

На правах рукописи

Осипов Ярослав Дмитриевич

**ВАЛЬЦЕДЕКОВАЯ МАШИНА
С КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЕЛУШЕНИЯ ЗЕРНА**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ижевск – 2012

Работа выполнена на кафедре «Электрические машины и электрооборудование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ).

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Аипов Рустам Сагитович

Официальные оппоненты:

Андрианова Людмила Прокопьевна,

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ,
профессор кафедры «Электроснабжение и применение электрической энергии в сельском хозяйстве»

Валиуллин Марат Анварович, кандидат технических наук,
ООО «Тепловые сети» Республики Татарстан, генеральный директор

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт - Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ)

Защита состоится 30 марта 2012 года, в 9.00 часов на заседании диссертационного совета КМ 220.030.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» по адресу: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 9, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.

Автореферат разослан 28 февраля 2012 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

Н.Ю. Литвинюк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современное крупяное производство основывается на использовании оборудования непрерывного действия, что обеспечивает достаточно высокий уровень механизации и стабилизирует качественные и количественные показатели процесса переработки зерна.

Большое разнообразие свойств зерна крупяных культур, значительный ассортимент круп, стремление наиболее полно использовать сырье требует от разработчиков создания как специализированного, так и многофункционального оборудования, обеспечивающего переработку нескольких видов зерна, объединенных общими характеристиками.

В настоящее время для шелушения зерна с хрупким ядром (гречиха, просо) применяются вальцедековые машины, в которых воздействие на зерно производится в зазоре между неподвижной декой и вращающимся вальцом, эффективность шелушения которых не превышает 0,7...0,8, соответственно потери продукта на стадии шелушения составляют не менее 20%. Попытки повышения качества шелушения сводятся к созданию машин со сложным движением вальца с применением преобразователей вида движения, значительно ухудшающих эксплуатационные, энергетические и массо-габаритные характеристики электропривода. Кроме того, как в традиционных машинах, так и в модернизированных отсутствует возможность регулирования параметров технологического процесса шелушения в широком диапазоне в зависимости от вида, сорта и фракции зерна без остановки машины. Таким образом, с целью уменьшения потерь продукции требуется разработка энергоэффективного электропривода вальцедековой машины с повышенной эффективностью шелушения зерна с хрупким ядром.

Известны работы ученых С. Ямамура, О.Н. Веселовского, Б.И. Петленко, Ф.Н. Сарапулова, Д.В. Свечарника, Р.С. Аипова, А.П. Епифанова, А.В. Сапсалева, содержащие исследования, посвященные применению линейных электродвигателей в безредукторном приводе технологического оборудования.

Учитывая изложенное, разработка вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром, обеспечивающей качественное шелушение зерна, с простым энергоэффективным электроприводом представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Тематика работы отвечает «Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ до 2020 года» и соответствует разделу федеральной программы по научному обеспечению АПК РФ: шифр 01.02 «Разработать перспективную систему технологий и машин для производства продукции растениеводства и животноводства на период до 2015 года».

Цель работы: повышение эффективности шелушения зерна с хрупким ядром в вальцедековой машине применением безредукторного колебательно-вращательного электропривода с линейным асинхронным двигателем (КВЭП).

Задачи исследования.

1. Разработать конструкцию вальцедековой машины с безредукторным колебательно-вращательным электроприводом.

2. Разработать математическую модель колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины.

3. Исследовать влияние режимов работы, конструктивных параметров КВЭП и вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром на амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и закономерности изменения скорости движения деки.

4. Создать экспериментальную вальцедековую машину с КВЭП, провести экспериментальную оценку зависимости эффективности шелушения зерна с хрупким ядром от частоты колебательного движения деки, проверить адекватность разработанной математической модели.

Объект исследования: колебательные процессы в КВЭП вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром.

Предмет исследования: закономерности изменения эффективности шелушения зерна и параметров колебательного процесса в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы КВЭП вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром.

