

На правах рукописи

Брагинец Сергей Валерьевич



**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
КОРМОВОГО АГРЕГАТА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ КОНИЧЕСКИМ
ШНЕКОМ**

Специальность 05.20 01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Зерноград 2007

Работа выполнена в государственном научном учреждении «Всероссийский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства» (ВНИПТИМЭСХ)

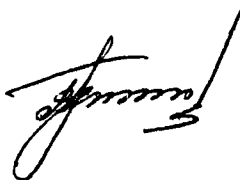
Научный руководитель	доктор технических наук, старший научный сотрудник Тищенко М А.
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Семенихин А М кандидат технических наук, Максименко В А
Ведущее предприятие	Северо-Кавказский научно-исследовательский институт животноводства (СКНИИЖ) (г Краснодар)

Защита состоится *«25» мая* 2007г в *10* часов на заседании диссертационного совета Д 006 005 01 при государственном научном учреждении «Всероссийский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства» (ВНИПТИМЭСХ) по адресу 347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Ленина, 14, в зале заседаний Ученого совета

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИПТИМЭСХ

Автореферат разослан *«24» апреля* 2007г

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
старший научный сотрудник



В Ф Хлыстунов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Продуктивность животных на 60-80% определяется фактором кормления. Поскольку кормление является самой большой статьёй расходов в животноводстве, инвестиции в улучшение организации кормления дают наибольшую прибыль.

Одной из наиболее перспективных является технология кормления КРС, в соответствии с которой все виды кормов раздаются животным одновременно в виде сбалансированной по питательности кормосмеси.

В настоящее время в мире сформировалась устойчивая тенденция на производство многофункциональной кормораздаточной техники, с помощью которой осуществляют кормление животных полноценными кормосмесями в соответствии с детализированными нормами, установленными в зависимости от их продуктивности, массы и возраста. Для этого в Европейских странах выпускается свыше 170 моделей измельчителей – смесителей – раздатчиков (многофункциональных кормовых агрегатов) кормов с вместимостью бункеров от 5 до 30 м³. Многообразие конструктивно-технологических схем зарубежных агрегатов свидетельствует о том, что до настоящего времени мировая наука и практика не отработала ещё их оптимальные варианты. К тому же зарубежные условия функционирования их значительно отличаются от условий отечественных ферм.

В зарубежных литературных источниках представлены, в основном, рекламные данные многофункциональных кормовых агрегатов. Отечественные литературные источники посвящены, главным образом, описанию зарубежных образцов и целесообразности создания аналогов таких машин. Поэтому при разработке типоразмерных рядов модификаций кормовых агрегатов приходится сталкиваться с рядом трудностей в выборе функциональных, конструктивно-технологических схем и параметров технических средств, в создании оптимальных условий их функционирования.

Цель работы - улучшение качественных и энергетических показателей процессов приготовления и выдачи кормосмесей путем совершенствования конструктивно-технологической схемы, обоснования параметров и режимов работы многофункционального кормового агрегата с вертикальным бункером и коническим шнеком.

Объект исследования – технологические процессы измельчения, смешивания и дозированной выдачи кормосмесей измельчителем-смесителем-раздатчиком с вертикальным бункером и коническим шнеком.

Предмет исследования – закономерности процессов измельчения, смешивания и выдачи кормовых материалов измельчителем-смесителем-раздатчиком с вертикальным бункером и коническим шнеком.

Методы исследований – функционально-стоимостный анализ, теория функций, вычислительные эксперименты на ЭВМ, статистическое математическое моделирование, натурный эксперимент.

Реализация результатов исследования Многофункциональный кормовой агрегат прошел приёмочные испытания на Северо-Кавказской МИС в 2002-2003 гг. Испытания проводили на базе молочно-товарной фермы АФП «Нива».

Каневского района Краснодарского края Техническая документация передана ОАО «Калитвасельмаш» г Белая Калитва Ростовской области и ОАО «Слободской машиностроительный завод» Кировской области. Последним налажен серийный выпуск модификаций агрегата, которых за последние три года выпущено более 250 шт

Научная новизна состоит в

- аналитическом обосновании формы и размеров режущих ножей измельчающе-смешивающего конического шнека,
- математической модели процесса смешивания кормов в смесителе с вертикальным бункером и коническим шнеком,
- экспериментально-теоретическом описании процесса полного затухания измельчения кормов и достигаемый при этом средний размер частиц различных кормовых материалов,
- определении энергетических характеристик кормового агрегата с коническим вертикальным рабочим органом на различных режимах и видах кормов,
- обосновании организационно-технологических условий эффективного использования многофункциональных кормовых агрегатов

На защиту выносятся следующие основные положения

- теоретические и экспериментальные зависимости, характеризующие процессы взаимодействия с кормовыми материалами рабочих органов измельчителя-смесителя-раздатчика кормов,
- усовершенствованная конструктивно-технологическая схема измельчителя-смесителя-раздатчика с вертикальным бункером и коническим шнеком,
- модель процесса смешивания кормовых материалов коническим шнеком в вертикальном бункере,
- методика инженерного расчета основных параметров и режимов работы измельчителя-смесителя-раздатчика с вертикальным бункером и коническим шнеком

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные результаты исследований и разработанная методика инженерного расчета были использованы при создании агрегата кормового многофункционального АКМ-9, серийный выпуск которого освоен на ОАО «Слободской машиностроительный завод» Кировской области и могут быть использованы при разработке аналогичных агрегатов

Апробация работы. Основные положения работы доложены и одобрены на научно-технических конференциях ВНИПТИМЭСХ в 2000 – 2005 годах, АЧГАА в 2003-2006 годах, а также на международной конференции в ДонГАУ в 2004 году

Публикация результатов исследования. По результатам исследования опубликованы 9 статей в сборниках научных трудов АЧГАА, ДонГАУ, ВНИПТИМЭСХ, а также в ежемесячном журнале «Техника в сельском хозяйстве» общим объемом 4,4 п л, получен один патент на изобретение

