

На правах рукописи

СОРОКИН СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
СВЯЗНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ
КОМБИКОРМОВ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ
В ХОЗЯЙСТВАХ**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации
сельского хозяйства

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул 2006

Работа выполнена на кафедре «Механизация животноводства»
ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Федоренко Иван Ярославович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ожигов Владимир Поликарпович;

кандидат технических наук, доцент
Яковлев Василий Тимофеевич

Ведущая организация – ФГОУ ВПО «Омский государственный
аграрный университет»

Защита диссертации состоится «22» декабря 2006 г. в 14⁰⁰ часов на
заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГОУ ВПО
«Алтайский государственный технический университет» им. Ползу-
нова по адресу: 656000, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ.

Отзыв на автореферат (в двух экземплярах), заверенный гербовой
печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке АлтГТУ.

Автореферат разослан «13» ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор



Л.В. Куликова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Национальный проект России в области сельского хозяйства предусматривает интенсивное развитие отрасли животноводства, одной из основ которой являются концентрированные корма. За последнее десятилетие объемы производства комбикормов постоянно снижаются, несмотря на то, что многолетняя практика животноводческой отрасли свидетельствует об эффективности скармливания кормовых средств, составленных по научно-обоснованным рецептам в виде сложных смесей.

В технологии приготовления комбикормов наиболее важное место занимает процесс дозирования, подчиненный особым требованиям по точности соотношения ингредиентов в конечной смеси. Отклонение процентного содержания отдельных компонентов от заданной рецептом величины снижает кормовую и биологическую питательную ценность комбикорма, приводит к нарушению баланса минеральных элементов в организме животного, что неудовлетворительно сказывается на продуктивности, росте и здоровье сельскохозяйственных животных. Прогрессивным направлением в области дозирования за последний период признано использование вибрационных технологий и машин, позволяющих достичь существенных результатов по снижению эксплуатационных затрат и повышению качественных показателей. Поэтому исследования, направленные на совершенствование и разработку дозирующих систем, являются весьма важными и актуальными.

Цель исследований – повышение точности рецептурного составаготавливаемых в хозяйствах комбикормов на основе использования процесса связанного дозирования компонентов смеси.

Объект исследования – технологический процесс многокомпонентного связанного дозирования сыпучих материалов.

Предмет исследований – закономерности и факторы, определяющие процесс формирования непрерывных потоков сыпучего материала в системе дозирования.

Методика исследований. Достижение поставленной цели осуществлялось теоретическими и экспериментальными исследованиями, нацеленными на получение зависимостей, позволяющих установить оптимальные кинематические и технологические параметры процесса многокомпонентного связанного дозирования ингредиентов комбикормов.

Экспериментальные исследования выполнены на специально изготовленных установках, с использованием общих и специальных методик планирования научного эксперимента. Обработка экспериментальных данных, получение результатов осуществлялись методами математической статистики с применением ЭВМ.

Научная новизна. Уточнена математическая модель связанного дозирования, оценивающая качество многокомпонентной смеси. Введен коэффициент связности, учитывающий синхронность изменения подачи одновременно дозируемых ингредиентов смеси.

Получена расчетная модель и теоретические зависимости, определяющие параметры движения рабочих органов многокомпонентного вибрационного дозатора. В частности, выведено выражение для подсчета амплитуды колебаний системы в зависимости от массы дебаланса вибрационного привода. Оптимизированы конструктивно-кинематические параметры многокомпонентного вибрационного дозатора.

Установлена связь между изменением объемной массы кормового материала и его влажностью, что важно для оценки функционирования объемных дозаторов.

Практическая ценность. Научные рекомендации позволяют осуществить приготовление комбикормов на основе связанного принципа дозирования, позволяющего повысить точность соотношения ингредиентов смеси при снижении энерго- и металлоемкости, отнесенной к единице массы дозируемого материала.

На основе теоретических и экспериментальных исследований найдены оптимальные режимы работы многокомпонентного вибрационного дозатора.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований процесса многокомпонентного связанного дозирования использованы в учебных пособиях АГАУ.

Спроектирован, изготовлен и апробирован опытный образец многокомпонентного вибрационного дозатора в ООО ИТЦ «Алтайвибромаш» (г. Барнаул).

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы доложены и одобрены на научно-практических конференциях Алтайского ГАУ в 2001-2005 гг. Комбикормовые агрегаты, разработанные на базе многокомпонентного дозатора, были представлены и награждены дипломами на 7-11-й Международных выставках-ярмарках «Алтайская Нива. Алтайагротех».

Публикации. По основным положениям диссертационной работы опубликовано четыре научных работы, в том числе патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, пять глав, общие выводы, 4 приложения. Работа изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 11 таблиц. Библиографический список включает 133 наименования.

Работа выполнена на кафедре «Механизация животноводства» Алтайского государственного аграрного университета в 2002-2006 гг.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы и ее практическая значимость.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» проведен анализ современных способов дозирования сыпучих материалов, обзор экспериментальных и теоретических исследований процесса, методов оценки качества получаемой смеси.

Вопросу дозирования сыпучих материалов посвящены научные работы таких ученых, как Ю.Д. Видинеев, Г.А. Рогинский, И.Я. Федоренко, Р.Л. Зенков, Г.М. Кукта, Л.М. Яковис, И.Г. Горенко, В.И. Земсков, В.А. Каталымов, В.И. Лобанов, Я.Ф. Мартыненко, В.И. Сыроватка, С.Н. Васильев, Я.Е. Гельфанд и др.

На основании анализа научных работ установлено, что наиболее приемлемыми при производстве комбикормов в малых хозяйствах являются простые в устройстве и надежные в работе блоки объемных дозаторов, объединенных единым рабочим органом и приводом.

