

**ФГБОУ ВО «КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу Бесподенова  
Романа Викторовича «Конструктивно-режимные параметры молотковой  
зернодробилки с оппозитной загрузкой исходного материала»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности**

**4.3.1 – «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного  
комплекса» (технические науки)**

**Актуальность темы диссертации**

Процессы измельчения в технологии производства комбикормов являются действительно доминирующими в создании кормовой базы в аграрном секторе. Кроме того, качество получаемых комбикормов во многом определяется тем, насколько хорошо был проведен технологический процесс дробления. Поэтому исследование процесса дробления фуражного зерна имеет ценность как с научной, так и с практической точки зрения, а усилия, направленные на повышение эффективности процесса измельчения фуражного зерна путем снижения технологической виброактивности молотковых дробилок с горизонтальным расположением барабана, являются актуальными.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и  
рекомендаций**

Литературный анализ существующих технологий и средств измельчения зерна для создания прочной кормовой в аграрном секторе, выполненный соискателем, выявил, что серийно выпускаемые дробилки молоткового типа имеют повышенную виброактивность, что приводит к увеличению непроизводительных затрат. Все это позволило наметить и осуществить пути совершенствования технологического процесса измельчения фуражного зерна.

Разработана новая технологическая схема загрузки исходного материала в рабочую зону молотковой дробилки. Техническая новизна предлагаемой схемы подтверждена патентами РФ №2742509, №2746586, №219913. Обоснованы основные конструктивно-режимные параметры процесса измельчения фуражного зерна в дробилке с оппозитной загрузкой.

Теоретическая часть исследований выполнена с использованием методов и методик, применяемых в теоретической механике, теории машин и механизмов, сопротивлении материалов и математическом анализе.

Экспериментальная часть выполнялась в лабораторных условиях кафедры механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» с использованием теории планирования эксперимента, поверенных приборов и оборудования.

Полученные экспериментальные результаты обрабатывались методами математической статистики с использованием инженерного математического программного обеспечения «PTC Mathcad 15.0», программы для экономико-статистических расчетов «Microsoft Excel» и других пакетов прикладных программ для ЭВМ.

Полученные результаты нашли практическое применение в проектной организации, разрабатывающей кормоприготовительную технику для сельского хозяйства в целом.

#### **Оценка новизны и достоверности полученных результатов**

Заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы изложены на страницах 181–183 диссертационной работы.

**Вывод первый** сформулирован на основе первой главы диссертации, достоверен, в большей степени является констатирующим.

**Вывод второй** является новым и достоверным. Установлено, что одним из источников повышенной виброактивности дробилок с горизонтальным расположением барабана являются ударные импульсы, возникающие при взаимодействии молотков с исходным материалом во время прохождения их



около загрузочной горловины. В связи с чем введено новое научное понятие «технологическая виброактивность дробилки», а также теоретически показано, что предложенная оппозитная загрузка дробилки приводит к тому, что радиально расположенные молотки отклоняются на одинаковый угол от своего радиального направления, тем самым автоматически уравнивая барабан и снижая виброактивность дробилки в целом.

**Вывод третий** обоснован и достоверен. Определена роль технологической виброактивности в непроизводительных затратах энергии в шарнирах молотков, воздушно-продуктовом слое и грунте, прилегающем к фундаменту дробилки, а анализ полученных математических моделей показывает, что эти затраты могут отбирать до 14-20% мощности приводного электродвигателя в дробилках с традиционной загрузкой исходного зерна.

Установлено, что в дробилках с оппозитной загрузкой непроизводительные затраты энергии на вибрирование воздушно-продуктового слоя и грунта, прилегающего к фундаменту дробилки, теоретически могут быть сведены к нулю, а непроизводительные потери энергии в шарнирах молотков могут быть уменьшены наполовину.

**Вывод четвертый** является новым, достоверным и имеет практическое значение. В результате проведенных экспериментов на дробилке с оппозитной загрузкой и оптимизации процесса измельчения пшеницы выявлены рациональные значения конструктивно-режимных параметров: подача исходного материала в левое отверстие ( $q_1$ ) = 0,078 кг/с, подача исходного материала в правое отверстие ( $q_2$ ) = 0,054 кг/с, угловая скорость вращения ротора ( $\omega$ ) = 457,3 рад/с, при которых значение энергоёмкости позволяет достичь минимума  $\Xi = 4.86$  кВт·ч/т λ. Значения критериев подобия для процесса измельчения пшеницы составили следующие величины:  $\pi_1 = 2,366$ ;  $\pi_3 = 1,449$ ;  $\pi_4 = 1,282 \times 10^{-4}$ .