Методы исследований: для исследования поставленных в диссертационной работе задач использованы теория дифференциальных уравнений, теория математического моделирования, метод объектно-визуального моделирования в среде Matlab, метод математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

- оригинальная конструкция вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром с безредукторным колебательно-вращательным электроприводом;

- математическая модель колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром;

- результаты исследования АЧХ и закономерностей изменения скорости деки с учетом конструктивных параметров и режимов работы колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины и характеристик зерна;

- результаты исследования экспериментальной вальцедековой машины для шелушения зерна с колебательно-вращательным электроприводом.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

- возможность энергетически эффективного импульсного регулирования параметров колебательного движения деки вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром за счет исключения промежуточных преобразователей вращательного движения в поступательное;

- математическая модель, позволяющая исследовать электромеханические процессы колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины с учетом конструктивных параметров и режимов работы привода, вальцедековой машины и характеристик зерна;

- результаты исследования амплитудно-частотной характеристики и закономерности изменения скорости движения деки от конструктивных параметров и режимов работы КВЭП, вальцедековой машины и характеристик зерна, позволяющие оценить степень влияния частоты, продолжительности включения линейного асинхронного электродвигателя ЛАД, жесткости упругого элемента, массы подвижных элементов, динамической вязкости потока зерна и коэффициента заполнения зоны шелушения, и определить с учетом этого эффективные способы регулирования амплитуды и скорости движения деки;

- экспериментально полученные зависимости, доказывающие увеличение эффективности шелушения зерна гречихи вальцедековой машиной с КВЭП на 9%, зависимости коэффициента шелушения, коэффициента целостности зерна и эффективности шелушения от частоты колебаний деки, позволяющие определить оптимальный диапазон частоты колебаний деки с точки зрения достижения максимальной эффективности шелушения зерна с хрупким ядром;

- экспериментальное доказательство отсутствия взаимного влияния на электромеханические процессы электродвигателя вращения и линейного асинхронного электродвигателя при их совместной работе в КВЭП вальцедековой машины, что допускает возможность независимого анализа электромеханических процессов этих двигателей в КВЭП вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром.

Новизна технического решения защищена патентом РФ.

Практическая ценность работы и реализация ее результатов:

В ходе диссертационного исследования разработана конструкция вальцедековой машины с КВЭП, определены эффективные способы регулирования скорости и параметров колебательного процесса деки машины. Экспериментальная вальцедековая машина с КВЭП с линейным асинхронным электродвигателем с получением результатов на ЭВМ рекомендована для проведения экспериментального исследования привода.

Результаты исследования приняты к внедрению в ООО «ИТЦ «Профи» и УОХ «Миловское» Республики Башкортостан и используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ.

Личный вклад автора. Модель, результаты теоретических и экспериментальных исследований, их анализ и интерпретация, представленные в диссертации, получены автором лично. Конструкция экспериментальной вальцедековой машины с КВЭП, выбор направления и методов исследования, формирование структуры и содержания работы выполнены при участии научного руководителя д.т.н., проф. Аипова Р.С.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и одобрены на 15 научно-практических конференциях, в том числе, на Двенадцатой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика" (Москва, 2006г., МЭИ); Международной научно-практической конференции «Энергетика предприятий АПК и сельских территорий: состояние, проблемы

и пути решения» (Санкт-Петербург – Пушкин, 2009, Санкт-Петербургский ГАУ); 48 Международной научно-практической конференции (Челябинск, 2009 г., ЧГАУ) и 12 научно-практических Всероссийских конференциях.

Цилиндрический линейный асинхронный двигатель вальцедековой шелушильной машины был отмечен серебряной медалью 10 Юбилейной выставки «Золотая осень» (Москва, 2008 г., ВВЦ), на 12 Всероссийской выставке АгроКомплекс-2011 за разработку вальцедековой шелушильной машины был получен диплом третьей степени (Уфа, 2011 г.)

