с дисковым рабочим органом конусного типа. Это позволит повысить эффективность процесса измельчения за счет установки по осям рабочей поверхности измельчающих двухплоскостных сегментов дугового профиля и горизонтальных зубчатых сегментов.

Цель работы – обоснование конструктивно-технологических параметров измельчителя стебельных кормов с дисковым рабочим органом, оснащенным комбинированными режущими сегментами для снижения удельной энергоемкости процесса измельчения стебельных кормов в прессованном виде.

Объект исследования – измельчитель стебельных кормов в прессованном виде с дисковым рабочим органом, оснащенным комбинированными режущими сегментами.

Предмет исследования – зависимость удельной энергоемкости от параметров измельчителя с дисковым рабочим органом и режущих сегментов.

Задачи исследования.

1. Разработать конструктивно-технологическую схему измельчителя стебельных кормов в прессованном виде с дисковым рабочим органом, оснащенным комбинированными режущими сегментами.

2. Провести теоретический анализ рабочего процесса измельчителя стебельных кормов в прессованном виде с дисковым рабочим органом, оснащенным комбинированными режущими сегментами и определить факторы, влияющие на энергоемкость процесса.

3. Определить конструктивно-технологические параметры комбинированных режущих сегментов, расположенных на дисковом рабочем органе.

4. Провести экспериментальные исследования процесса измельчения стебельных кормов в прессованном виде и проверить факторы, влияющие на энергоемкость, определить их рациональные конструктивно-технологические параметры.

5. Дать экономическую оценку внедрения предлагаемого измельчителя стебельных кормов в прессованном виде с дисковым рабочим органом, оснащенным комбинированными режущими сегментами и разработать методику расчета основных конструктивно-технологических параметров.

Научная новизна работы:

– аналитические зависимости для определения выражений производительности и удельной энергоемкости от параметров комбинированных режущих сегментов измельчителя стебельных кормов в прессованном виде;

– математическая модель процесса измельчения стебельных кормов, позволяющая обосновать основные конструктивно-технологические параметры измельчителя стебельных кормов, а также его производительность и энергоемкость процесса;

– уравнения регрессии конструктивно - технологических параметров дискового рабочего органа, оснащенного комбинированными режущими сегментами, измельчителя стебельных кормов.

Теоретическую и практическую значимость исследований составляют:

– конструктивно - технологические параметры измельчителя стебельных кормов, позволяющие уменьшить удельную энергоемкость процесса измельчения на 41,5% по сравнению с ИРР-1М;

– конструктивно-технологическая схема измельчителя стебельных кормов.

Новизна предложенных технических решений подтверждена патентами РФ на изобретение № 2530811, № 2542120, № 2581488 и полезную модель № 163827.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений высшей математики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и полевых условиях в соответствии с апробированными методиками и базировались на теории планирования многофакторного эксперимента.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались на ПК с использованием пакетов программ MathCad, Microsoft Excel, Statistica 7.0.

Основные положения, выносимые на защиту:

– конструктивно-технологическая схема измельчителя стебельных кормов в прессованном виде с дисковым рабочим органом, оснащенный комбинированными режущими сегментами;

– аналитические зависимости производительности и удельной энергоемкости процесса от параметров комбинированных режущих сегментов измельчителя стебельных кормов в прессованном виде, расположенных на дисковом рабочем органе;

– математическая модель процесса измельчения стебельных кормов, позволяющая обосновать основные конструктивно-технологические параметры измельчителя стебельных кормов, а также его производительность и энергоемкость процесса;

– результаты экспериментальных исследований процесса измельчения стебельных кормов, определение радио-

