

ОТЗЫВ

официального оппонента докт. техн. наук, профессора Сабиева Уахита Калижановича на диссертационную работу Левина Алексея Михайловича «Развитие механико-технологических и практических основ процесса вибрационного измельчения кормового зерна», представленную в диссертационный совет 24.1.211.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Актуальность диссертационной работы

Рентабельность отрасли животноводства во многом зависит от состояния кормовой базы, совершенствования технических средств механизации, в том числе и процессов измельчения. Известно, что наиболее распространенными машинами для измельчения зернового материала являются молотковые дробилки, которые имеют ряд существенных недостатков. Им присущи большой расход электроэнергии на измельчение, вызванную трением зерна о решето, большим числом неэффективных ударных нагрузок по зерну, большая доля пылевидных фракций, неоднородность измельченного продукта.

Повышение качества измельчения фуражного зерна, получение измельченного продукта более выровненного гранулометрического состава и снижение расхода энергии на технологический процесс являются проблемами современного кормопроизводства и имеют важное народнохозяйственное значение. Решение этих проблем невозможно без создания энерго- и ресурсосберегающих технологий в кормоприготовлении. В такой постановке актуальность темы диссертационной работы Левина А. М. не вызывает сомнений.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с:

«Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017 -2025 годы» (утверждена постановлением Правительства РФ 25 августа 2017 г. № 996);

«Стратегией развития машиностроения для пищевой и перерабатывающей

промышленности Российской Федерации на период до 2030 годы» (утверждена постановлением Правительства РФ 30 августа 2019 года № 1931-р), а также в соответствии с тематическим планом НИР СФНЦА РАН.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автором выполнен морфологический анализ вибрационных измельчителей, позволивший провести структурный синтез измельчителей кормового зерна. Получены закономерности взаимодействия зерновки с рабочими поверхностями вибрационных рабочих органов измельчителя. Предложена реологическая модель зерновки, отражающая основные явления при ее виброразрушении. Проведен динамический анализ измельчителей с учетом вязкоупругих свойств технологической нагрузки. Получены регрессионные математические модели, на основе экспериментов, позволившие найти рациональные параметры и режимы работы вибрационного измельчителя зерна.

При исследовании использованы методы теоретической механики, физического, математического и компьютерного моделирования, дифференциального и интегрального исчисления, теория размерности и подобия, методы статистического и регрессионного анализа, которые обеспечили обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Полученные результаты теоретических исследований подтверждены проверками в хозяйственных условиях и при производственных внедрениях.

Оценка новизны и достоверности полученных результатов

Итоги диссертационной работы обобщены в заключении, на страницах 207-210, где автором сформулировано восемь выводов как результат решения каждой поставленной задачи.

Вывод первый имеет констатирующий характер. Автор указывает на актуальность и перспективность способа разрушения слоя зерна сжатием с приложением вибрационной нагрузки.

Вывод второй выполнен на основании составленных автором морфологических таблиц и матриц. На основе такого подхода представлен анализ известных

измельчителей и предложены новые измельчающие устройства, техническая новизна которых защищена патентами РФ №№ 2262984, 2688424, 2759864, 2787723, обеспечивающие повышение дробящего усилия и производительности измельчителей при минимизации энергоемкости процесса.

Вывод третий является новым и достоверным. Раскрыт механизм измельчения кормовых зерен при вибрационной нагрузке в виде малоциклового усталости материала. Отмечено, что в «инкубационный» период идет скрытое трещинообразование в зерновке, которое определяет до 95% общих затрат на измельчение фуражного зерна. Все это объяснено при помощи предложенной реологической модели зерновки. Показано, что зерновки в рабочих полостях вибрационных измельчителей испытывают статическое нагружение и, это способствует снижению энергоемкости процесса измельчения кормового зерна.

Вывод четвертый обоснован, содержит элементы научной новизны, практически значим и достоверен. Установлено, что рабочие органы вибрационного измельчителя должны быть выполнены с плоскими поверхностями, а зазор между ними - уменьшаться по мере продвижения дробимого материала вниз. Эта схема обеспечивает простое конструктивное исполнение вибрационных рабочих органов, дробление зерновки за несколько десятков вибрационных воздействий и, как следствие, обеспечивают высокую производительность машины. Результаты исследований учтены в предложенных конструкциях измельчителей кормового зерна.

Вывод пятый является новым и достоверным, имеет практическое значение.