Процесс оптимизации измельчения ячменя позволил выявить натуральные значения варьируемых величин базовых конструктивно-режимных параметров: подача исходного материала в левое отверстие

$(q_1) = 0,075$  кг/с, подача исходного материала в правое отверстие

$(q_2) = 0,051$  кг/с, угловая скорость вращения ротора  $(\omega) = 527,6$  рад/с, при которых оптимальное значение энергоемкости с учетом заданных ограничений составило  $\Xi = 7.54$  кВт · ч/т · λ.

Значения критериев подобия для процесса измельчения ячменя, с учетом найденных оптимальных параметров, составили следующие величины:

$\pi_1 = 2,726$ ;  $\pi_3 = 1,472$ ;  $\pi_4 = 1,104 \times 10^{-4}$ .

Критериальные соотношения конструктивно-режимных параметров позволяют проектировать типоразмерный ряд (линейку) молотковых дробилок с оппозитной загрузкой.

Экспериментальная проверка характеристик энергоемкости, шума и показателей виброускорения показала улучшение этих характеристик при оппозитной загрузке зерна в сравнении с традиционной загрузкой. Так, при измельчении пшеницы снижение энергоемкости процесса достигает 8,2 %, шума – 2,5%, виброускорения – 11,5%. Для ячменя соответствующие показатели снижения составляют: энергоемкости – 19,9 %, шума – 4,7 %, виброускорения – 14,9 %.

**Вывод пятый** является достоверным и показывает, что при экономической оценке результатов исследования, за счет снижения энергоемкости процесса измельчения при оппозитной загрузке зерна в дробилку, удельные совокупные затраты (руб./т) уменьшаются примерно на 9,7%.

Результаты, полученные автором, являются новыми знаниями в области совершенствования механизации технологических средств процесса измельчения фуражного зерна и получения качественных комбикормов для аграрного сектора в целом.

Таким образом, достоверность и новизна основных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывают сомнений.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в пятнадцати научных работах, в том числе в четырех статьях в изданиях,



рекомендованных ВАК Минобрнауки - РФ. Научные результаты подтверждены полученными соискателем патентами Российской Федерации.

Диссертационная работа обсуждалась на конференциях различного уровня в 2021–2023 годах.

### **Ценность работы, выполненной соискателем, для науки и практики**

Научную новизну данной работы, на наш взгляд, составляют:

– технологическая схема молотковой дробилки, в которой изменяется подвод зерна в зону измельчения, а также основные закономерности силового взаимодействия рабочих органов с измельчаемым материалом;

– математические модели технологической виброактивности зернодробилок, позволяющие выяснить происхождение вибрации, оценить непроизводительные затраты энергии и другие ее негативные последствия;

– критериальный анализ технологического процесса измельчения фуражного зерна, на основе которого существенно упрощается эксперимент и дается возможность построения типоразмерного ряда конструкций данных дробилок;

– оптимальные параметры процесса измельчения фуражного зерна в дробилке с оппозитной загрузкой исходного сырья.

Результаты исследования могут быть использованы конструкторскими организациями для разработки новой кормоприготовительной техники, а в частности для модернизации молотковых зернодробилок.

### **Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа Бесполденова Романа Викторовича имеет пять глав.

**Во введении** обоснована актуальность и степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Обзор исследований по измельчению фуражного зерна

молотковыми дробилками» представлены материалы, выполненные автором, по критическому анализу существующих измельчающих средств механизации, в частности молотковых дробилок.

Отмечается, что в настоящее время молотковые дробилки обладают высоким уровнем виброактивности, что приводит к повышению непроизводительных затрат энергии.

В связи с этим, автор настаивает о тщательном научном анализе причин виброактивности молотковых дробилок и предлагает ее снижение, в частности за счет изменения существующих способов подачи исходного материала в полость измельчения.