В 2009 году коллектив кафедр «Электрические машины и электрооборудование» Башкирского ГАУ с участием автора победил в конкурсе на соискание гранта МСХ РФ по выполнению НИОКР.

Публикации. По результатам исследований получен один патент РФ, опубликовано 23 статьи, в том числе 3 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка использованной литературы, включающего в себя 113 наименований, и 5 приложений. Основное содержание работы изложено на 124 страницах текста, содержит 62 рисунка, 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, кратко изложены основные положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы.

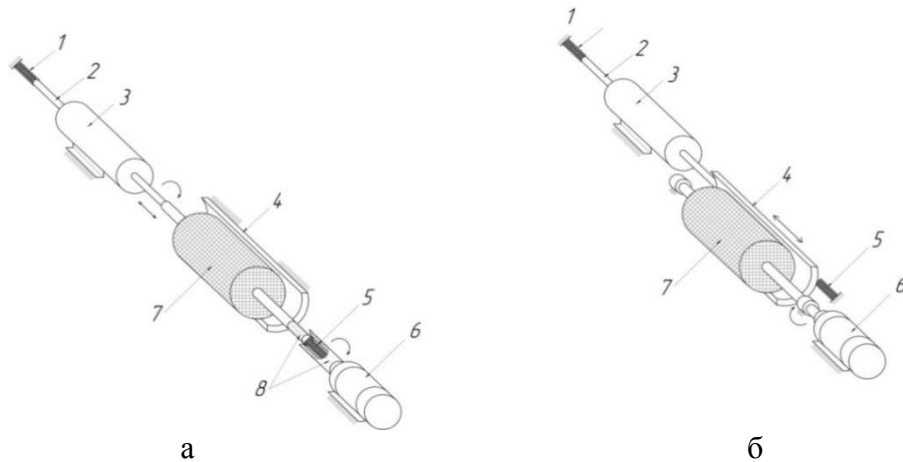
В первой главе «Современное состояние вопроса и способы повышения качества шелушения зерна с хрупким ядром» произведен обзор существующих способов и конструкций машин для шелушения зерна с хрупким ядром. Выявлены их достоинства и недостатки. Известно, что эффективность шелушения вальцедековых машин типа 2ДШС и СГР составляет менее 0,8 с потерей более 20% зерна, поступающего на шелушение.

Конструкции машин с воздействием на зерно в зоне шелушения в двух взаимно перпендикулярных направлениях обладают повышенной эффективностью шелушения, но не позволяют производить регулирование параметров технологического процесса без остановки машины, для реализации поступательного перемещения рабочих органов в них предлагаются преобразователи вида движения, что снижает КПД привода, ухудшает эксплуатационные характеристики и увеличивает массу и габариты агрегатов. В работе предложены два варианта компоновки вальцедековой шелушильной машины с колебательно-вращательным электроприводом, исключая вышеперечисленные недостатки: с вальцом, совершающим колебательно-вращательное движение относительно неподвижной деки (рисунок 1, а), с вращающимся вальцом и декой, совершающей колебательное движение вдоль оси вращения вальца (рисунок 1, б).

Вариант компоновки с вращающимся вальцом и декой, совершающей колебательное движение вдоль оси вращения вальца позволяет упростить

конструкцию привода. Экспериментальная вальцедековая машина с КВЭП, реализующая этот вариант компоновки описана в главе 4.