Содержание работы. Диссертация содержит введение, шесть глав, общие выводы, библиографический список из 126 наименований, в том числе 9 на

иностранных языках, и приложения на 12 страницах, которые включают листинг использованных компьютерных программ, расчетные таблицы и акты внедрения. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка, 13 таблиц

Автор выражает особую признательность докт техн наук Хлыстунову В Ф за помощь в разработке модели смешивания и подготовке диссертации

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, сформулированы цель, объект и предмет исследований, научная новизна. Изложены основные положения, выносимые на защиту

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» рассмотрены применяемые ранее и перспективные технологии кормления КРС, представлены их структурные схемы. На основе их анализа, а также анализа известных кормоприготовительных и раздающих устройств был сделан вывод, что на данном этапе развития животноводства наиболее перспективны технологии с применением многофункциональных кормовых агрегатов, совмещающих выполнение операций измельчения, смешивания и выдачи кормовых компонентов

В исследовании процессов измельчения большой вклад внесли ученые В П Горячкин, В А Желиговский, В Р Алешкин, А А Артюшин, В А Зяблов, А А Ивашко, С В Мельников, Н Е Резник, А М Семенихин, А В Надежин, В И Сыроватка, В А Сысуев, В С Сечкин, А В Смоленский, А Д Беспамятнов, П И Прокопцев, А Г Сергиенко и другие. Вопросам смешивания материалов посвящены работы ученых В А Голикова, В И Гусейнова, И А Долгова, В П Коваленко, Б А Комарова, Р К Курбанова, Ю И Макарова, В А Максименко, С С Кошковского, О Б Пашевкина, Е А Раскатовой, Ф Стренка, С К Филатова, А Н Токаревой и др. Г М Кукта, О Какабаев, Л П Кормановский, М А Тищенко, В Ф Хлыстунов, Н И Литвяков, Н П Ледин, Л И Яковенко рассматривали как процессы измельчения, так и смешивания

На основе анализа конструктивных схем и проведенных предварительных исследований был сделан вывод, что одной из наиболее перспективных схем многофункциональных кормовых агрегатов является схема с использованием в качестве рабочего органа вертикального конического шнека, по периферии которого установлены ножи. Однако разработка машин подобного типа не может быть выполнена корректно из-за отсутствия в известной нам специальной литературе ряда зависимостей для обоснования основных параметров и режимов их работы

Поэтому в соответствии с поставленной целью решали следующие задачи исследований

- обосновать функциональную и конструктивно-технологическую схему измельчителя-смесителя-раздатчика кормов,
- выявить закономерности процесса измельчения, смешивания и выдачи кормовых материалов в измельчителе-смесителе-раздатчике предлагаемой конструкции, определить параметры и режимы его работы,
- определить энергетические и качественные показатели работы измельчителя-смесителя-раздатчика,

- провести производственную проверку, приемочные испытания и экономическую оценку эффективности использования многофункционального кормового агрегата

Во второй главе «Теоретические исследования процессов измельчения и смешивания кормов в многофункциональном кормовом агрегате» приведены результаты теоретических исследований процессов измельчения, смешивания и выдачи кормов. На основании требуемой функциональности обоснована конструктивно-технологическая схема агрегата и конструктивные параметры и режимы работы основного рабочего органа – вертикального конического шнека. На основании проведенных исследований, предложена форма применяемого ножа с режущей частью в виде логарифмической спирали с постоянным углом скольжения, описываемая уравнением

$$dr = \frac{rd\theta}{\operatorname{tg}\tau}, \quad (1)$$

где r – расстояние от центра вращения до некоторой точки на образующей лезвия ножа, м, τ – угол скольжения, град, θ – текущий угол, град

Принтегрировав выражение 1 и проведя некоторые преобразования, получили выражение для определения размеров ножа

$$a = 2r_0 \operatorname{tg} \frac{\ln b \operatorname{tg} \tau}{2}, \quad (2)$$

где r_0 – минимальное расстояние от центра вращения до ближайшей точки на образующей лезвия ножа, м, a – длина ножа, м, b – высота ножа, м

Задаваясь значениями $b=0,3$ м и $\tau=77^\circ$, получаем следующие соотношения a и r_0

r_0 , м	0,8	0,7	0,6
a , м	0,946	0,828	0,710

Для унификации изготовления используем нож с параметрами $a=0,8$ м, $b=0,3$ м, $\tau=77^\circ$. С учетом трансформации угла заточки отдельные зубья ножа рекомендуется затачивать под углом $35-40^\circ$ с разносторонней направленностью

Одним из недостатков, выявленных в результате предварительных опытов, при частоте вращения шнека $29-32 \text{ мин}^{-1}$ было явление его самоочистения от кормосмеси в конце выгрузки. Была принята гипотеза, что наклон образующей витка шнека относительно горизонтальной позволит интенсифицировать процесс схода кормовой массы с витков шнека

Расчет вели на примере частицы, расположенной на витке шнека. Граничным условием процесса очистки шнека принят момент начала движения частицы, когда ее скорость $v = 0$ и соблюдается равенство сил, пытающихся сдвинуть частицу и сил, удерживающих ее на поверхности шнека. Для этого рассмотрели действующие на нее силы (сила веса – mg , центробежная сила $F_{\text{ц}} = mR\omega^2$, сила реакции опоры N , сила трения $F_{\text{тр}} = fN$) и условие ее равновесия под их действием в декартовой системе координат. В итоге получили зависимость необходимой реакции опоры N , сила трения $F_{\text{тр}} = fN$ и условие ее равновесия под их действием в декартовой системе координат. В итоге получили зависимость необхо-

димого для схода массы угла наклона образующей шнека Θ (град) от конструктивных особенностей шнека, свойств и места расположения частиц на нем

$$\Theta = \arctg\left(\frac{2\pi Rgf - \omega^2 SR}{2\pi f\omega^2 R^2 + gS}\right), \quad (3)$$