В результате сравнения трех динамических схем измельчителей кормового зерна по введенным критериям был отобран вариант измельчителя с динамической схемой, построенной по варианту, предусматривающему двойной самосинхронизированный вибропривод и режим антирезонанса рабочих органов. Компьютерные и натурные эксперименты показывают работоспособность данной динамической схемы измельчителя, выполненного по схеме двойного маятника, с получением достаточных размахов колебаний

рабочих органов и самосинхронизацией вибровозбудителей. Отмечено, что в выбранной схеме вибрационного измельчителя снижены затраты на холостой ход, повышена надежность устройства и устранен быстрый выход из строя вибровозбудителей и других узлов, как главный недостаток вибрационных технологических машин.

Вывод шестой имеет практическое применение. Представлены результаты экспериментальных исследований. Установлено, что структура измельченного продукта существенно отличается от соответствующих продуктов, полученных в молотковой дробилке. Отмечено, что при влажности зерновок пшеницы 14,0-14,5 % большая часть (до 75-85 % по массе) получаемых частиц имеет форму пластинок, характерных для процесса плющения. Остальная часть продукта содержит бесформенные частицы, характерные для работы молотковой дробилки. Экспериментом доказано, что гранулометрический состав дерти, получаемой в вибрационном измельчителе, подчиняется нормальному закону распределения размеров частиц. На это указывает уменьшение до 7 – 10% содержания зерновой пыли. В молотковых же дробилках, где имеет место асимметричное логарифмически-нормальное распределение размера частиц, содержание зерновой пыли достигает до 30%. Автором предложен критерий соответствия данного измельчителя и его режима настройки зоотехническим требованиям (для определенного вида животных), показывающий долю продукта по массе, соответствующего требованиям, от общего его количества.

Вывод седьмой новый, достоверный и имеет практическое применение.

По результатам отсеивающих экспериментов отобраны существенные факторы, представленные в виде критериев подобия:

$$\pi_1 = \frac{Q}{\rho d l A \omega}, \quad \pi_2 = \frac{l \omega^2}{\sigma l A^2}, \quad \pi_3 = \frac{b}{d}$$

для процесса вибрационного измельчения кормового зерна.

Получены уравнения регрессии для основных показателей процесса вибрационного измельчения пшеницы и ячменя, характеризующие энергетическую и качественную стороны работы измельчителей. Проведена

оптимизация исследуемого процесса и установлены рациональные значения критериев подобия: $\pi_1^* = 0,014$; $\pi_2^* = 95,68$; $\pi_3^* = 1,50$. При этом энергоемкость измельчения ячменя составляет $7,618 \text{ кДж/(кг*л)}$, пшеницы - $5,196 \text{ кДж/(кг*л)}$, а качество полученной дерти соответствует нормативным документам. Результаты исследований показывают, что для рационального режима работы вибрационного измельчителя кормового зерна введенный ξ - коэффициент соответствия размеров частиц дерти установленным требованиям составил для КРС 0,713. Это означает, что 71,3% частиц дерти имеет нужный для животных размер, а в дробилках молоткового типа данный показатель не превышает 45-50%.

Вывод восьмой обоснован, достоверный и имеет практическое применение. Приведена технико-экономическая оценка эффективности использования в реальном производстве вибрационного измельчителя вместо молотковой дробилки. Расчеты показывают снижение потребности в электроэнергии на 26,7%, а себестоимости производства 1 т зерновой дерти - на 12,4%. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения вибрационного измельчителя на фермах крупного рогатого скота Сибирского федерального округа составляет около 23 млн.рублей.

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми знаниями в области эффективного процесса вибрационного измельчения кормового зерна.

Таким образом, достоверность и новизна основных положений и выводов сформированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 33 научных работах, в том числе 12 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в том числе 2- в сборниках с регистрацией в базах Scopus и 2 – в журналах, регистрируемых в базе RSCI.

Научно-технологические результаты подтверждены полученными пятью патентами на изобретения. Работа многократно обсуждалась на конференциях различного уровня, совещаниях, семинарах, выставках и получила одобрение ведущих специалистов.