**Во второй главе** «Технологическая виброактивность молотковых зернодробилок и ее энергетические последствия» рассмотрены причины дисбаланса барабана, которые обуславливают технологическую виброактивность дробилок, дополнительное рассеяние энергии в конструктивных элементах и сопряжениях самой дробильной машины, и прилегающем к фундаменту грунте. В результате чего, было установлено, что источником высокочастотных вибраций молотковых дробилок с горизонтальным расположением барабана являются ударные импульсы, возникающие при прохождении молотков около загрузочных устройств и их динамическим взаимодействием с входящим потоком исходного материала. С целью снижения технологической виброактивности молотковых дробилок, автором, предложена схема их загрузки зерном через два боковых, зеркально расположенных загрузочных устройства. В результате оппозитная загрузка дробилки, при одновременном ударе обоих молотков по входящим слоям исходного зерна, способствует изменению динамических свойств молотков, что теоретически возможно полное уравнивание барабана дробилки (в смысле устранения технологической виброактивности). При этом амплитуда угловых качаний молотков на своих шарнирах уменьшается примерно в два раза, поскольку во столько же уменьшается подача исходного материала на каждый



молоток и соответствующие ударные импульсы, что снижает непроизводительный расход энергии в шарнирах молотков.

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены необходимые показатели, позволяющие всесторонне исследовать процесс измельчения фуражного зерна с целью оптимизации конструктивно-режимных параметров молотковой зернодробилки с оппозитной загрузкой исходного материала, а также математические модели исследуемого процесса и экспериментальный образец молотковой дробилки с оппозитной загрузкой зерна.

**Четвертая глава** «Результаты и анализ экспериментальных исследований» содержит 12 уравнений регрессии с поверхностью отклика в соответствии с программой исследования, а коэффициент детерминации  $R^2$ , рассчитываемый в программе MathCAD при помощи программы Polyfitstat, не превышает значения 0,95, что указывает на адекватность полученных математических моделей.

**Пятая глава** «Экономическая эффективность результатов исследования и состояние внедрения». Удельные совокупные затраты (руб./т), за счет снижения энергоемкости процесса измельчения при оппозитной загрузке зерна в дробилку, уменьшаются примерно на 9,7%.

#### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Соискатель использует несколько понятий:

- непроизводительные затраты энергии;
- диссипация;
- рассеяние энергии.

Однако пояснений нет, какой смысл вкладывается в эти понятия?

2. Соискатель не указал предшественников по исследованиям непроизводительных затрат энергии в шарнирах молотков, в воздушно-продуктовом слое и в основании фундамента.

3. Соискатель утверждает в месте контакта молотка и пальца действует сухое трение, однако в уравнении (3) автореферата это трение представлено вязким т.е. членом  $k\dot{\phi}$ . Как это объяснить!

4. В диссертации на странице 162 указано, «Модуль ввода исходных данных включает приведение системы нелинейных балансовых уравнений регрессии, полученных по иным критериям оптимальности, в ограничения исходя из установленных требований:

- для модуля размола  $0,2 \leq Y_2(X_1, X_2, X_2) \leq 1,2$ ;
- для коэффициента вариации модуля размола  $0 \leq Y_3(X_1, X_2, X_2) \leq 50$ ;
- для относительного (по массе) количества целых зерен  $0 \leq Y_4(X_1, X_2, X_2) \leq 1$ ;
- для уровня звука  $Y_6(X_1, X_2, X_2) \leq 85 \dots$ ».

Почему зависимость содержит факторы  $X_2, X_2$ , а фактор  $X_3$  не отражен?

#### **Заключение**

Несмотря на указанные замечания, можно констатировать, что диссертационная работа является относительно завершенным исследованием, имеет внутреннее единство, содержит новые обоснованные научные результаты и положения.

Диссертация Бесподенова Романа Викторовича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в совершенствование эффективности процесса измельчения фуражного зерна. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключение обоснованы. Диссертация имеет целостный характер, логически завершена, написана грамотно, доходчиво и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны достоверные выводы.

Автореферат отражает материалы диссертации.

Диссертационная работа отвечает критериям актуального «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Бесподенов Роман Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по



специальности 4.3.1 – «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» (технические науки).

Официальный оппонент  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технология,  
оборудование бродильных и  
пищевых производств»

ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ  Тепляшин Василий Николаевич  
(специальность 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства)

Служебный адрес: 660049, г. Красноярск, пр-кт Мира, д. 90  
тел. +7(391)2273609; E- mail: teplyshinvn@list.ru  
Тепляшин Василий Николаевич

Подпись канд. техн. наук, доцента кафедры «Технология,  
оборудование бродильных и пищевых производств» Тепляшина Василия  
Николаевича заверяю:

ученый секретарь ученого совета  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ

 Шестова Наталья Владимировна  
01.12.2021