При анализе процесса многокомпонентного дозирования была выдвинута научная гипотеза, состоящая в том, что при некоторых конструктивно-кинематических параметрах и особенностях конструкции систем дозирования погрешность соотношения подач может снижаться за счет возникновения особой связи между подачами дозаторов.

В соответствии с целью и состоянием вопроса поставлены следующие задачи исследования:

1. Уточнить математическую модель связного дозирования компонентов сложной смеси.
2. Определить влияние параметров вибрации на процесс изменения эффективной кинематической вязкости сыпучих материалов.

3. Выявить зависимости изменения объемной массы сыпучих кормовых материалов от влажности и влияние этого явления на функционирование дозаторов объемного действия.

4. Обосновать теоретически и экспериментально конструктивно-кинематические и технологические параметры многокомпонентного вибрационного дозатора, при которых наиболее эффективно реализуется способ связанного дозирования.

5. Оценить экономическую эффективность применения технологии многокомпонентного связанного дозирования при производстве сложных кормовых смесей.

Вторая глава «Теоретическое исследование процесса многокомпонентного дозирования сыпучего материала» посвящена описанию технологического процесса связанного дозирования, разработке соответствующего метода оценки качества получаемой смеси, обоснованию конструктивно-кинематических параметров многокомпонентного вибрационного дозатора.

Распространенный путь повышения точности дозирования заключается в совершенствовании дозирующих систем, повышении их технических характеристик и т.д. Этот путь весьма трудоемок и связан со значительными затратами на разработку и создание таких машин и аппаратов. Однако специфика приготовления сложных кормовых смесей заключается в том, что контроль неравномерности подачи каждого ингредиента не столько важен, как поддержание на постоянном уровне соотношения компонентов ε . В этом случае наибольших результатов, с точки зрения качества готового продукта в виде многокомпонентной смеси, можно достичь, используя принципы связанного дозирования, с существенно меньшими затратами.

Смысл связанного дозирования поясняется на рисунке 1 и заключен в следующем. В процессе приготовления многокомпонентной смеси системой дозаторов, соединенных жесткой связью, или с применением автоматического регулирования стороннее возмущающее воздействие воспринимается в приближенно равной степени каждым компонентом, при этом происходит компенсация погрешности истечения одного компонента за счет возникающего отклонения от заданной подачи при истечении второго.

В результате в пределах одного цикла соотношение компонентов в смеси остается на определенном уровне за счет наличия кинематической, технологической и параметрической связей между дозаторами в системе.

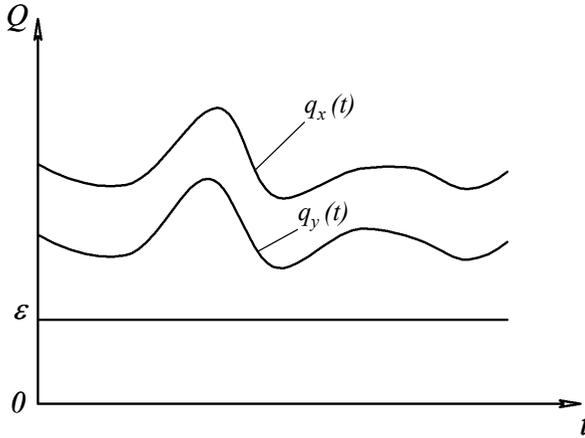


Рис. 1. Поведение функций подач ингредиентов смеси при связанном дозировании:
 q_x – подача компонента X ; q_y – подача компонента Y ;
 $q_x / q_y = \epsilon$ – соотношение подач в системе дозаторов

Исследованиями кафедры механизации животноводства Алтайского ГАУ показано, что в этом случае коэффициент вариации соотношения подач двух одновременно дозируемых компонентов необходимо оценивать, учитывая степень связности дозаторов в системе. В теоретическом описании качества многокомпонентного дозирования четко выделяются три основных случая, определяемых силой корректирующих связей дозаторов в группе:

1. Дозаторы в технологической линии производства сложной смеси работают отдельно, без каких либо связей (детерминированная зависимость полностью отсутствует):

$$V_{\epsilon}^{несв.} = \sqrt{V_{q_x}^2 + V_{q_y}^2} \quad \text{при} \quad (K \approx 0), \quad (1)$$

где V_{q_x} , V_{q_y} – коэффициенты вариации подач компонентов X и Y ;

K – коэффициент, характеризующий степень связности дозаторов в технологической линии.

2. Процесс истечения сыпучего материала одних дозаторов корректируется в зависимости от изменения подачи других, связь между

подачами дозаторов абсолютная (полная детерминированная зависимость):

$$V_{\varepsilon}^{связ.} = \left| V_{q_x} - V_{q_y} \right|, \text{ при } (K \approx 1). \quad (2)$$

3. Промежуточный случай, встречающийся в большинстве систем дозирования. Невозможно в реальных условиях установить полную корректирующую статистическую связь между дозаторами, коэффициент, ее оценивающий, принимает некоторое значение от 0 до 1, близкое к коэффициенту корреляции между подачами компонентов в смеси. Отсюда выражение, определяющее точность соотношения подач дозаторов, включающее корреляционный момент, представлено в виде:

$$V_{\varepsilon} = \sqrt{V_{q_x}^2 + V_{q_y}^2 - 2 V_{q_x} V_{q_y}} \text{ при } (0 < K < 1). \quad (3)$$

Из выражений (1) и (2) следует, что при связном дозировании коэффициент вариации соотношения подач равен разности коэффициентов вариации подач дозаторов в системе. Следовательно, возможно создание особых условий работы дозирующего блока, при которых неравномерность соотношения компонентов в конечной смеси будет стремиться к минимальному значению.