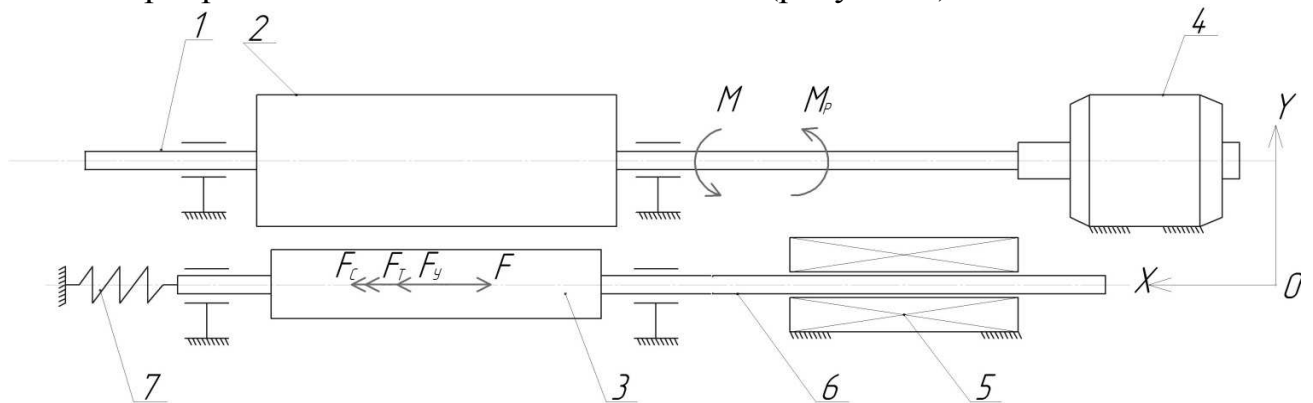
Сформулированы цель и задачи исследования.



1, 5 - упругие элементы, 2 – вторичный элемент (бегун) ЛАД, 3 – индуктор ЛАД, 4 – дека вальцедековой машины, 6 – асинхронный двигатель вращения (АД), 7 – валец вальцедековой машины; 8 – шлицевое соединение.

Рисунок 1 - Варианты компоновки вальцедековой шелушильной машины с колебательно-вращательным электроприводом (схематично): а – с неподвижной декой; б - с подвижной декой и вращающимся валцом.

Во второй главе «Математическая модель колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины» разработана математическая модель вальцедековой машины для шелушения зерна с колебательно-вращательным электроприводом по кинематической схеме (рисунок 2).



1 – вал; 2 – валец; 3 – дека; 4 – АД; 5 – ЛАД; 6 – вторичный элемент ЛАД; 7 – упругий элемент; 8 – подшипники скольжения; 9 – подшипники качения.

Рисунок 2 - Кинематическая схема вальцедековой машины с КВЭП

Математическая модель составлена на основании уравнений динамики КВЭП:

- для поступательного движения деки:

$$ma = F - F_T - F_Y - F_{Cl} \quad (1)$$

где m – масса подвижных элементов (деки и вторичного элемента ЛАД), кг; a – ускорение деки и вторичного элемента ЛАД, кг, m/c^2 ; F – сила, развиваемая ЛАД, Н; F_T – сила трения в подшипниках скольжения, Н;

F_Y – сила упругости, Н; F_{Cl} – сила сопротивления деки от потока зерна в рабочем зазоре, Н;

- для вращательного движения вальца:

$$J \frac{\partial \omega}{\partial t} = M - M_c - M_T, \quad (2)$$

где $J \frac{\partial \omega}{\partial t}$ – динамический момент, кг·м/с²; M – момент развиваемый АД, Н·м; M_c – момент сопротивления от потока зерна в рабочем зазоре, Н·м; M_T – сила трения в подшипниках, Н·м.

Для вывода уравнения, описывающего движущую силу ЛАД принята система дифференциальных уравнений Парка-Горева для двигателей вращательного движения без учета краевых эффектов, что допустимо для низкоскоростных ЛАД с синхронными скоростями $V_0 \leq 5$ м/с.