нальных параметров измельчителя с дисковым рабочим органом, влияющих на энергоемкость.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты исследований по совершенствованию технических средств и рабочих органов механизации животноводства рекомендованы Научно-техническим советом Краснодарского края к применению во всех категориях животноводческих предприятиях различной специализации, а также используются в хозяйствах Краснодарского края: КФХ «Дорошенко И.И.», ЗАО «Ясенские зори», ИП КФХ «Дергачева Е.А.», ООО «Лосево», в ОАО имени «И.В. Мичурина». Основные положения диссертации докладывались на научных конференциях: «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар, 2016 г.); «Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» в рамках Всероссийской научной конференции «Научно-техническое обеспечение АПК Юга России», (Зерноград, 2017 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ (Омск, 2018 г.), XIX Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2016» (Москва, 2016 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 29 научных работах, включая 11 в изданиях из перечня ВАК РФ, одного патента на полезную модель и четырех патентов на изобретение РФ, 2 публикаций в наукометрической базе данных Web of Science. Общий объем публикаций составляет 5,3 печатных листов, из них на долю автора приходится 4,1 печатных листов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 179 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 123 наименований и приложения, а также содержит 60 рисунков и 18 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлены актуальность исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований, основные положения, выносимые на защиту.

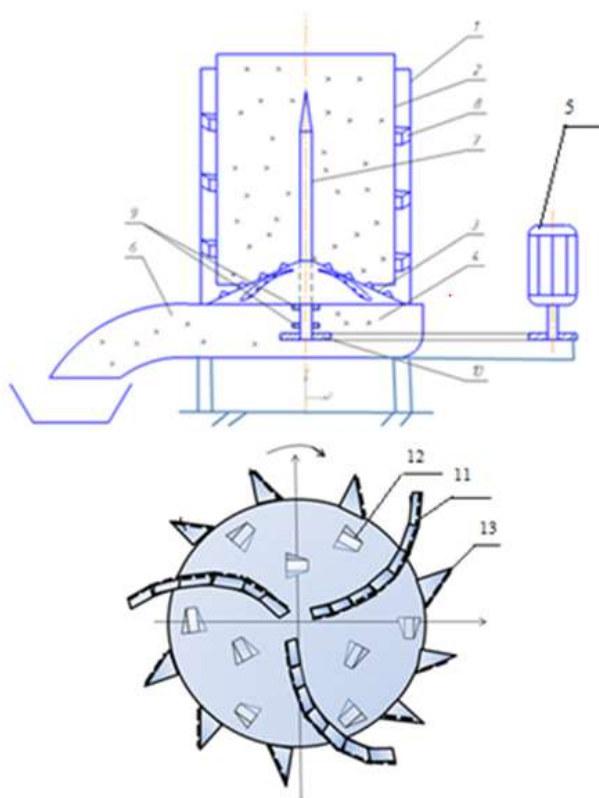
В **первой главе** на основе исследования состояния развития МФХ В Краснодарском крае и производимой ими продукции животноводства дан анализ заготовки стебельных кормов путем их прессования в рулоны и тюки, технических средств для измельчения кормов, осуществлена оценка удельной энергоемкости этих машин. В области механизации измельчения кормов известны научные труды В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, Г.М. Кухты, В.Г. Кобы, С.В. Брагинца, В.Г. Мохнаткина, С.М. Доценко и других исследователей. Их анализ показал, что снижение затрат энергии на процесс измельчения возможно посредством создания новых конструкций рабочих органов машин. В соответствии с выше изложенным, сформулированы цель и задачи исследований.

Во **второй главе** изложены результаты теоретических исследований параметров измельчителя стебельных кормов, получены аналитические зависимости производительности и энергоемкости процесса.

Анализ существующих технических средств по приготовлению стебельных кормов, предусматривающих применение серийно выпускаемой техники, позволил разработать техническое средство (патент РФ на изобретение № 2530811, № 2542120, № 2581488 и полезную модель № 163827) позволяющее измельчать стебельные корма в прессованном виде.

Отличительной особенностью предлагаемого технического средства (рисунок 1) является дисковый рабочий орган конусного типа, оснащенный комбинированными режущими сегментами, что позволяет равномерно воздействовать на материал в продольно–поперечных направлени-

ях (многоплоскостное резание); снизить энергоемкость процесса за счет резания со скольжением и транспортировки кормов в кормушки или подстилки в стойла воздушным потоком; улучшить качество измельчения; повысить эксплуатационную надежность и срок службы.