Максимальная эффективность использования принципа связного дозирования, выраженная качеством получаемой смеси может быть достигнута лишь при высоком коэффициенте K связности дозаторов, который необходимо учитывать при проектировании дозирующих блоков.

Представим величину, характеризующую степень взаимного влияния работы одного дозатора на работу другого, в виде отношения коэффициентов вариации соотношения подач дозаторов, имеющих идеальную (полную) связь и работающих отдельно, независимо друг от друга:

$$K = \frac{V_{\varepsilon}^{несв.} - V_{\varepsilon}^{связ.}}{V_{\varepsilon}^{несв.}} = 1 - \frac{V_{\varepsilon}^{связ.}}{V_{\varepsilon}^{несв.}}. \quad (4)$$

Приведем выражения (1) и (2) к следующему виду:

$$\left. \begin{aligned} V_{\varepsilon}^{связ.} &= V_{q_x} - V_{q_y} = \sqrt{(V_{q_x} - V_{q_y})^2} \\ V_{\varepsilon}^{несв.} &= \sqrt{V_{q_x}^2 + V_{q_y}^2} \end{aligned} \right| \quad (5)$$

Подставим в формулу (4) выражения (5), определяющие коэффициенты вариации при связном и несвязном способе дозирования:

$$K = 1 - \frac{\sqrt{(v_{qx} - v_{qy})^2}}{\sqrt{v_{qx}^2 + v_{qy}^2}}. \quad (6)$$

Преобразовывая выражение (6), получим выражение определяющее коэффициент связности дозаторов в окончательном виде:

$$K = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 v_{qx} v_{qy}}{v_{qx}^2 + v_{qy}^2}}. \quad (7)$$

Полученное выражение учитывает действительные значения подач каждого ингредиента в системе или блоке и показывает, какова корреляционная связь между функциями, определяющими, истечение компонентов смеси.

Максимальная эффективность использования принципа связного дозирования, выраженная качеством получаемой смеси, может быть достигнута лишь при высоком коэффициенте связности дозаторов $K \rightarrow 1$, что необходимо учитывать при проектировании дозирующих блоков.

Достижение предполагаемого положительного результата складывается из двух элементов: первое – побуждение сыпучего материала к истечению должно осуществляться единым возмущающим воздействием; второе – отклики на внешние механические воздействия всех одновременно дозируемых компонентов смеси с различными физико-механическими свойствами должны быть равны. Это, в частности, возможно при усреднении физико-механических свойств ингредиентов, участвующих в процессе дозирования, посредством вибрационного псевдооживления сыпучего материала с достижением общего для всех компонентов динамического состояния.

Одним из важных параметров, учитываемых при проектировании вибрационных машин, в том числе и дозаторов, является амплитуда колебаний, генерируемая посредством вибровозбудителей различной конструкции (рис.2). Создана расчетная модель вибрационного дозатора, разработанного Алтайским ГАУ, где схематизировано представлен вибрационный дозатор в виде системы с сосредоточенными параметрами. На схеме упругие элементы дозатора и обрабатываемый сыпучий материал моделируются в виде систем пружин и демпферов, соединенных параллельно, пружины характеризуются жесткостью C_{xi} , C_{yi} и создают восстанавливающую силу, пропорциональную их деформации x , y .

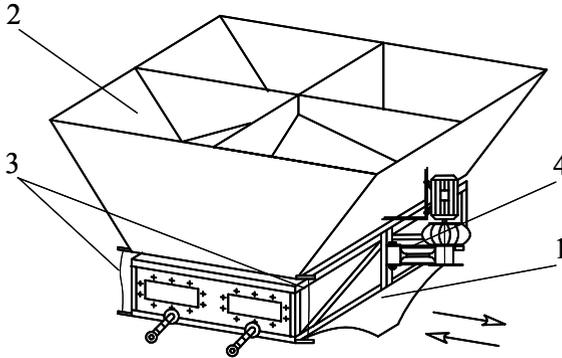


Рис. 2. Схема многокомпонентного вибрационного дозатора:

- 1 – подвижная часть дозатора;
 2 – наддозаторный бункер на четыре компонента;
 3 – упругие тросовые подвесы; 4 – вибровозбудитель

Демпфер вязкого трения моделирует гистерезисные потери в упругой системе, пропорциональные скоростям деформации \dot{x} , \dot{y} и зависящие от коэффициента вязких сопротивлений K_{xi} и K_{yi} .

При этом сила, создаваемая упругими элементами при поступательном движении в горизонтальном и вертикальном направлениях, равна $K_{xi}\dot{x} + C_{yi}x$, $K_{yi}\dot{y} + C_{xi}y$. Суммарная сила при угловых перемещениях, создаваемая упругими элементами, равна $K_{\xi 2}\dot{\xi} + C_{\xi 2}\xi$, $K_{\theta 2}\dot{\theta} + C_{\theta 2}\theta$.

Возбуждение колебательного движения рабочего органа 2 осуществляется дебалансным вибратором посредством шатуна малой массы 3. Колебательная система 2 ограничена четырьмя степенями свободы с возможностью поступательного перемещения по оси x и z и углового смещения ξ , θ вокруг осей y , z .