где R – расстояние по радиусу от частицы до оси вращения шнека, м,

ω – угловая скорость вращения шнека, рад/с,

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²,

f – коэффициент трения,

S – шаг навивки шнека, м

Результаты расчета по выражению (3) представлены на рисунке 1

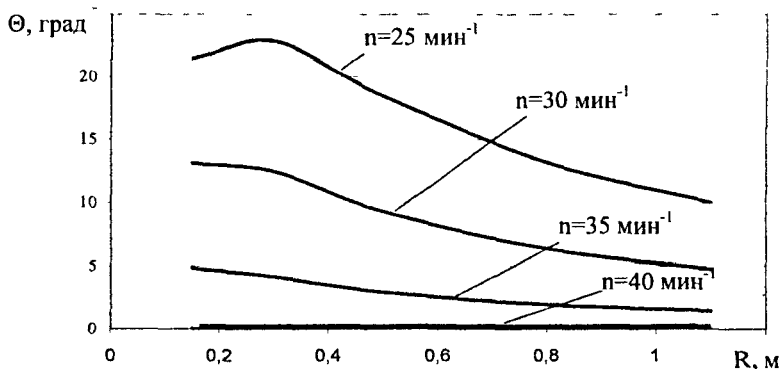


Рисунок 1 - Зависимость необходимого угла расположения витка шнека к горизонту, обеспечивающего его самоочистку, от расстояния до оси шнека при различных частотах его вращения

Из рисунка 1 видно, что самоочистка витков при перпендикулярном размещении их к оси шнека обеспечивается только при частотах вращения не менее 40 мин⁻¹. При принятых значениях частоты вращения шнека до 30 мин⁻¹ угол наклона образующих витков шнека к горизонту должен находиться в пределах 13 – 5 градусов в зависимости от расстояния до оси вращения. Из конструктивных соображений виток шнека можно принять из двух частей: первую часть, примыкающую к валу с наружным радиусом 0,5 м, необходимо выполнить цилиндрической и расположить под углом 13 град к горизонту. Во второй конической части витки должны быть расположены под углом 7 град. При такой конструкции будет обеспечена самоочистка всех витков шнека.

Для обоснования рациональной вместимости бункера был рассмотрен весь технологический процесс, выполняемый агрегатом в зимнее и летнее время. В результате получили следующие выражения для его производительности.

Производительность агрегата при использовании зеленых кормов составляет

$$Q_1 = \frac{3,6}{\frac{1}{V_0 \rho_{cu} \psi_0} \left(\frac{2L_1'}{v_{mp}} + t_{cu} \right) + \frac{1}{m'_{cu}} \left(Q_{3jk} + Q_{3kk} \right) + \frac{I_k n_k}{v_p m'_{cu}}}, \quad (4)$$

При круглогодовом кормлении консервированными кормами

$$Q_k = \frac{3,6}{\frac{1}{V_0 \rho_{cu} \psi_0} \left(\frac{L_1 + L_4 + t_{изм1} + t_{изм2} + t_{cu}}{v_{mp}} \right) + \frac{1}{m'_{cu}} \left(\frac{m'_{kl} + m'_{2k} + m'_{ck} + m'_{kk} + I_k n_k}{Q_{3kn} + Q_{3kk} + Q_{3ck} + Q_{3kk} + v_p} \right)}, \quad (5)$$

где L_1, L_4, L_1' - расстояния, соответственно, от фермы до хранилища корнеклубнеплодов, от хранилища консервированных кормов до хранилища концентратов, до поля при загрузке зелеными кормами, v_{mp} - скорость агрегата при транспортировании кормов, $m_{kl}, m_{2k}, m_{ck}, m_{kk}, m_{jk}$ - суточная норма выдачи на 1 гол соответственно корнеклубнеплодов и тыквы, грубых, консервированных и зеленых кормов, кг, $Q_{3kn}, Q_{3m}, Q_{3ck}, Q_{3kl}, Q_{3jk}$ - производительность устройств при загрузке тех же кормов, I_k - фронт кормления одного животного, м, v_p - средняя скорость агрегата при раздаче кормов, м/с, m_{cu} - суточная норма выдачи кормосмеси на 1 гол, кг, V_0 - вместимость бункера, m^3 , ρ_{cu} - плотность смеси, kg/m^3 , ψ_0 - коэффициент загрузки бункера, $t_{изм1}$ - длительность измельчения корнеплодов или тыквы, мин, $t_{изм2}$ - длительность измельчения грубых кормов, мин, t_{cu} - средняя длительность смешивания, мин

С целью определения наиболее рациональной вместимости бункера по критерию минимальных удельных эксплуатационных затрат $Z_{уд}$ (руб/гол) был проведен компьютерный эксперимент с использованием методов планирования эксперимента, целью которого было определение зависимости

$$Z_{уд} = f(V_0, L, v_{mp}, Q_3, n_{ж}), \quad (6)$$

где L - расстояние, проходимое агрегатом за 1 цикл, км,

$n_{ж}$ - обслуживаемое поголовье, гол,

Q_3 - средняя производительность загрузочных устройств, т/ч

Расчет эксплуатационных затрат вели по методике, утвержденной МСХ РФ в 1998 г

Производительность агрегата определяли по упрощенной формуле

$$Q = \frac{3,6}{\frac{1}{V_0 \gamma \psi_0} \left(\frac{L}{v_{ад}} + t_n \right) + \frac{1}{Q_3} + \frac{I_1}{v_{ад} m'_{oi}}}, \quad (7)$$

где t_c - совокупная длительность выполнения технологических операций измельчения и смешивания

В результате решения уравнения 6 минимальные эксплуатационные затраты в размере 139 руб/гол достигались при $V_0 = 9,8 m^3$, $L = 0,2$ км, $Q_3 = 15$ т/ч, $v_1 = 25$ км/ч, $n_{ж} = 3400$ гол

Фиксируя остальные три фактора на оптимальном уровне, получили двумерные сечения поверхностей отклика взаимодействия наиболее интересующих нас факторов (рисунок 2)