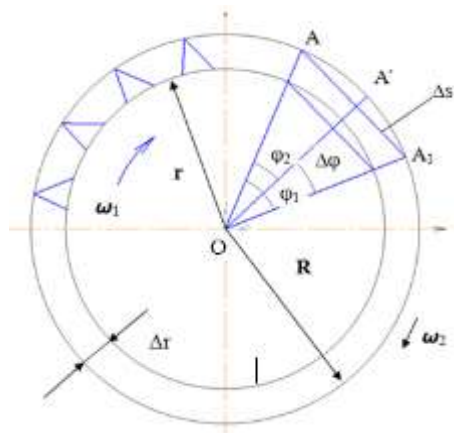
1 – бункер, 2 – рулон, 3 – измельчающий рабочий орган конусного типа, 4, 6 – воздуховод, 5 – электропривод, 7 – игла, 8 – шнековая навивка, 9 – подшипник, 10 – шкив, 11 – горизонтальные зубчатые измельчающие элементы, 12 – измельчающие двухплоскостного дугового профиля сегменты, 13 – измельчающие зубчатые сегменты

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема измельчителя стебельных кормов в прессованном виде

На основе проведенного анализа процесса измельчения получены аналитические зависимости для теоретического обоснования конструктивных и технологических па-

раметров измельчителя стебельных кормов. Основными факторами, от которых зависит энергоёмкость процесса измельчения кормов, являются: вид и влажность материала, скорость резания, угол скольжения, вид режущего сегмента и его расположение, геометрические параметры режущего сегмента, производительность и другие.

Для определения производительности измельчителя необходимо определить площадь материала, срезаемого одним сегментом на поперечную плоскость (рисунок 2).



R – радиус измельчающего рабочего органа, м, r – радиус рулона, м, Δr – вылет измельчающих зубчатых сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа, м, ω_1 – угловая скорость вращения рулона, c^{-1} , ω_2 – угловая скорость измельчающего рабочего органа, c^{-1} , ϕ_1 – угол поворота измельчающего рабочего органа с сегментами, град., ϕ_2 – угол поворота рулона, град., $\Delta\phi$ – угол поворота сегмента относительно рулона, град., Δs – перемещение сегмента относительно рулона, м.

Рисунок 2 – Схема к определению параметров вырезаемой части углубления

Угол поворота сегмента на измельчающем рабочем органе будет равен:

$$\Delta\phi = \arccos\left(\frac{\Delta s^2}{2R^2} - 1\right). \quad (1)$$

Время T воздействия сегмента на рулон:

$$T = \frac{\Delta\phi}{\omega_2}. \quad (2)$$

Условия, при которых площадь срезаемого материала будет следовать одна за другой, так что конец предшествующей площади срезаемого материала, будет являться началом следующей, определяется:

$$\omega_{1\min} = \omega_1 \cdot \frac{\arccos(\frac{\Delta s^2}{2R^2}-1)}{2\pi} \quad (3)$$

где $\omega_{1\min}$ – минимальная угловая скорость измельчающего рабочего органа, с^{-1} .

Зависимость между линейной скоростью рулона и угловой скоростью измельчающего рабочего органа:

$$u \geq \frac{\omega_{1\min} r}{(1-\varepsilon)} = \omega_2 \cdot \frac{\arccos(\frac{\Delta s^2}{2R^2}-1)}{2\pi}. \quad (4)$$

где u – линейная скорость рулона, м/с ; ε – коэффициент проскальзывания рулона относительно измельчающего рабочего органа, у.е.

Площадь срезаемого материала за один оборот сегмента находится как площадь одного витка логарифмической спирали, которая определяется четвертью площади срезаемого материала.

Площадь материала срезаемого за один оборот при n – количестве сегментов на измельчающем рабочем органе:

$$S_1 = \pi \cdot R^2 \cdot \frac{\Delta \varphi}{360} \cdot n. \quad (5)$$

За первый оборот с рулона удаляется объем материала:

$$V_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \frac{\Delta \varphi}{360} \cdot n \cdot L \cdot \sin \alpha. \quad (6)$$

где L – длина активной части лезвия зубчатого измельчающего сегмента, м ; α – угол наклона зубчатого измельчающего сегмента к поверхности измельчающего рабочего органа, град.