Составлены дифференциальные уравнения поступательных и угловых перемещений колебательной системы с учетом:

– смещения центра тяжести дозатора от линии приложения возмущающего усилия на расстояния a и b , соответственно, по осям y , z , которое возникает в следствие неравномерной загрузки секций дозатора сыпучим материалом различной объемной массы;

– длины шатуна, радиуса вращения дебаланса, геометрических размеров дозатора.

$$\left. \begin{aligned} (M_1 + m) \cdot \ddot{x} + k_{x1} \cdot \dot{x} + c_{x1} \cdot x + M_2 \cdot \ddot{x} + k_{x2} \cdot \dot{x} + c_{x2} \cdot x &= mr\omega^2 \cos(\omega t + \delta) \\ (M_1 + m) \cdot \ddot{y} + k_{y1} \cdot \dot{y} + c_{y1} \cdot y &= mr\omega^2 \sin(\omega t + \delta) \\ (J_\xi + M_2 a^2) \cdot \ddot{\xi} + k_{\xi 2} \cdot \dot{\xi} + c_{\xi 2} \cdot \xi &= mr\omega^2 \left(a + \frac{hr}{l}\right) \sin(\omega t + \delta) \\ (J_\theta + M_2 \varrho^2) \cdot \ddot{\theta} + k_{\theta 2} \cdot \dot{\theta} + c_{\theta 2} \cdot \theta &= mr\omega^2 \varrho \cos(\omega t + \delta) \end{aligned} \right\} (8)$$

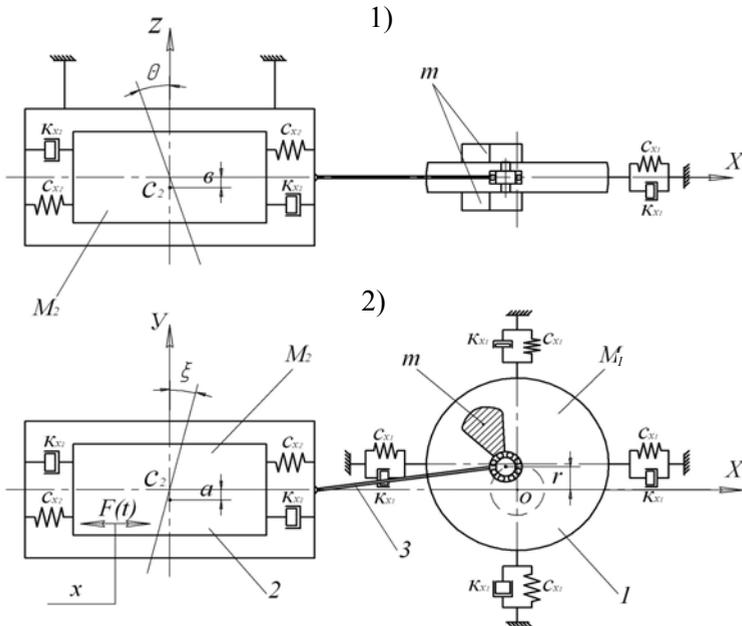


Рис. 3. Схема дозатора с силовым возбуждением вибрации:
1 – вид спереди; 2 – вид сверху

При решении полученных неоднородных линейных дифференциальных уравнений второго порядка приняты допущения: режим работ дозатора установившийся; начальное угловое положение δ дебаланса вибрационного возбудителя не учитывается. Решения уравнений движения колебательной системы «вибрационный возбудитель-дозатор» (рис. 3), представлены в таблице 1.

Решения дифференциальных уравнений движения системы «вибрационный возбудитель-дозатор»

№ уравнения	Вид перемещения	Уравнение движения
1	Поступательное вдоль оси X	$x = \frac{q}{\sqrt{(p_x^2 - \omega^2) + 4n_x^2 \omega^2}} \cos(\omega t - \varepsilon)$
2	Поступательное вдоль оси Y (блок дебаланса)	$y = \frac{q}{\sqrt{(p_y^2 - \omega^2) + 4n_y^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \varepsilon)$
3	Поступательное вдоль оси Z	$z = \sqrt{l^2 - \left(\frac{q}{\sqrt{(p^2 - \omega^2) + 4n^2 \omega^2}} \cos(\omega t - \varepsilon) \right)^2}$
4	Вращательное относительно оси Y	$\theta = \frac{q_{\theta}^* \varepsilon}{\sqrt{(p^2 - \omega^2) + 4n^2 \omega^2}} \cos(\omega t - \varepsilon)$
5	Вращательное относительно оси Z	$\xi = \frac{q_{\xi}^* \left(a + \frac{hr}{l} \right)}{\sqrt{(p^2 - \omega^2) + 4n^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \varepsilon)$

Уравнения (1) и (2) (табл. 1), объединенные в систему и решенные относительно аргумента $(\omega t - \varepsilon)$, определяют закон движения блока дебаланса маятникового вибрационного возбудителя в виде неканонического уравнения эллипса.

Уравнения (1), (3), (4) и (5), представленные в таблице 1, характеризуют поступательное движение дозатора в горизонтальной и вертикальной плоскостях и вращательное относительно двух осей.

Наиболее важными применительно к технологическому процессу являются уравнения (1) и (5), определяющие амплитуду поступательного и вращательного движения в горизонтальной плоскости рабочих органов дозатора с учетом вязкоупругих свойств колебательной системы, а также динамических параметров вибрационного возбудителя.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приведено описание устройства и работы лабораторной установки. В соответствии с разработанной гипотезой выбраны факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс истечения материала в вибрационном дозаторе: ε – геометрический параметр; $\mathcal{D}_{\varepsilon \phi, \kappa}$ –

эффективная кинематическая вязкость дозируемого материала; ε – соотношение подач компонентов; σ – вибрационный аналог числа Рейнольдса; r – коэффициент перегрузки сыпучего материала; W – влажность основного компонента; V – объем материала, подверженно-го вибрационному воздействию; Ω – форма виброднища; f_m – коэффициент трения скольжения рабочих органов дозатора; ΔQ – рабочий диапазон подачи дозатора; $d_{экв}$ – эквивалентный диаметр частиц дозируемого материала.