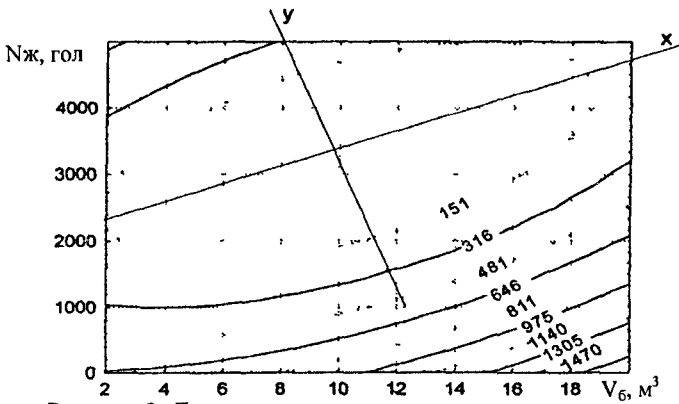


Рисунок 2- Двумерное сечение поверхности отклика зависимости удельных эксплуатационных затрат (руб/ц) от вместимости бункера агрегата и обслуживаемого поголовья

Из которого видно, что на фермах КРС при откорме молодняка наиболее эффективно применение многофункциональных агрегатов с бункером вместимостью близкой к 10 м^3 . Применение агрегатов большей вместимости (15 м^3 и более) ограничивается необходимостью использования энергонасыщенных тракторов, которые имеют завышенную стоимость (цена растет непропорционально мощности трактора). Агрегаты малой вместимости малоэффективны на больших фермах вследствие увеличения расхода средств на ГСМ и зарплату, так как с ростом поголовья значительно увеличивается количество используемых энергосредств и персонала.

В смесителе-раздатчике с вертикальным коническим шнеком была отмечена ярко выраженная циркуляция кормов внутри его рабочей камеры (рисунок 3). Таким образом, модель изучаемого смесителя-раздатчика может быть представлена в виде полного ориентированного графа (рисунок 4).

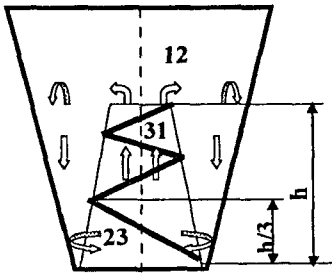


Рисунок 3 - Схема циркуляции потоков корма в смесителе-раздатчике

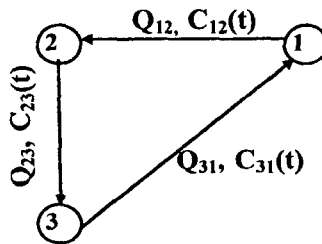


Рисунок 4 - Полный ориентированный граф циркуляции потоков корма в смесителе

Вершины данного графа характеризуют геометрическое место точек, где поток меняет свое направление. Смешивание протекает по мере разноса ингредиентов кормосмеси потоками корма и тем самым выравнивания концентрации ингредиентов кормосмеси в различных его зонах. При этом в смесителе можно выделить следующие характерные зоны (рисунок 3) – зона смешивания 12, зона питания шнека 23 и зона транспортирования шнеком 31. Зона питания конусного шнека, согласно проведенным предварительным поисковым исследованиям, составляет 1/3 от общей длины шнека.

Первая и вторая зона может быть уподоблена зоне идеального смешивания, а третья – зоне идеального вытеснения. Тогда в режиме смешивания работу смесителя можно описать следующей системой дифференциальных уравнений, определяющих изменение концентрации индикатора по зонам:

$$\begin{cases} T_{12} \frac{dC_{12}(t)}{dt} + C_{12}(t) = C_{31}(t) \\ \dot{N}_{31}(t) = C_{23}(t - t_{31}) \\ O_{23} \frac{dC_{23}(t)}{dt} + C_{23}(t) = C_{12}(t) \end{cases}, \quad (8)$$

где T_{12}, T_{23} – постоянные времени зон идеального смешивания 12 и 23, с,

t_{31} – длительность запаздывания (постоянная времени) зоны идеального вытеснения, с

Постоянные времени зоны определяются так

$$\dot{Q}_i = \frac{V_i}{Q_i}, \quad (9)$$

где V_i – объем i -ой зоны, м³,

Q_i – объемная подача кормосмеси через i -ую зону, м³/с

Структурная схема исходной системы уравнений (8) при условии внесения контрольного индикатора в зону 12 будет иметь вид, показанный на рисунке 5.

На основе структурной схемы (рисунок 5) было проведено компьютерное моделирование с использованием прикладной программы «Машинный анализ и синтез систем» (МАСС). Исходные данные (машинная структурная схема и программа на языке МАСС) приведены на рисунке 6.

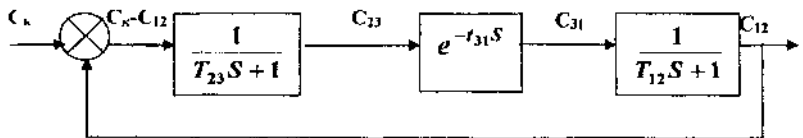
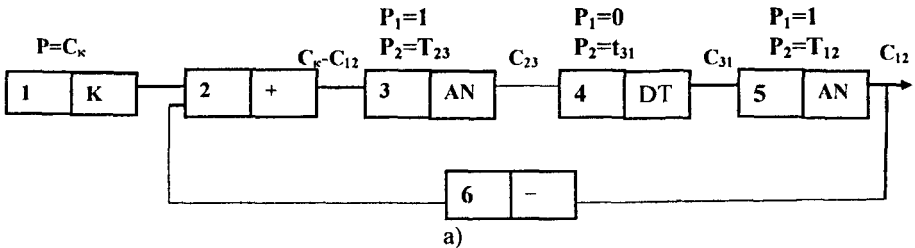


Рисунок 5 - Структурная схема исходной системы уравнений



Структура

Параметры

1, К	1, C _к
2, +, 1, 6	3, 1, T ₂₃
3, AN, 2	4, 0, t ₃₁
4, DT, 3	5, 1, T ₁₂
5, AN	
6, -, 5	

б)

Рисунок 6 - Машинная структурная схема (а) и программа на языке МАСС (б)

Моделирование процесса смешивания проводили применительно к экспериментальному образцу смесителя-раздатчика с вертикальным коническим шнеком вместимостью 8,6 м³ для различных кинематических режимов работы и коэффициентов заполнения бункера. Насыпную плотность (298,7 кг/м³) при расчетах параметров модели (6) принимали по экспериментальным данным для наиболее типичных кормосмесей, используемых на фермах КРС.