Масса материала, удаляемая за первый оборот с рулона:

$$M_1 = V_1 \cdot \rho = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \frac{\Delta\varphi}{360} \cdot n \cdot L \cdot \rho \cdot \sin\alpha. \quad (7)$$

где ρ – плотность материала рулона, кг/м³.

Производительность измельчителя, в течение первого оборота рулона:

$$Q^{(1)} = \frac{M_1}{T_2}. \quad (8)$$

где T_2 – время поворота рулона в бункере измельчителя, с.

Тогда производительность измельчителя определится:

$$Q = 0,45 \cdot R^2 \cdot n \cdot L \cdot \rho \cdot \sin\alpha \cdot \omega_2 \cdot (1 - \varepsilon). \quad (9)$$

Момент резания определится выражением:

$$M_{\text{рез}} = q \cdot L \cdot (1 + f' \operatorname{tg} \tau) \cdot r \cdot \cos \tau. \quad (10)$$

где q – удельное давление сегмента, Н/м; r – радиус касательной к плоскости ножа, м; f' – коэффициент скользящего резания; τ – угол скольжения, град.

Полная сила резания может быть найдена из выражения:

$$P_{\text{рез}} = \frac{M_{\text{рез}}}{r} = q \cdot L \cdot (1 + f' \operatorname{tg} \tau) \cdot \cos \tau. \quad (11)$$

Мощность на резание составит:

$$N_{\text{рез}} = P_{\text{рез}} \cdot r \cdot \omega_2 = \delta \cdot \frac{h}{\sin \tau} \cdot r \cdot (1 + f' \operatorname{tg} \tau) \cdot \delta_p \cdot \omega_2 \cdot (\cos \tau)^3. \quad (12)$$

где δ – толщина остроты лезвия (20-40), мкм; h – высота снимаемого слоя, м; δ_p – нормальное (контактное) разрушающее напряжение, возникающее в перерезаемом слое, Па.

Величину удельной энергоёмкости процесса можно определить из формулы:

$$W_{уд} = \frac{N_{рез}}{Q} = \frac{\kappa \cdot \delta \cdot \frac{h}{\sin \tau} \cdot r \cdot (1 + f' \operatorname{tg} \tau) \cdot \delta_p \cdot (\cos \tau)^3}{0,45 \cdot R^2 \cdot n \cdot L \cdot \rho \cdot \sin \alpha \cdot (1 - \varepsilon)}. \quad (13)$$

где κ – коэффициент, учитывающий потери на холостой ход, 1,1.

В зависимости от выбранных численных значений параметров измельчителя: $R, r = 0,28$ м; n – от 12 до 21 штук; α – от 30^0 до 35^0 ; $\rho = 160$ кг/м³; $\tau = 30^0$; $h = 0,02$ м; $L = 0,07$ м, $\delta_p = 0,03 - 0,08$ Мпа, $\varepsilon = 0,85$, численное значение удельной энергоёмкости изменяется в пределах от 2,0 до 2,5 кВт·ч/т.

В **третьей главе** представлены методика и результаты экспериментальных исследований процесса измельчения стебельных кормов, внешний вид измельчителя для проведения экспериментов (рисунки 3,4), его описание и методы обработки эксперимента.

Приводятся итоги исследований влияния конструктивно–технологических параметров измельчителя стебельных кормов на производительность и удельную энергоёмкость процесса. Проведен ряд многофакторных экспериментов с целью экспериментального обоснования конструктивно–технологических параметров измельчителя стебельных кормов.

Привод измельчающего рабочего органа конусного типа осуществляется от двигателя. Преобразователь частоты тока ELDI – 5.5 в комплекте с токовыми клещами «Актакон АТК – 2200» использовались для снятия энергетических характеристик.

Для определения длины фракционного состава измельченного корма использовалась линейка. Для определения измельченной кормовой массы использовались электронные весы марки «KERN». Угол атаки горизонтальных зубчатых измельчающих элементов измеряли с помощью транспортира.