Ценность результатов работы для науки и практики

Научная ценность диссертационной работы заключается в результатах морфологического анализа вибрационных измельчителей. Предложена реологическая модель зерновки. Получено теоретическое описание процесса взаимодействия вибрационных рабочих органов с измельчаемым продуктом. Выполнен динамический анализ измельчителей с учетом вязкоупругих свойств технологической нагрузки. Обоснован предложенный коэффициент соответствия данного измельчителя и его режима настройки зоотехническим требованиям для определенного вида животных. Разработана методология расчета модельного ряда вибрационных измельчителей на основе критериального анализа процесса измельчения кормового зерна вибрационной нагрузкой. Получены регрессионные модели, по обоснованию параметров и режимов работы вибрационного измельчителя кормового зерна.

Результаты исследований могут быть использованы предприятиями при разработке перспективных образцов кормоприготовительного оборудования, учебными заведениями аграрного профиля, специалистами АПК.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Левина А.М. состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем без приложений составляет 296 страницы машинописного текста, в том числе содержит 23 таблиц, 74 рисунка. Список литературы включает 237 наименований, в том числе 19 иностранных авторов.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, перечислены научные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе «Современные проблемы, цель и задачи исследований» представлен анализ роли зерна в кормлении сельскохозяйственных животных, требований нормативных документов к процессу измельчения кормового зерна, основным закономерностям измельчения твердых тел, особенностям технологических свойств фуражного

зерна и механизмам его разрушения. На основании большого количества научной и патентной литературы составлена морфологическая таблица и морфологическая матрица. Все это позволило предложить классификацию вибрационных дробилок и новые конструктивные решения, защищенные патентами РФ №№ 2262984, 2688424, 2759864, 2787723. Обобщены результаты теоретических и экспериментальных описаний процесса разрушения зерна. Перечислены научные коллективы в Российской Федерации, занимающиеся совершенствованием машин для измельчения кормового зерна. Проведен анализ проблемы, сформулирована цель и определены задачи исследований.

Во второй главе «Математическое моделирование рабочего процесса вибрационных измельчителей» автором разработаны и проанализированы математические модели, характеризующие взаимодействие рабочих органов с кормовым зерном. Процесс вибрационного измельчения представлен в виде трех периодов: а) инкубационный; б) период первичного разрушения зерновки; в) процесс доизмельчения осколков (при необходимости). Предложена рассматривать зерновку как реологическую модель, отражающую ее деформационное поведение и объясняющую диссипацию энергии при циклическом нагружении. Определен, исходя из энергетического критерия, рациональный профиль рабочих поверхностей камеры измельчения и число вибровоздействий, потребных для разрушения зерновки.

В третьей главе «Моделирование взаимодействия механических систем вибрационных измельчителей с технологической средой в виде слоя кормового зерна» приведены основные требования к сложным динамическим системам вибрационных машин. Для выбора рациональной конструкции измельчителя по введенным критериям, построены математические модели для исследования динамики различных конструкций измельчителей. По этим критериям проанализированы динамические свойства предложенных вибрационных измельчителей кормового зерна:

- с маятниковым вибровозбудителем, двухмассная;
- с двумя самосинхронизирующимися вибровозбудителями, двухмассная;

– с двумя самосинхронизирующимися вибровозбудителями, трехмассная.

Анализ был рассмотрен с позиций вибрационной механики и теории самосинхронизации вращающихся неуравновешенных роторов. По результатам проведенных динамических исследований по полученным уравнениям всех трех конструкций вибрационного измельчителя кормового зерна и с учетом известного принципа Эджворта-Парето отобрана рациональная динамическая схема измельчителя с двойным самосинхронизированным виброприводом и режимом антирезонанса рабочих органов. Для выбранной схемы измельчителя составлены дифференциальные уравнения и компьютерная модель. Проведенные вычислительные эксперименты показали работоспособность данной динамической схемы измельчителя. Результаты экспериментов на основе фотосъемков расположения дебалансов подтверждают гипотезу о совместном проявлении эффектов самосинхронизации вибровозбудителей и антирезонанса рабочих органов.

В четвертой главе «Методологические и методические аспекты моделирования и оптимизации процесса вибрационного измельчения кормового зерна в эксперименте» введены новые оценки и приемы опытного исследования процесса измельчения кормового зерна. В отличие от существующих регламентирующих документов для оценки качества работы измельчителей предлагается учитывать физиологические потребности вида животного введением коэффициента соответствия измельчителя и его режима настройки зоотребованиям. Предложена новая трактовка использования формулы В.П.Горячкина для перечня сил, действующих на рабочие органы вибрационного измельчителя кормового зерна. Установлено, что в вибрационных измельчителях ничтожно малы аэродинамические и инерционные составляющие энергозатрат, обусловленные воздействием на обрабатываемый зерновой слой. Следовательно, технологический процесс измельчения кормового зерна в вибрационных машинах должен характеризоваться пониженными энергозатратами. Разработана специальная ударная установка для проведения экспериментальных исследований в

вибрационном измельчителе. Результаты экспериментов показали, что для достижения наибольшего эффекта разрушения зерна необходимо, чтобы толщина слоя составляла один размер зерна, скорость удара была по возможности минимальной, а энергия удара, наоборот, - максимальной.