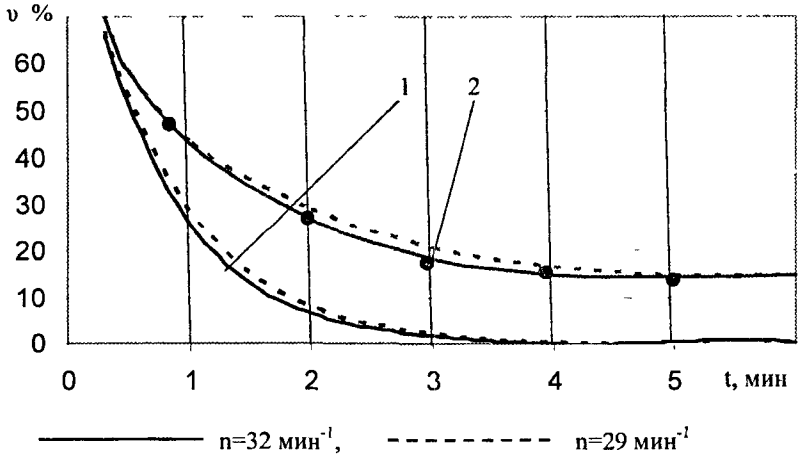
В результате компьютерного моделирования были получены значения концентрации индикатора во всех трех типовых зонах смесителя. Результаты обработки переходных процессов представлены на рисунке 7 в виде кривых кинетики смешивания при различных кинематических режимах работы смесителя-раздатчика в режиме порционного смешивания. Текущее значение неравномерности смешивания определяли по формуле

$$v_c = \frac{100}{\bar{C}} \sqrt{\frac{\sum(C_i - \bar{C})^2}{K_{зон} - 1}}, \quad (10)$$

где C_i – текущая концентрация индикатора в i -зоне, %,

\bar{C} – средняя концентрация индикатора в смесителе, %,

$K_{зон}$ – суммарное количество зон идеального смешивания и идеально-го вытеснения



1 – результаты вычисленные аналитическим путем,
2 – результаты экспериментальных исследований

Рисунок 7 – Зависимость неравномерности смешивания от длительности процесса

Из рисунка 7 видно, что ростом длительности процесса наблюдается снижение показателя неравномерности смешивания по характерной зависимости для участка конвективной составляющей рассматриваемого процесса. Можно считать, что при частотах вращения шнека от 32 до 29 мин⁻¹ расчетная длительность завершения конвективного смешивания соответствует 270-290с.

Сравнивая данные теоретических исследований (кривая 1) с результатами натурального эксперимента (кривая 2), установили, что стабилизация показателя неравномерности смешивания наступает при практически одной и той же длительности смешивания (кривая 1 260-280с, кривая 2 270-280с). Поэтому можно судить о достаточной сходимости данных предложенных теоретических выкладок и результатов натурального эксперимента.

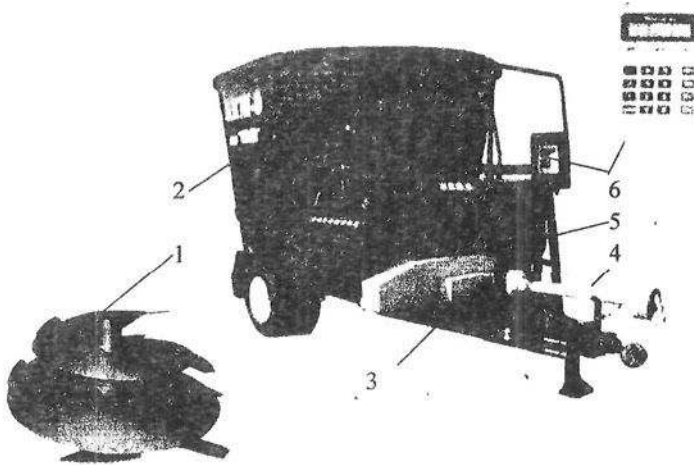
В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» даны общая программа и методика экспериментальных исследований, описаны приборы и экспериментальный образец агрегата, изложены частные методики исследования и техника обработки экспериментальных данных.

Исследование процессов измельчения, смешивания и раздачи кормов проводили совместно с СевКавМИС в рамках приемочных испытаний экспериментального агрегата, состоящего из предварительно торможенного трактора МТЗ-82 и многофункционального кормового агрегата АКМ-9.

Основным рабочим органом агрегата (рисунок 8) является вертикальный конический шнек 1, по периферии витков которого расположены ножи. Шнек консольно закреплен в бункере 2, представляющем собой перевернутый усеченный конус, основание которого выполнено в виде круга, верхняя же часть с целью увеличения вместимости бункера выполнена овальной формы. вспомо-

гательным рабочим органом агрегата является транспортер, позволяющий выдвигать кормовую массу за пределы габаритов агрегата.

Физико-механические свойства кормов и показатели неравномерности смешивания и раздачи определяли по общепринятым методикам. Интенсивность процессов измельчения исследовали путём построения и анализа детерминированных графиков изменения средневзвешенных размеров частиц.



1 – смешивающе-измельчающий шнек; 2 – бункер; 3 – ходовая часть; 4 – привод; 5 – выгрузной транспортер; 6 – пульт тензометрического взвешивающего устройства

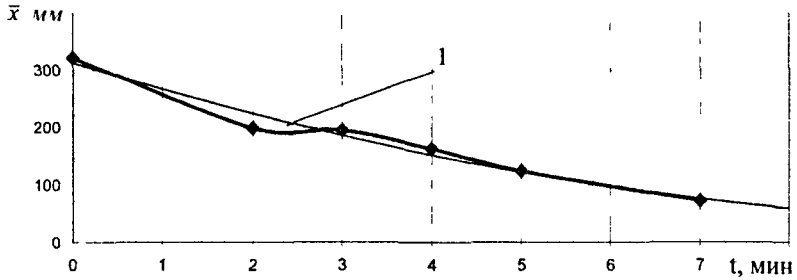
Рисунок 8 – Агрегат кормовой многофункциональный АКМ-9.