Рисунок 3 – Внешний вид измельчителя стебельных кормов



Рисунок 4 – Внешний вид измельчающего рабочего органа

В качестве критериев оптимизации были выбраны: удельная энергоемкость ($W_{уд}$); время измельчения материала (T); средневзвешенная длина частиц измельченного корма ($L_{ср}$). Факторами, влияющими на технологический процесс являются: угловая скорость вращения измельчающего рабочего органа (ω), количество зубчатых сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа (Z), количество измельчающих двухплоскостных дугового профиля сегментов (n) и

угол наклона между измельчающим рабочим органом конусного типа и горизонтальными зубчатыми измельчающими сегментами (α). Для осуществления подтверждения оценки влияния факторов на процесс по данным эксперимента были получены уравнения регрессии:

$$W_{уд} = 2,571283 + 0,582433 \omega + 0,061233 Z + 0,798067 n + 0,753 \alpha - 0,0002 \omega Z + 0,0001 \omega \alpha - 0,0001 Z \alpha - 0,0001 n \alpha - 0,0055 \omega^2 - 0,0006 Z^2 - 0,0077667 n^2 - 0,0073 \alpha^2$$

$$T = 18,43992 - 11,41393 \omega + 1,47030 Z - 5,33787 n - 1,92323 \alpha - 0,0001 \omega Z - 0,0008 \omega n + 0,0000475 \omega \alpha - 0,0017 Zn - 0,00007 Z \alpha + 0,0009 n \alpha + 0,1089 \omega^2 - 0,0139 Z^2 + 0,0521667 n^2 + 0,0184667 \alpha^2$$

$$L_{cp} = 5,633467 - 1,953067 \omega - 1,8963 Z - 2,908 n - 0,2482 \alpha - 0,0003 \omega Z - 0,0005 \omega n + 0,00003 \omega \alpha + 0,0002 Zn - 0,00007 Z \alpha + 0,0000068 n \alpha + 0,0191 \omega^2 + 0,018 Z^2 + 0,0283 n^2 + 0,00247 \alpha^2$$

Для проведения эксперимента был выбран план Плакетта-Бермана. Получены координаты оптимума и построены поверхности отклика, а так же решена компромиссная задача между тремя основными критериями оптимизации: удельной энергоемкостью; временем измельчения материала; средневзвешенной длиной частиц измельченного корма.

Анализ сечений поверхностей, представленных на рисунках 5 и 6, показывает, что при оптимальном времени измельчения $T = 10$ секунд, угловая скорость вращения измельчающего рабочего органа изменяется в пределах $\omega =$ от 4,6 до 4,8 с^{-1} , при количестве зубчатых измельчающих сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа $Z = 9$, при угле α , изменяющимся от 33° до 35° , оптимальным количеством измельчающих двухплоскостных дугового профиля сегментов является $n = 7-9$.

Расхождение результатов по производительности и удельной энергоемкости измельчителя (рисунки 7,8), полученных экспериментальным и теоретическим путем, определялась согласно критерию Фишера и не превышает 7%.

Использование измельчителя стебельных кормов в сравнении с ИРР-1М, позволяет снизить удельные энергозатраты на 41,5 %, при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений 2,1 года.

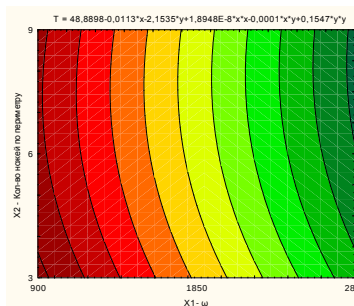


Рисунок 5 – Сечение поверхности времени измельчения материала массой 1 кг в зависимости от количества зубчатых сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа и угловой скорости вращения измельчающего рабочего органа на плоскость $X_3 = +1$ ($n=9$) и $X_4 = -1$ ($\alpha=30^\circ$)