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi_{x1}}{\partial t} = U_{x1} - \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m} \phi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_m}{X_s X_r - X_m} \phi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \phi_{y1} \\ \frac{\partial \phi_{y1}}{\partial t} = U_{y1} - \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m} \phi_{y1} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_1 X_m}{X_s X_r - X_m} \phi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \phi_{x1} \\ \frac{\partial \phi_{x2}}{\partial t} = -\frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} (V_0 - V) \phi_{y1} \\ \frac{\partial \phi_{y2}}{\partial t} = -\frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} V_0 \frac{R_2 X_m}{X_s X_r - X_m^2} \phi_{y1} + \frac{\pi}{\tau} (V_0 - V) \phi_{x2} \end{cases} \quad (3)$$

где U_{x1} , U_{y1} – напряжение индуктора по осям OX , OY , В; τ – полюсное деление обмотки ЛАД, м; $X_s = X_l + X_m$, $X_r = X_2 + X_m$ – значения сопротивлений, индуктора и вторичного элемента, вводимых в модель, Ом; R_1 , X_l , R_2 , X_2 – соответственно активное и реактивное сопротивления индуктора и вторичного элемента, приведенное к обмотке индуктора, Ом; X_m – сопротивление взаимной индукции между индуктором и вторичным элементом, Ом; V_0 – синхронная скорость ЛАД, м/сек; ϕ_{x1} , ϕ_{y1} , ϕ_{x2} , ϕ_{y2} – потокосцепления по осям OX , OY соответственно индуктора и вторичного элемента, Вб; V – скорость движения подвижного элемента ЛАД, м/сек; ω_0 – угловая частота питающей сети, рад/сек;

Электромагнитная сила ЛАД может быть определена по следующей формуле:

$$F = \frac{3}{2} \frac{\pi \omega_0}{\tau} \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} (\phi_{x2} \phi_{y1} - \phi_{x1} \phi_{y2}) \quad (4)$$

Для исследования работы ЛАД с учетом электромеханических переходных процессов по уравнениям Парка-Горева принята система координат, движущаяся в пространстве с синхронной скоростью V_0 .

Для определения силы сопротивления деки от потока зерна в зазоре использованы формулы для цилиндрического шелушителя, с допущением, что скорость потока зерна индуцируется цилиндром некоторого приведенного радиуса a

$$a = \sqrt{R \cdot R_1}, \quad (5)$$

где R - внутренний радиус деки, м;

R_1 - радиус вальца, м.

Выражение для силы сопротивления деки от потока зерна в зазоре примет вид

$$F_c = \frac{M_c}{a} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot v \cdot R \cdot a \cdot k_z \cdot L}{a^2 - R^2}, \quad (6)$$

где v - скорость деки, м/с;

λ - динамическая вязкость потока зерна, Па·с;

k_z - коэффициент заполнения зоны шелушения;

L - длина деки, м;

Сила упругости реализована в модели КВЭП по закону Гука с учетом коэффициента жесткости упругого элемента c и линейного перемещения деки x , сила трения - с учетом коэффициента трения подшипников скольжения f .

Момент, развиваемый АД с учетом суммарного момента сопротивления на вальце, с использованием системы дифференциальных уравнений Парка-Горева может быть определен следующим образом

$$M = \frac{3 \pi \omega_0}{2 \tau} \frac{X_m}{X_s X_r - X_m^2} (\phi_{x2} \phi_{y1} - \phi_{x1} \phi_{y2}), \quad (7)$$

где U_{X1} , U_{Y1} - напряжение статора по осям OX , OY , В; τ - полюсное деление обмотки асинхронного двигателя вращения, м; $X_s = X_l + X_m$, $X_r = X_2 + X_m$ - значения сопротивлений статора и ротора вводимых в модель, Ом; R_l , X_l , R_2 , X_2 - соответственно активное и реактивное сопротивления статора и ротора, приведенное к обмотке статора, Ом; X_m - сопротивление взаимной индукции между статором и ротором, Ом; ϕ_{X1} , ϕ_{Y1} , ϕ_{X2} , ϕ_{Y2} - потокосцепления по осям OX , OY соответственно статора и ротора, Вб; ω_0 - угловая частота питающей сети, рад/сек; M - момент, развиваемый двигателем вращения, Н·м.