В качестве критерия оптимизации процесса многокомпонентного дозирования принят коэффициент вариации соотношения подач основного и контрольного компонентов:

$$V_{i/j} = \frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon_{cp}}, \quad (9)$$

где ε_{cp} – отношения подач i -го и j -го компонентов смеси;

σ_{ε} – среднеквадратичное отклонение отношения подач i -го и j -го компонентов смеси.

Подтверждение теоретических предпосылок и обоснование основных параметров процесса многокомпонентного связанного дозирования осуществлено проведенными экспериментальными исследованиями. Отсеивающий эксперимент показал особую значимость параметра эффективной кинематической вязкости $\mathcal{J}_{эф.к}$ на процесс связанного многокомпонентного дозирования, что вызвало необходимость проведения дополнительного исследования этого параметра.

С целью изучения изменения вязкости под воздействием вибрации на кафедре механизации животноводства Алтайского ГАУ был разработан, изготовлен и запатентован опытный образец вискозиметра. Принципиальная схема вискозиметрической установки приведена на рисунке 4. Работа вибровискозиметра осуществляется следующим образом: сыпучий материал, находящийся в контейнере 2, подвергается воздействию вибрации, создаваемой эксцентриком 5 посредством электродвигателя; сферическое тело 3 с проточками перемещается по струнам 4 внутри контейнера, преодолевая сопротивление сыпучей среды, фиксируемое датчиком 7; сфера движется с постоянной скоростью, обеспечиваемой редуктором 8.

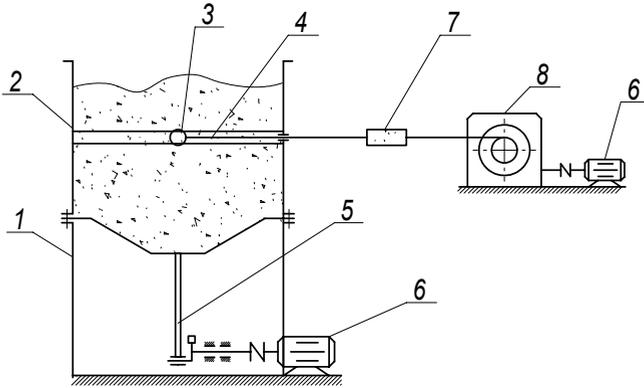


Рис. 4. Схема вискозиметрической установки:
 1 – рама; 2 – контейнер; 3 – сфера; 4 – струна;
 5 – эксцентриковый привод; 6 – электродвигатель;
 7 – датчик; 8 – редуктор

Таблица 3

Факторы и интервалы варьирования эксперимента

Обозначение	Наименование фактора	Значение				Ед. изм.
		-1	-0,5	0,5	+1	
X_1	Высота слоя исследуемого материала, B	120	135	165	180	мм
X_2	Расстояние от дна контейнера до струны по отношению к общей высоте слоя H	$0,3H$	$0,4H$	$0,6H$	$0,7H$	
X_3	Амплитуда колебаний, a	1	2	4	5	мм
X_4	Частота колебаний, ω	100	135	205	240	c^{-1}

В качестве выхода математической модели принята величина эффективной кинематической вязкости:

$$\eta = \frac{F_1 - F_0}{3\pi d V} = \frac{F}{3\pi d V}, \quad (10)$$

где F – сила, действующая на шарик, Н;

F_1 и F_0 – силы, затрачиваемые на перемещение шарика, соответственно, в дисперсном материале и в пустом цилиндрическом сосуде, Н;

d – эквивалентный диаметр шарика, м;

V – скорость движения шарика, м/с.

В ходе эксперимента определили закономерности поведения виброожиженного материала и их статические вязкости, необходимые при проведении основного эксперимента по определению коэффициента вариации соотношения подач.

Экспериментальная установка была разработана на базе многокомпонентного вибрационного дозатора сыпучих материалов малогабаритного комбикормового агрегата ИТАИ-2. Она состоит из двух основных блоков, бункера с дозатором и линейного пробоотборника (рис. 5).

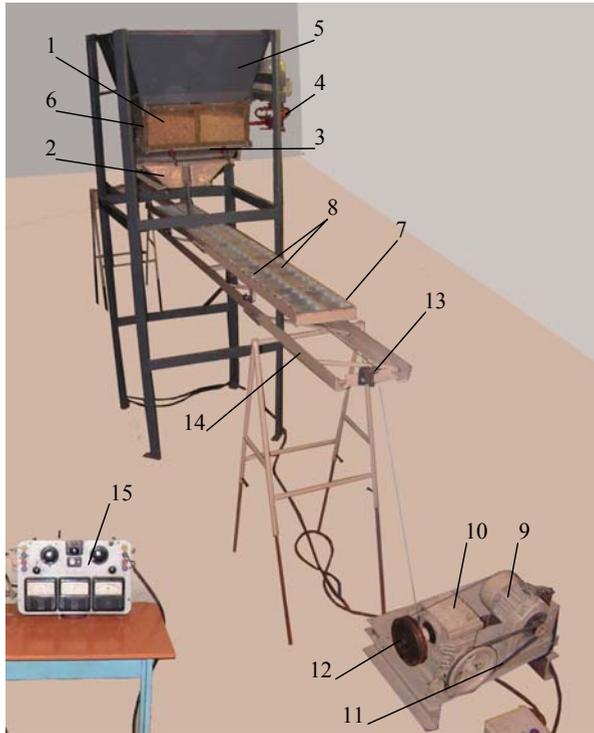


Рис. 5. Схема лабораторной установки многокомпонентного дозатора с пробоотборником:

- 1 – многокомпонентный вибрационный дозатор; 2 – концентратор потока материала; 3 – регулировочные винты; 4 – маятниковый вибровозбудитель;
- 5 – многосекционный бункер; 6 – тросовые подвесы; 7 – пробоотборник;
- 8 – мерные кюветы; 9 – электродвигатель; 10 – червячный редуктор;
- 11 – клиноременная передача; 12 – ведущий барабан; 13 – блок;
- 14 – рама пробоотборника; 15 – прибор измерения мощности

Для проведения эксперимента были приняты следующие факторы с уровнями варьирования (табл. 2).