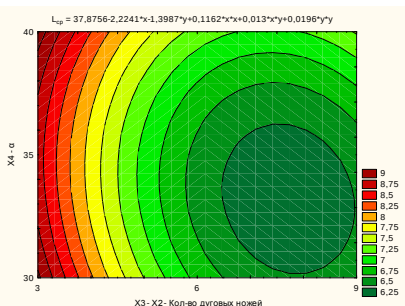


Рисунок 6 – Сечение поверхности средневзвешенной длины частиц измельченного корма в зависимости от угла наклона между измельчающим рабочим органом конусного типа и горизонтальными зубчатыми измельчающими элементами и количества измельчающих двухплоскостных дугового профиля сегментов на плоскость $X_2=-1$ ($Z=3$) и $X_3=+1$ ($n=9$)

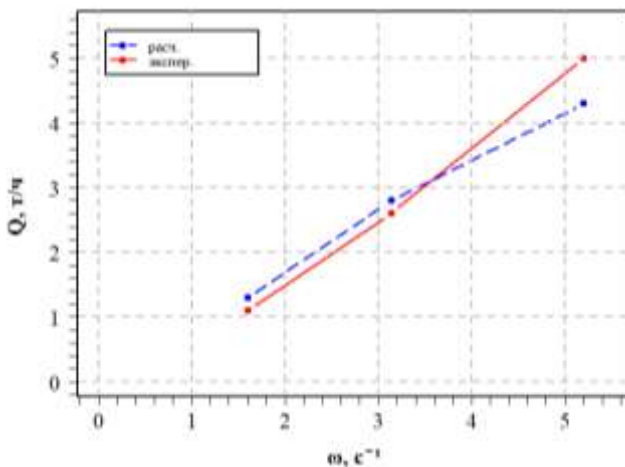


Рисунок 7 – Сходимость теоретических и экспериментальных значений производительности измельчителя от изменения угловой скорости измельчающего рабочего органа

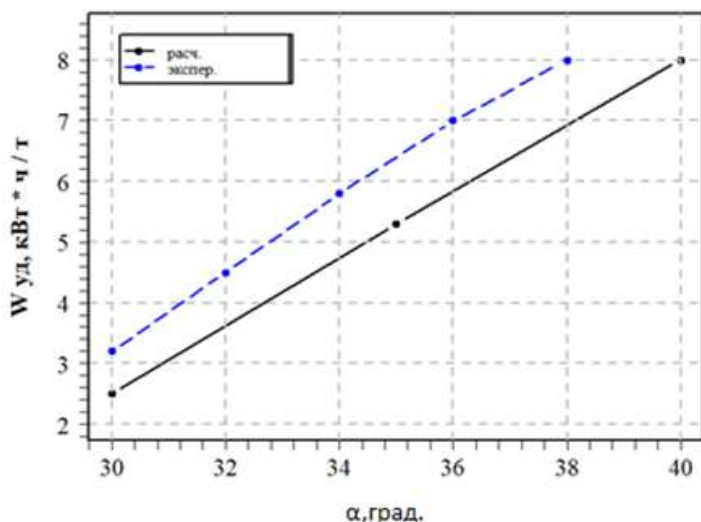


Рисунок 8 – Сходимость теоретических и экспериментальных значений удельной энергоёмкости измельчителя от угла наклона между измельчающим рабочим органом и горизонтальными зубчатыми измельчающими элементами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. На основании проведенного анализа конструкций технических средств для приготовления кормов в прессованном виде, усовершенствована классификация измельчителей кормов, позволившая разработать конструктивно-технологическую схему измельчителя стебельных кормов в прессованном виде. Новизна технических решений подтверждена патентами РФ на изобретение № 2530811, № 2542120, № 2581488 и полезную модель № 163827.

2. В результате проведенного теоретического анализа рабочего процесса измельчителя стебельных кормов в прессованном виде определены аналитические выражения, которые позволили определить конструктивно-технологические пара-

метры измельчителя стебельных кормов, влияющие на энергоемкость: угловая скорость измельчающего рабочего органа (ω); угол наклона между измельчающим рабочим органом и горизонтальными зубчатыми сегментами (α); количество зубчатых сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа (Z) и количество измельчающих двухплоскостных дугевого профиля сегментов (n).