Приведены общая программа, методология экспериментальных исследований, описан экспериментальный образец вибрационного измельчителя, перечень различной измерительной и регистрирующей аппаратуры.

В пятой главе «Анализ экспериментальных исследований и оптимизация параметров процесса измельчения» изложены результаты опытов, характеризующих процесс вибрационного измельчения фуражного зерна. Приведены результаты экспериментальных исследований кормового зерна. Исследования проведены в достаточном объеме для обоснования рациональных конструктивно-режимных параметров вибрационного измельчителя, представлены адекватные уравнения регрессии исследуемых критериев оптимальности. Выводы по этому разделу представляются обоснованными и содержат объективные данные экспериментов.

В шестой главе «Экономическая эффективность и реализация результатов исследования» приведены показатели сравнительной экономической эффективности вибрационного измельчителя, рассчитанные согласно ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Результаты расчетов показали, что использование в реальном производстве вибрационного измельчителя вместо молотковой дробилки позволяет снизить потребность в электроэнергии на 26,7%. Себестоимость производства 1 т зерновой дерти снижается на 12,4%. Расчетный срок окупаемости капиталовложений составляет около 1,2 года. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения вибрационного измельчителя на фермах крупного рогатого скота Сибирского федерального округа составляет около 23 млн. рублей.

Полученные результаты научно-исследовательской работы прошли широкую апробацию, как показывают документы приложений, в ряде научных,

производственных, учебных и других организациях сельскохозяйственного профиля.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе, имеются замечания, некоторые из них носят характер пожеланий:

1. Автор допускает разные термины, как в автореферате, так и в диссертации: зерно, фуражное зерно, зерновка, кормовое зерно. Речь идет об одном и том же сельскохозяйственном материале, который подвергается вибрационному измельчению?
2. Какие были приняты допущения при рассмотрении предложенной реологической модели зерновки?
3. Влияет ли, и как, длина пути, по которой зерновка(слой зерна)спускается сверху вниз в зоне действия рабочих органов вибрационного измельчителя на показатели процесса?
4. Чем обоснован выбор плана Бокса-Бенкина для проведения многофакторного эксперимента?
5. Каковы отличия значений энергоемкости измельчителей с плоской и криволинейной рабочими поверхностями в зависимости от количества вибровоздействий, необходимых для разрушения?
6. Были ли проведены замеры шума при работе экспериментального образца вибрационного измельчителя кормового зерна?
7. В 4 пункте заключения не указано, насколько должен уменьшаться зазор между плоскими поверхностями рабочих органов вибрационного измельчителя по мере продвижения дробимого материала вниз?
8. Встречаются опечатки как в автореферате (стр.40, нумерация главы, стр.42 нумерация заключения начинается с цифры 2), так и в диссертации (стр.99 в слове «противофазное», в списке литературы стр.216 под номерами 57 и 58 указан один и тот же источник), и др.

Заключение

Несмотря на указанные замечания, можно констатировать, что диссертационная работа является законченным научным трудом, выполненным соискателем самостоятельно на актуальную проблему.

Диссертация Левина Алексея Михайловича является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие механизации сельского хозяйства. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа проделана большая и необходимая сельскохозяйственному производству, объем и глубина исследований базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Диссертация имеет целостный характер, логически завершена, написана грамотно, доходчиво и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны достоверные выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает критериям по п.п. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Левин Алексей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры агроинженерии
ФГБОУ ВО Омский ГАУ

Служебный адрес: 644008, г. Омск, Институтская площадь, 1
тел. 8– (381–2) 65–25–72; E– mail: uahit.sabiev@yandex.ru

 Сабиев Уахит Калижанович

Подпись докт. техн. наук, профессора,
профессора кафедры агроинженерии Сабиева У.К. заверяю:
ученый секретарь ученого совета
ФГБОУ ВО Омский ГАУ

 Дмитриева Нелли Алексеевна