Неравномерность раздачи исследовалась при помощи множественного рангового критерия Дункана. В основу экспериментального определения мощности, затрачиваемой на процессы измельчения и смешивания кормов, была положена методика математического планирования многофакторного эксперимента. При этом использовался ортогональный план 2^3 .

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» изложены результаты экспериментальных исследований и проверки соответствия теоретических зависимостей опытным данным.

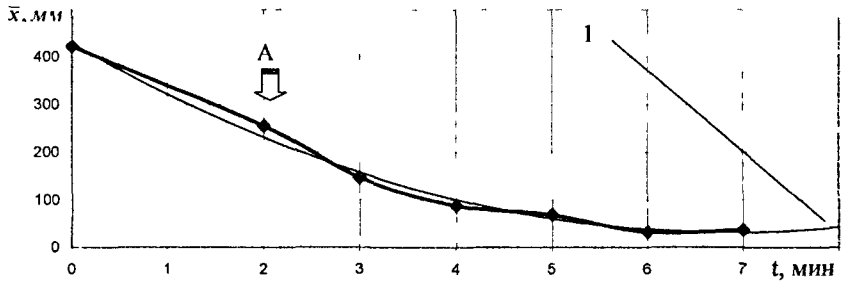
Исследования процессов измельчения были проведены на тькве, тьюкованном сухом люцерновом сене, ячменной соломе и соломе с добавлением силоса или жома с построением соответствующих графиков (рисунки 9-11).

Графики были аппроксимированы функцией $y=ax^2+bx+c$ с достоверностью до 95%.



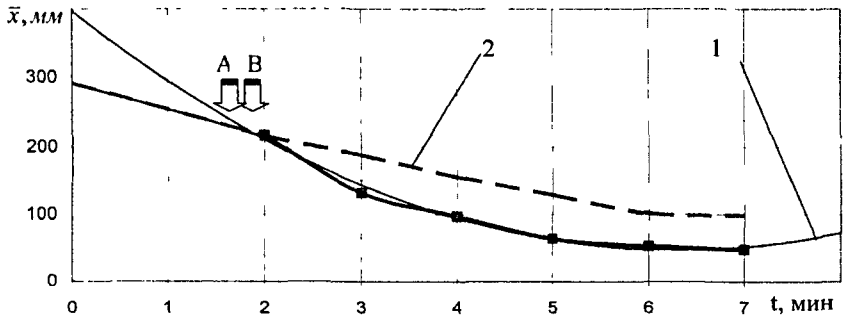
1 – линия тренда

Рисунок 9 – График изменения средневзвешенных размеров частиц тыквы от длительности измельчения



1 – линия тренда, А – точка полного разрушения тюка

Рисунок 10 – График изменения средневзвешенных размеров частиц сена от длительности измельчения



1 – линия тренда, 2 – линия протекания процесса без добавления силоса

А – точка полного разрушения тюка, В – точка добавления силоса

Рисунок 11 – График изменения средневзвешенных размеров частиц соломы от длительности измельчения ее в смеси с силосом

Приравнивая производные функций к нулю, получили предполагаемую длительность окончания процесса и средний размер частиц после измельчения

		Тыква	Сено люцерновое	Солома ячменная	Солома при до- бавлении силоса
Длительность процесса	t, мин	11,4	6,85	10,5	8,3
Средний размер частиц после измельчения	\bar{x} , мм	34,75	32,2	65,4	48,1

Мощность, потребная на привод агрегата, складывается из мощности, затрачиваемой на преодоление тягового сопротивления машины и мощности, непосредственно передаваемой ВОМ на выполнение технологических операций по приготовлению кормосмеси

Тяговое сопротивление прицепного агрегата зависит от его снаряженной массы, скорости движения, вида и состояния дорожного покрытия. Так в результате испытаний при движении по грунтовому покрытию при скорости 8,7 км/ч с загрузкой 2,8 т кормосмеси было зафиксировано максимальное тяговое сопротивление 4,0 кН. Мощность на его преодоление составила 6,68 кВт, что составляет 8,8% от максимальной мощности, выдаваемой двигателем трактора.

Энергетические затраты на процессы приготовления кормосмеси более значительны. Были рассмотрены отдельно процессы измельчения и смешивания. В связи с тем, что в процессе измельчения фракционный состав массы в бункере меняется с течением процесса (рисунки 9-11), то энергия, затрачиваемая на этот процесс также изменяется во времени (рисунок 12).

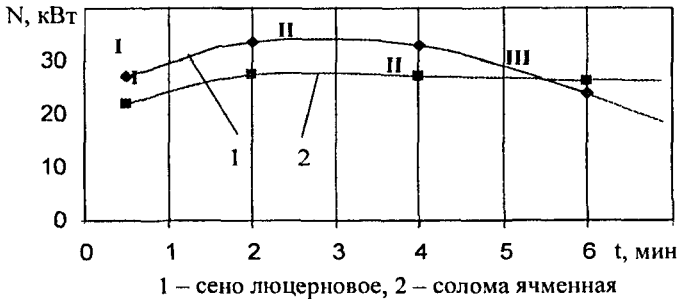


Рисунок 12 – Зависимость потребной на процесс мощности от длительности измельчения

Из графика видно, что в процессе измельчения имеется 3 типовые зоны. Зона I – зона разрушения тюка идет разрушение тюка и масса частиц корма, попадающих в зону резания, увеличивается, вследствие чего увеличивается и сопротивление, а следовательно, и мощность, затрачиваемая на этот процесс. Зона II – зона интенсивного измельчения. В этот период количество частиц, подлежащих измельчению, остается постоянной. Зона III – зона затухания – увеличивается процентное соотношение частиц, которые больше не измельчаются, поэтому наблюдается постепенное снижение мощности, потребной на процесс.