Математическая модель КВЭП вальцедековой машины, составленная по уравнениям (1) и (2) с учетом уравнений (3), (4), (5), (6) и (7) примет вид

$$\begin{cases} m\ddot{\alpha} = \frac{3 \pi \cdot \omega_0}{2 \tau} \frac{X_m}{X_m \cdot X_r - X_m^2} (\varphi_{x2} \cdot \varphi_{x2} - \varphi_{x1} \cdot \varphi_{y2}) - m \cdot g \cdot f - c \cdot x \\ \quad - \frac{\pi \cdot \lambda \cdot v \cdot R \cdot a \cdot k_z \cdot L}{a^2 - R^2} \\ J \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{3 \pi \cdot \omega_0}{2 \tau} \frac{X_m}{X_m \cdot X_r - X_m^2} (\varphi'_{x2} \cdot \varphi'_{x2} - \varphi'_{x1} \cdot \varphi'_{y2}) - \frac{4 \pi \cdot \lambda \cdot \omega \cdot R^2 \cdot a^2 \cdot k_z \cdot L}{a^2 - R^2} - M_T. \end{cases} \quad (8)$$

В формуле (8) параметры со штрихом относятся к двигателю вращения.

В дальнейшем, при моделировании КВЭП вальцедековой машины будет анализироваться только работа ЛАД и его электромеханические процессы, так как электромеханические процессы АД в подобных приводах достаточно изучены. Влияние двигателя вращения на статические и динамические характеристики ЛАД исследовано экспериментально в главе 4.

Математическая модель КВЭП без АД реализованная в среде объектно-визуального моделирования Matlab (приложение Simulink) представлена на рисунке 3. Модель представляет собой совокупность подсистемы «ЛАД», реализованной по уравнениям Парка-Горева, блоков «Сила упругости», «Сила трения», «Сила сопротивления от потока зерна», описывающих силы сопротивления движению деки, подсистемы «Уравнение динамики привода», описывающей соотношение силы ЛАД и суммарной силы сопротивления движению, «Подсистемы управление ЛАД», реализующей импульсное управление двигателем, блока «Энергетические показатели», описывающего потребляемую, полезную мощности, КПД, коэффициент мощности привода и блока измерений, на который подаются сигналы временных зависимостей силы ЛАД, ускорения, скорости и перемещения деки машины.