Таблица 2

Факторы и интервалы варьирования основного эксперимента

Обозначение	Наименование фактора	Значение		
		-1	0	+1
X ₁	Геометрический параметр, $B = \frac{h}{D}$	0,833	1,667	2,500
X ₂	Вибрационный аналог числа Рейнольдса, $\sigma = \frac{a \cdot \omega \cdot h}{\nu}$	0,0005	0,0007	0,0009
X ₃	Коэффициент перегрузки сыпучего материала, $r = \frac{a \cdot \omega^2}{g}$	1,123	2,287	3,451
X ₄	Соотношение подач компонентов, ε	1/1	1/2,5	1/5

где a – амплитуда колебаний рабочего органа;

ω – угловая частота колебаний;

h – высота слоя обрабатываемого материала;

ν – статическая вязкость сыпучего материала.

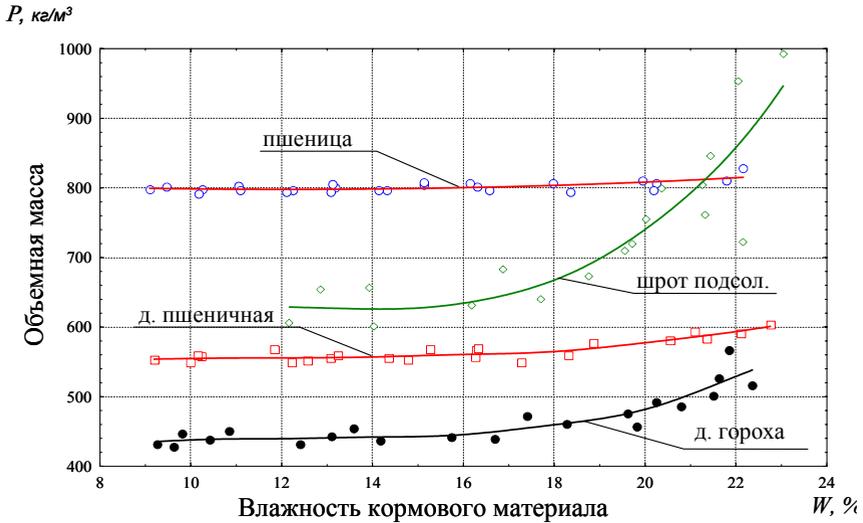
g – ускорение силы тяжести.

h, D – параметры, определяющие геометрию форму объема виброоживленного сыпучего материала.

Коэффициент вариации содержания компонента в смеси находится в неразрывной связи с величиной массы пробы и продолжительностью ее отбора. Согласно рекомендациям, для анализа качества процесса дозирования в отсеивающем и основном экспериментах приняли выборку, равную 30 пробам.

В четвертой главе «Анализ экспериментальных данных» представлены результаты статистической обработки полученных экспериментальных данных с использованием прикладных компьютерных программ *Statistica 6.0, Microsoft Excel*. Дана качественная и количественная оценка факторов, влияющих на процесс формирования нескольких непрерывных потоков сыпучего материала, выраженная коэффициентом вариации соотношения подач.

Влажность ингредиентов комбикормов в силу ряда причин при хранении и транспортировке колеблется в пределах 10-17%. Такие изменения влажности по проведенным опытам, приводят к изменению объема материала не более чем на 1,0 %, что позволяет осуществлять приготовление комбикормов в неотапливаемых помещениях, используя дозаторы объемного типа.



$$\begin{aligned}
 P_{\text{Пш}} &= 824,1 - 4,3 \cdot W + 0,17 \cdot W^2 \text{ (Пшеница цельная)} \\
 P_{\text{Д.пш.}} &= 610,4 - 9,3 \cdot W + 0,38 \cdot W^2 \text{ (Дерть пшеничная)} \\
 P_{\text{Д.гор.}} &= 581,9 - 23,8 \cdot W + 0,96 \cdot W^2 \text{ (Дерть гороха)} \\
 P_{\text{Шр.}} &= 1569 - 129,9 \cdot W + 4,43 \cdot W^2 \text{ (Шрот подсолнечный)}
 \end{aligned}
 \quad (11)$$

Проведенный эксперимент по определению эффективной кинематической вязкости позволил получить уравнение регрессии для факторов в натуральном масштабе для следующих материалов:

пшеница цельная:

$$\begin{aligned}
 \eta &= 10,178 + 0,22H - 3,363h - 11,046a - 0,208\omega - 0,146Hh - 0,01Ha + 6,179h^2 ; \\
 &+ 4,204ha + 1,254a^2 + 0,058a\omega + 4,7 \cdot 10^{-3}\omega^2 - 3,8 \cdot 10^{-3}a^2\omega - 7,8 \cdot 10^{-5}\omega^2a
 \end{aligned}
 \quad (12)$$

дерть пшеничная:

$$\begin{aligned}
 \eta &= 33,287 + 1,253H - 140,201h - 33,772a - 0,764\omega - 0,003H^2 - 0,269Hh \\
 &- 0,026Ha + 22,779ha + 0,722h\omega + 3,303a^2 + 0,134a\omega + 0,001\omega^2 - \\
 &- 0,315h^2\omega - 6,9 \cdot 10^{-3}a^2\omega - 2,1 \cdot 10^{-4}\omega^2a
 \end{aligned}
 \quad (13)$$

Наибольшее влияние на изменения эффективной кинематической вязкости сыпучего материала в различных слоях оказывает амплитуда колебаний рабочего органа a по отношению к частоте ω , на что указывают коэффициенты при этих параметрах. С уменьшением высоты слоя сыпучего материала вязкость уменьшается, при вертикальных колебаниях оптимальные значения амплитуды находятся в пределах от 3,5 до 4,5 мм.