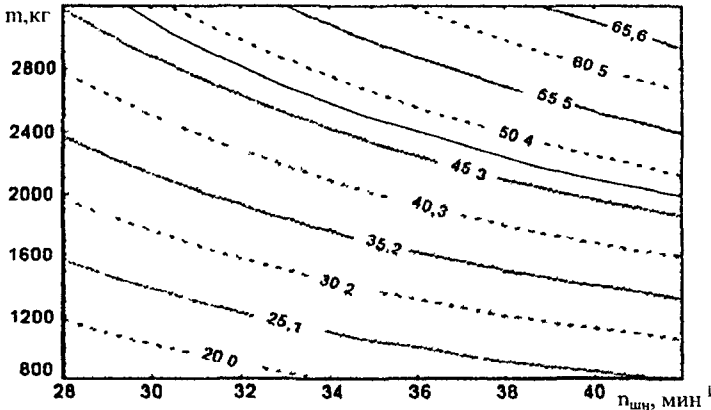
Длительность процесса измельчения по зонам зависит от свойств материала, способа заготовки, его влажности, а также частоты вращения измельчающего аппарата – вертикального конического шнека, оснащенного ножами. Так при внесении в бункер массы в рассыпном (не тюкованном) виде длительность зоны I уменьшается.

Исследование энергетике процесса смешивания проводили на хорошо измельченном силосе, средняя длина частиц которого составляла 11,4 мм. В процессе работы шнека средняя длина частиц такого силоса не менялась. Поэтому можно считать, что энергия в этом случае затрачивалась в основном на смешивание. Было выявлено два фактора, оказывающих определяющее воздействие на мощность, потребляемую на привод агрегата: частота вращения конического шнека и масса загружаемых кормов. Обработка данных эксперимента позволила получить уравнение регрессии со следующими коэффициентами:

$$N = -26,69 + 1,604n_{\text{шн}} + 0,942m + 0,018n_{\text{шн}}^2 + 0,442n_{\text{шн}} m - 0,133m^2, \quad (11)$$

где m – масса загружаемых кормов, кг, $n_{\text{шн}}$ – частота вращения конического шнека, мин^{-1} .

Графически уравнение 9 можно представить в виде двумерного сечения поверхности отклика (рисунок 13).



- область устойчивой работы агрегата на смешивании

Рисунок 13 - Двумерное сечение поверхности отклика зависимости мощности N (кВт), потребляемой агрегатом при смешивании, от массы загружаемых кормов и частоты вращения конического шнека

Поверхность представляет собой сечения гиперболического цилиндра. При этом не имеющая экстремума функция возрастает с одинаковой интенсивностью при увеличении влияющих на нее факторов.

В данных опытах интерес представляет такое сочетание факторов, которое позволяет устойчиво выполнять технологический процесс без перегрузки агрегатом ВОМ. Известно, что ВОМ трактора МТЗ-80 может передавать не более 47,1 кВт. С учетом этого на рисунке 13 можно графически определить область устойчивой работы агрегата.

В пятой главе «Результаты приемочных испытаний и производственной проверки агрегата кормового многофункционального АКМ-9» показаны основные результаты испытаний и производственной проверки, проводимых совместно с Северо-Кавказской МИС в агрофирме – племзаводе «Нива» Каневского района Краснодарского края на молочно-товарной ферме размером 600 коров в период с 29 07 2002 по 07 05 2003 г по рабочей программе – методике, разработанной в соответствии с ОСТ 10 19 1 Надежность выполнения технологического процесса очень высокая, что подтверждается коэффициентом технологической надежности равным 1,0

По результатам испытаний в течение 770 часов СевКавМИС рекомендовала изготовить опытную партию агрегатов

В шестой главе «Экономическая эффективность и методика инженерного расчета измельчителя-смесителя-раздатчика кормов с вертикальным коническим шнеком» показана экономическая эффективность технологий с использованием многофункционального кормового агрегата в сравнении с другими технологиями, нашедшими применение в скотоводстве. Применение многофункционального кормового агрегата на откормочных фермах в зависимости от принятой технологии кормления и размера фермы (250-2000 гол) позволяет получить годовой экономический эффект 99-852 тыс руб

Кроме того в этой главе представлена разработанная на основании теоретических и экспериментальных исследований методика инженерного расчета измельчителя-смесителя-раздатчика с вертикальным бункером и коническим шнеком, в которой отражена специфика его конструктивно-технологической схемы и условий эксплуатации

Общие выводы

1 На данном этапе развития кормопроизводства и животноводства в нашей стране для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей крупному рогатому скоту целесообразно применять прицепные многофункциональные кормовые агрегаты с вертикальным бункером и коническим шнеком без грузочных устройств, имеющие более высокую технологическую надежность и позволяющие разработать широкий типоразмер новых машин с вместимостью бункера от 7 до 40 м³ с высоким уровнем унификации методами секционирования и агрегатирования

2 Аналитическими исследованиями установлено, что образующие лезвий ножей, расположенных по периферии витков конического шнека, должны иметь форму логарифмической спирали с постоянным углом скольжения $\tau=77^\circ$, отдельные зубья ножа следует затачивать под углом 35-40 градусов последовательно разносторонним способом. Образующую витков шнека, вращающегося с частотой 29-32 об/мин, с целью обеспечения самоочистки целесообразно наклонить на 7-13⁰ к горизонту

3 Исследования на разработанных математических моделях функционирования прицепных кормовых агрегатов с помощью компьютерного эксперимента показали, что минимальные эксплуатационные затраты на кормление животных на большинстве отечественных ферм имеют место при использовании агрегатов с вместимостью бункеров 9-14 м³

4 Исследования на математической модели процесса смешивания кормов и результаты экспериментальных исследований позволили установить, что дли-

тельность процесса для достижения требуемого качества смешивания ($\pm 15\%$) при частотах вращения шнека $29-32 \text{ мин}^{-1}$ должна составлять 270-290 с