3. Теоретическими исследованиями установлены рациональные конструктивно-технологические параметры комбинированных режущих сегментов: угловая скорость измельчающего рабочего органа от $2,4$ до $3,3 \text{ с}^{-1}$, при производительности равной от 2 до 3 т/ч соответственно; угол наклона между измельчающим рабочим органом и горизонтальными зубчатыми сегментами составляет от 30^0 до 32^0 ; количество зубчатых сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа равным $Z=9$; количество измельчающих двухплоскостных дугевого профиля сегментов равным $n=6$. Удельная энергоемкость технологического процесса составляет от $2,0$ до $2,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$.

4. В результате экспериментальных исследований процесса измельчения стебельных кормов в прессованном виде определено, что основным фактором, влияющим на удельную энергоемкость, является производительность измельчителя стебельных кормов. Рациональными конструктивно-технологическими параметрами при которых удельная энергоемкость составляет от $2,0$ до $3,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ являются: угловая скорость измельчающего рабочего орган, изменяющаяся в пределах от $3,2$ до $4,6 \text{ с}^{-1}$; угол наклона между измельчающим рабочим органом и горизонтальными зубчатыми сегментами составляет от 30^0 до 35^0 ; количество зубчатых сегментов, расположенных по периметру измельчающего рабочего органа равным от 6 до 9 ; количество измельчающих двухплоскостных дугевого профиля сегментов n равным от 7

до 9 при средневзвешенной длине частиц равным 50 мм, что соответствует зоотехническим требованиям по длине резке для КРС. Сходимость теоретических и экспериментальных результатов составляет 93-95 %.

5. Реализация данного измельчителя стебельных кормов в прессованном виде в сравнении с существующим ИРР-1М позволяет снизить удельные энергозатраты на 41,5 % и получить годовой экономический эффект в сумме 25111,35 рублей. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет 2,1 год.

6. На основании проведенных исследований разработана методика расчета измельчителя стебельных кормов в прессованном виде, позволяющая на стадии проектирования измельчителя получить численные значения конструктивно-технологических параметров, таких как: радиус измельчающего рабочего органа R , м; ширина горизонтального зубчатого измельчающего сегмента L , м; угловая скорость измельчающего рабочего органа, c^{-1} ; производительность измельчителя, т/ч.

Рекомендации производству

Предложенная в работе конструктивно-технологическая схема измельчителя, а также параметры его рабочих органов могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке технических средств для механизации животноводства в условиях МФХ.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным направлением совершенствования измельчителя стебельных кормов является перевод его на мобильную основу, с разработкой в нем устройств для самозагрузки материала в бункер измельчителя и регулировки длины фракций измельченного материала.

**Основные положения диссертации опубликованы
– в наукометрической базе данных *Web of Science*:**

1. Tumanova M.I., Frolov V.Yu, Sysoev D.P., Morozova N.Yu. Theoretical aspects of the process grinding stalk feed chopper with a disk working body / V.J Frolov., D.P. Sysoev, M.I. Tumanova, N.Yu. Morozova // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. T.6. № 6. С. 13440-13444.

2. Tumanova M.I., Frolov V.Yu, Sysoev D.P., Sarbatova N.Yu. Experimental Aspects Of Crushing Of The Stalk Forage With A Disk Cone-Shaped Working Organ With Combined Segments / M.I. Tumanova, V.Yu Frolov, D.P. Sysoev, N.Yu. Sarbatova // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – № 9 (3). – P. 958–967.

– в изданиях, рекомендованных *ВАК*:

3. Туманова, М.И. Повышение эффективности технологического процесса приготовления и раздачи грубых кормов, сформированных рулонов / В. Ю. Фролов, М.И. Туманова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №42. – С. 190 – 194.

4. Туманова, М.И. Классификация кормораздатчиков /В. Ю. Фролов, Д. П. Сысоев, М.И. Туманова // Техника и оборудование для села. – 2013. – №7. – С. 18 – 19.

5. Туманова, М.И. К вопросу приготовления и раздачи грубых кормов рулонной заготовки / В. Ю. Фролов, М.И. Туманова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №40. – С. 178 – 180.