Результаты эксперимента показаны на рисунке 7.

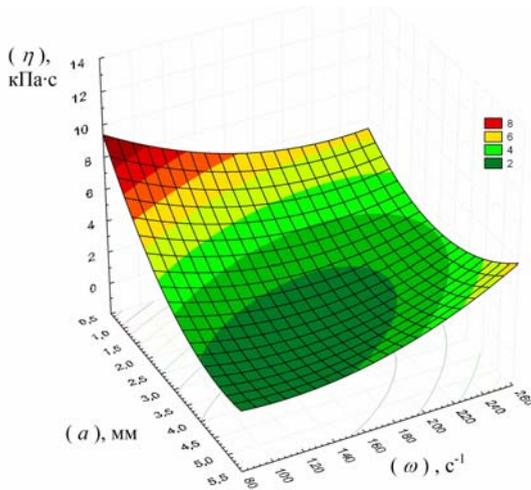


Рис. 7. Зависимость эффективной кинематической вязкости η пшеницы от амплитуды колебаний a и частоты ω

Обработка данных эксперимента показала снижение коэффициента кинематической вязкости η при возрастающем значении амплитуды колебаний рабочего органа a , частоты колебаний ω , а также при приближении исследуемого пласта к поверхности материала. Объясняется подобное поведение разрыхлением структуры материала, снижением межслоевого трения, возникающего при интенсивных вибрациях.

Проведенный эксперимент по изучению процесса связного дозирования позволил получить математическую модель в виде уравнения регрессии.

Раскодирование переменных уравнения регрессии основного эксперимента приводит его к виду:

$$\begin{aligned}
 v_{\varepsilon} = & 1279,3 - 20,4B + 2404,7\sigma - 2212,2r + 552,5\varepsilon + 108,3B^2 + 26401,6B\sigma - \\
 & - 70,3B^2r - 394,8B\varepsilon + 94,3\sigma^2 - 27961,3r \cdot \sigma + 1185,7r^2 + 1113,7r\varepsilon - 227,2r\varepsilon + \\
 & + 109,4\varepsilon^2 - 18,5B^3 - 12948,5B^2\sigma - 2,4B^2r + 0,5B^2\varepsilon + 190,1B\sigma^2 + 4609,8B\sigma r + \\
 & + 10930B\sigma\varepsilon + 3B\sigma^2 + 153,2Br\varepsilon + 30,7B\varepsilon^2 + 0,6\sigma^3 + 169,8\sigma^2r + 38,7\sigma^2\varepsilon + \\
 & + 6436,7\sigma r^2 - 10675,2\sigma r\varepsilon + 4213,8\sigma\varepsilon^2 - 163,5r^3 - 2,7r^2\varepsilon - 7,3r\varepsilon^2 - 93,9\varepsilon^3
 \end{aligned} \quad (14)$$

В результате поиска оптимального решения уравнения (14) на ЭВМ при минимизации целевой функции получили значение $v_{\varepsilon} = 3,13\%$.

В этом случае варьируемые факторы принимают следующие значения: масштабный фактор, выраженный высотой побудительных лопаток $D = 48$ мм и коэффициентом перегрузки $r = 2,5$ при $a = 1$ мм, что соответствует массе дебаланса, равной $0,625$ кг, при частоте вращения $\omega = 156,6$ с⁻¹.

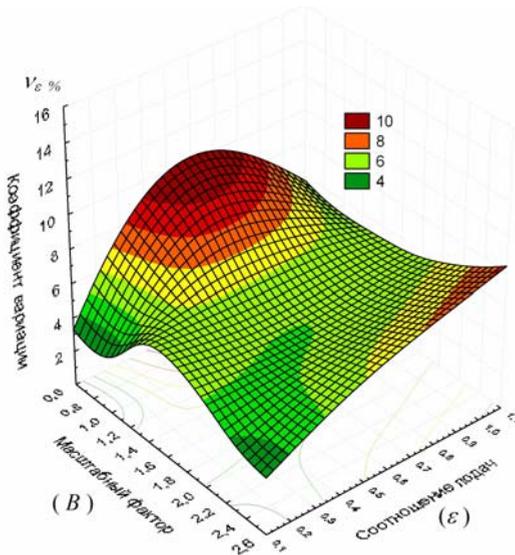


Рис. 8. Зависимость коэффициента вариации соотношения подач v_{ε} от масштабного фактора B и соотношения подач ε

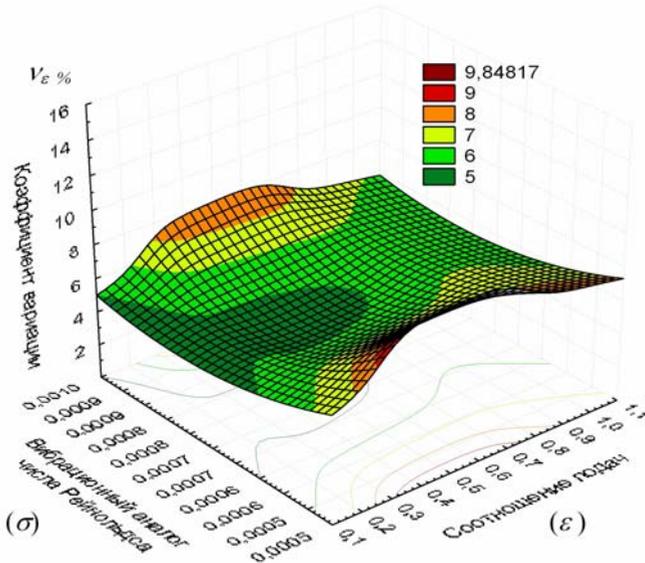


Рис. 9. Зависимость коэффициента вариации соотношения подач v_ε от вибрационного аналога числа Рейнольдса σ и соотношения подач ε

Для дозатора рассматриваемой конструкции при общей подаче двух секций выше 230 кг/ч коэффициент вариации принимает значение ниже 3%, что в полной мере удовлетворяет требованиям ГОСТа.