5 На основе экспериментальных данных получены детерминированные зависимости мощности, потребной на привод агрегата, при измельчении тьюкованных грубых кормов Выявлено, что максимальная мощность 35,1 кВт имеет место при измельчении люцернового сена через 1 минуту после полного разрушения тьюка

7 На основе проведенных энергетических исследований агрегата с использованием методов планирования эксперимента обоснованы оптимальные частоты вращения рабочего органа в зависимости от массы загружаемых кормов Установлено, что при загрузке 2600-2800 кг смеси при коэффициенте заполнения бункера $\psi_{з8} = 0,9$ шнек должен вращаться с частотой $29-32 \text{ мин}^{-1}$

8 На основе результатов экспериментальных исследований процесса выдачи кормосмеси многофункциональным кормовым агрегатом было установлено, что требуемую неравномерность выдачи смеси в 15% можно достичь только при оснащении вертикального конического шнека дополнительной выталкивающей лопастью, установленной с противоположной стороны нижнего витка, шаг витков должен быть не более 500 мм, а высота открытия окна не менее 180 мм

9 Аппроксимация экспериментальных кривых изменения размеров частиц кормовых компонентов от длительности измельчения позволила определить время полного затухания процесса измельчения и достигаемый при этом средний размер частиц различных кормовых компонентов Для тьюквы указанные показатели составили 11,4 мин и 34,75 мм, для сухого люцернового сена – 6,85 мин и 32,2 мм, для ячменной соломы – 10,5 мин и 65,4 мм Интенсифицировать процесс измельчения соломы до уровня сухого люцернового сена можно путем дополнительной последовательной загрузки более тяжелого материала – солоса, жома и др Процесс измельчения корнеплодов и тьюквы протекает более интенсивно без добавления к ним грубых или сочных кормов, то есть они должны загружаться в бункер измельчителя-смесителя первыми

10 По методике инженерного расчета, разработанной с учетом полученных теоретических и экспериментальных зависимостей, были рассчитаны основные конструктивные и кинематические параметры многофункционального кормового агрегата АКМ-9, серийный выпуск которого освоен на ОАО «Слободской машиностроительный завод» Кировской области, за 2004-2006 выпущено более 250 шт

11 Применение многофункционального кормового агрегата сокращает удельные эксплуатационные затраты в 1,1-1,7 раз и затраты труда в 1,5-2,5 раза на откормочных фермах размером 250-2000 скотомест и в зависимости от принятой технологии кормления и размера фермы позволяет получить годовой экономический эффект 99-852 тыс руб, в сравнении с традиционной технологией, предусматривающей поочередное скармливание кормовых компонентов

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1 Брагинец С В Результаты экспериментальных исследований измельчителя – смесителя – раздатчика кормов и подстилки с вертикальным коническим шнеком / М А Тищенко, А Н Токарева, В И Клименко, С В Брагинец // Разра-

ботка технического оснащения производства продукции животноводства Сб науч тр / ВНИПТИМЭСХ – Зерноград, 2003 – с 18-25

2 Брагинец С В Направления совершенствования технологической и конструктивной схем и параметров измельчителя – смесителя – раздатчика с вертикальным бункером и коническим шнеком / С В Брагинец // Ресурсосберегающие технологии и технические средства в животноводстве Сб науч тр / ВНИПТИМЭСХ – Зерноград, 2005 – с 41-45

3 Брагинец С В Технологии и технические средства для приготовления и раздачи кормов на фермах КРС с различными типами кормления животных / М А Тищенко, С.В Брагинец // Актуальные вопросы зооинженерной науки в агропромышленном комплексе Сб науч тр юбилейный выпуск том 1 / ДонГАУ – Персиановка – 2004 – с 47-49

4 Брагинец С В Проблемы внедрения многофункциональных агрегатов для измельчения смешивания и раздачи кормосмесей на существующих фермах КРС / М А Тищенко, С В Брагинец // Ресурсосберегающие технологии и технические средства в животноводстве Сб науч тр / ВНИПТИМЭСХ – Зерноград, 2005 – с 22-29

5 Брагинец С В Экономическая эффективность перспективных технологии и средств механизации подготовки и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота / М А Тищенко, С В Брагинец // Ресурсосберегающие технологии и технические средства в животноводстве Сб науч тр / ВНИПТИМЭСХ – Зерноград, 2005 – с 65-74

6 Брагинец С В Смешивание кормов в порционных аппаратах с вертикальным коническим шнеком / В Ф Хлыстунов, М А Тищенко, С В Брагинец, Б А Карташов, А Н Токарева // Техника в сельском хозяйстве - 2004 - №3 - с 13-15

7 Брагинец С В Сравнительная экономическая эффективность круглогодичных и сезонных, много- и малокомпонентных технологий кормления животных на фермах КРС / М А Тищенко, С В Брагинец // Совершенствование процессов и технических средств в АПК Сб науч тр выпуск 5 / АЧГАА – Зерноград, 2003 – с 126-134

8 Брагинец С В Некоторые результаты испытаний многофункционального кормового агрегата АКМ-9 / М А Тищенко, В И Клименко, С В Брагинец, А Н Бондарев // Совершенствование процессов и технических средств в АПК Сб науч тр выпуск 5 / АЧГАА – Зерноград, 2003 – с 121-126

9 Брагинец С В Совершенствование многофункциональных кормовых агрегатов с вертикальным бункером и коническим шнеком / М А Тищенко, В И Клименко, С В Брагинец, И И.Тищенко // Технология и механизация животноводства Сб науч тр к 75-летию АЧГАА выпуск 3 / АЧГАА – Зерноград, 2005 – с 93-97

10 С1 2283577 RU А 04 F 29/00 Измельчитель-смеситель-раздатчик кормов // Тищенко М А , Тищенко И И , Брагинец С В , Клименко В И (Всероссийский НИПТИ механизации и электрификации сельского хозяйства) №2005101728/12, Заявл 25 01 2005 // Изобретения (Заявки и патенты) – 2006 - №12