6. Туманова, М.И. Раздатчик-измельчитель грубых кормов / В.Ю. Фролов, Д. П. Сысоев, М.И. Туманова // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. – С. 24 – 25.

7. Туманова, М.И. Теоретические аспекты процесса приготовления и раздачи грубых кормов из рулонов /В. Ю. Фролов, М.И. Туманова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аг-

рарного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №101. С. 2133 – 2143. – IDA [article ID]: 1011407141.– Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/141.pdf>

8. Туманова, М.И. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи грубых кормов из рулонов / В. Ю. Фролов, Д. П. Сысоев, М.И. Туманова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №99. С. 234 – 243. – IDA [article ID]: 0991405059. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/59.pdf>

9. Туманова, М.И. Раздатчик-измельчитель кормов рулонной заготовки / В.Ю. Фролов, М.И. Туманова // Сельский механизатор. – 2015. – № 2. – С. 40.

10.Туманова, М.И. Классификация раздатчиков – измельчителей кормов /В. Ю. Фролов, Д. П. Сысоев, М.И. Туманова // Техника и оборудование для села. – 2015. – №7. – С. 18 – 20.

11. Туманова, М.И. Совершенствование технологий и технических средств приготовления и раздачи грубых кормов из рулонов / В.Ю. Фролов, М.И. Туманова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2016. – № 10. – С. 3.

12. Туманова, М.И. К вопросу обоснования конструктивно-режимных характеристик дискового рабочего органа, оснащенного режущими сегментами / М.И. Туманова // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 41. – С. 65 – 70.

13.Туманова, М.И. Обзор техники, применяемой для приготовления кормов при откармливании бычков в малых формах хозяйствования / А.М. Туманов, М.И. Туманова, А.С. Брусенцов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. –№6 (74). –С.117 – 121.

– в прочих изданиях:

14. Туманова, М.И. Совершенствование средств по приготовлению и раздаче кормов рулонной заготовки / М.И. Туманова М.И., М.Д. Гаврилов // Эффективное животноводство. – 2015. – № 10 (119), – С.20-21.

15. Туманова, М.И. Анализ факторов, влияющих на оптимальные конструктивно – режимные параметры раздатчика-измельчителя / В.Ю. Фролов, М.И. Туманова // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Ответственный за выпуск: А.Г. Коцаев. 2016. С. 260 – 261.

16. Туманова, М.И. К вопросу измельчения грубых кормов в прессованном виде / В.Ю. Фролов, М.И. Туманова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – №138. С. 1 – 10. – IDA [article ID]: 1381804002. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2018/04/pdf/02.pdf>.

17. Туманова, М.И. Совершенствование процесса приготовления грубых кормов в прессованном виде / М.И. Туманова // В сборнике: Научные инновации – аграрному производству материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ. 2018. С. 458 – 459.

– патенты:

18. Пат.2530811 Российская Федерация МПК А01К 5/02.Раздатчик – измельчитель рулонных тюков [Текст] / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. №201322009/13; заявл.13.05.2013; опуб.10.10.2014, Бюл.№28. С. 3.

19. Пат.2542120 Российская Федерация МПК А01К 5/02.Раздатчик – измельчитель рулонных тюков [Текст] /

В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. №2013147262/13; заявл.22.10.2013; опуб.20.02.2015, Бюл.№5. С. 3.

20. Пат.2581488 Российская Федерация МПК А01К 5/02.Раздатчик – измельчитель корма, сформированного в рулоны [Текст] / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. №201511794/13; заявл.13.05.2015; опуб.24.03.2016, Бюл.№28. С. 3.

21. Пат. 163827 Российская Федерация МПК А01F 29/00.Режущий сегмент измельчителя кормов [Текст] / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова и другие; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. №2015154361/13; заявл.17.12.2015; опуб.10.08.2016, Бюл.№22.

Подписано к печати _____ 2020 г.
Бумага офсетная
Печ. л. 1

Формат 60×84 ¹/₁₆
Офсетная печать
Заказ № _____

Тираж 100 экз.

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