В пятой главе «Экономическая эффективность использования результатов исследования» произведен расчет экономической эффективности применения в сельском хозяйстве данной научно-исследовательской работы. За базовую модель в расчете приняли систему дозирования малогабаритного комбикормового агрегата КА-4 опытного проектно-конструкторско-технологического бюро СибНИПТИЖ (г. Новосибирск). Расчетный годовой экономический эффект разработанной системы дозирования малогабаритного вибрационно-ударного комбикормового агрегата, получаемый снижением эксплуатационных затрат и повышением производительности животных за счет более точной дозировки основных питательных веществ, по сравнению с экономическими показателями агрегата КА-4 составил 73100 руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих комбикормовых агрегатов выявил дефицит эффективных систем дозирования, обладающих высокими качественными показателями по поддержанию требуемого соотношения компонентов в смеси. Коренное совершенствование процесса дозирования может быть осуществлено на основе связанного способа дозирования, сущность которого заключается в том, что неравномерность подачи не регламентируется, устанавливается ограничение лишь на колебания соотношения компонентов.

2. Атмосферное изменение влажности окружающего воздуха от 40 до 90% приводит к изменению влажности большинства ингредиентов комбикормов в пределах от 10 до 17%. Нами установлено, что такие колебания влажности приводят к изменению объема дозируемого материала не более чем на 1,0%. Это дает право утверждать, что дозирование компонентов комбикорма в неотопливаемых помещениях с использованием дозаторов объемного типа позволяет получить комбикорм требуемого рецептурного состава при условии использования связанного дозирования.

3. Анализ экспериментов по определению эффективной кинематической вязкости показал, что все крупнодисперсные сыпучие материалы с эквивалентным диаметром от 3,8 до 6,7 мм реагируют на воздействие вибрации с большой степенью подобию. Так, при фиксированных параметрах высоты слоя наименьшее значение кинематической вязкости наблюдалось при амплитуде $a = 2,5-4,5$ мм и круговой частоте колебаний рабочего органа $\omega = 100-200$ с⁻¹. Применительно к измельченному зерновым материалам со средними размерами от 0,5 до 0,9 мм минимальная вязкость наблюдалась при $a = 3-5$ мм и частоте $\omega = 100-240$ с⁻¹. При этом амплитуда колебаний рабочего органа оказывала наибольшее влияние на изменение вязкости материала, чем частота вибровоздействия.

4. Способ связанного дозирования максимально эффективно реализуется при следующих условиях: одновременном истечении всех ингредиентов; побуждении к истечению единым возмущающим воздействием во всех секциях дозатора, т.е. общим рабочим органом; наличии жесткой кинематической связи в приводах; усреднении физико-механических свойств дозируемых материалов (например, с помощью вибрации).

5. Определены рациональные значения исследуемых параметров многокомпонентного вибрационного дозатора, при которых наиболее полно раскрываются преимущества связного дозирования, позволяющие снизить величину коэффициента вариации соотношения подач до 3%. В этом случае варьируемые факторы принимают следующие значения: масштабный фактор, выраженный высотой побудительных лопаток $D = 48$ мм и коэффициентом перегрузки $r = 2,5$ при $a = 1$ мм, что соответствует массе дебаланса, равной 0,625 кг, при угловой скорости $\omega = 156,6$ с⁻¹. Разработанная математическая модель пространственного движения вибрационного дозатора позволяет получать заданные амплитудно-частотные характеристики колебаний в необходимых направлениях, снизить амплитуды «вредных», паразитных вибраций.

6. Расчетный годовой экономический эффект разработанной системы дозирования малогабаритного вибрационно-ударного комбикормового агрегата, получаемый снижением эксплуатационных затрат и повышением продуктивности животных за счет более точной дозировки основных питательных веществ, по сравнению с экономическими показателями агрегата КА-4, составил 73100 руб.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Федоренко И.Я. Опытнo-кoнстpуктopские работы Алтайского ГАУ в области механизации животноводства / И.Я. Федоренко, М.Г. Желтунов, С.Н. Васильев, С.А. Сорокин // Продукция предприятий Алтайского края для АПК России. Барнаул, 2003. № 1 С. 52-57.

2. Сорокин С.А. Исследование вынужденных колебаний подвижной части вибрационного дозатора / С.А. Сорокин, И.Я. Федоренко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Барнаул, 2006. № 3 С. 34-43.

3. Сорокин С.А. Изменение эффективной вязкости дисперсных сыпучих материалов под воздействием вибрации дозатора / С.А. Сорокин, А.А. Гнездилов, К.А. Пехтерев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Барнаул, 2006. № 4 С. 24-29.

4. Патент 2267770 С1 РФ G01N 11/10. Устройство для определения вязкости дисперсных материалов / Федоренко И.Я., Гнездилов А.А., Сорокин С.А., Пехтерев К.А., Пирожков Д.Н., Лобанов В.И. № 2004113678/28; заявл.05.05.2004; опубл. 10.01.06, Бюл. № 01.

ЛР № 020648 от 16 декабря 1997 г.

Подписано в печать 04.10.2006 г. Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов. Печать ризографная. Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № .

Издательство АГАУ
656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98
62-84-26