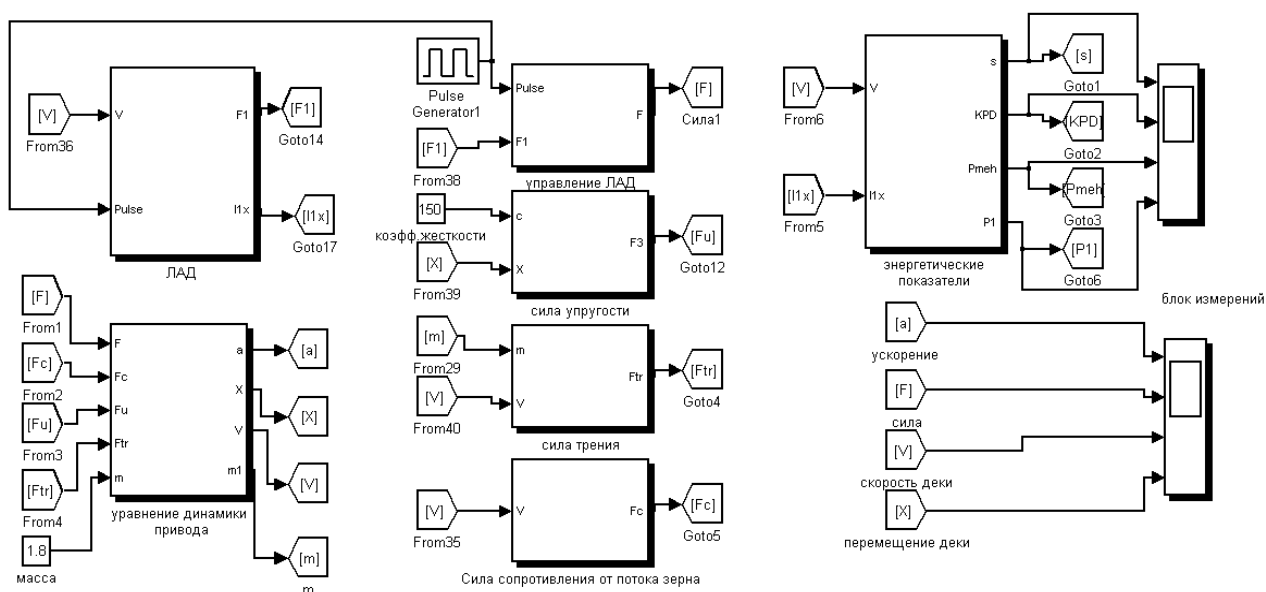


Рисунок 3 - Основное окно математической модели КВЭП вальцедековой машины в среде Matlab (Simulink)

В третьей главе «Теоретическое исследование колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины для шелушения зерна» проведены исследования с целью определения взаимного влияния конструктивных и технологических параметров привода, электромеханических процессов ЛАД.

Установлено, что превышение фазного тока индуктора ЛАД в момент пуска составляет менее 28% при длительности не более 0,25 с, что позволяет эффективно использовать ЛАД в повторно-кратковременном режиме в КВЭП вальцедековой машины для шелушения зерна.

Получена зависимость изменения скорости движения деки от конструктивно-технологических параметров КВЭП и обрабатываемого сырья $v=f(t_w, f, c, m, \lambda, k_z)$. Выявлено, что изменение частоты и продолжительности включения ЛАД является наиболее эффективным способом регулирования скоростного режима деки вальцедековой машины с точки зрения достижения максимального диапазона регулирования 3:1.

При анализе отдельно рассматривались скорости движения деки под действием силы ЛАД («вперед») и скорость деки при движении в обратном направлении под действием потенциальной энергии, запасенной в упругом элементе («назад») (рисунок 4).

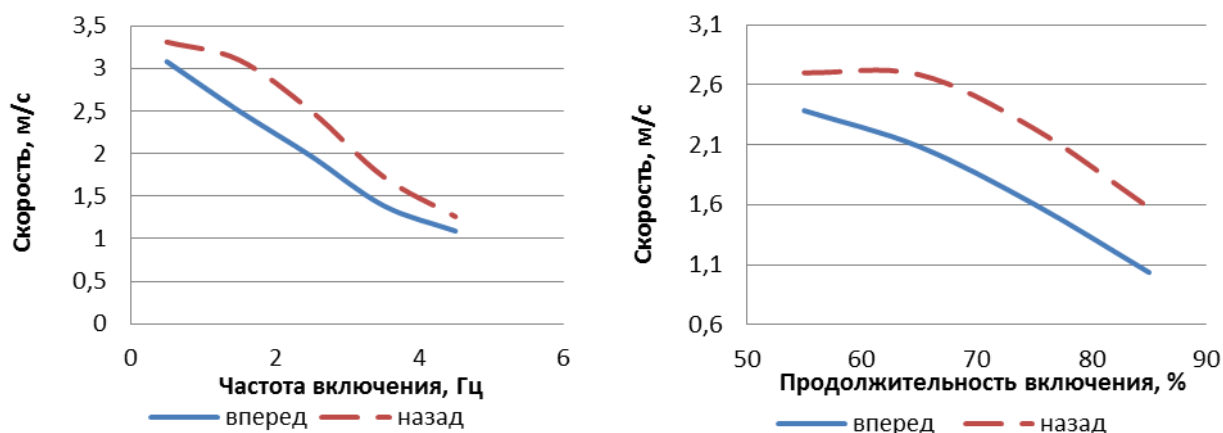
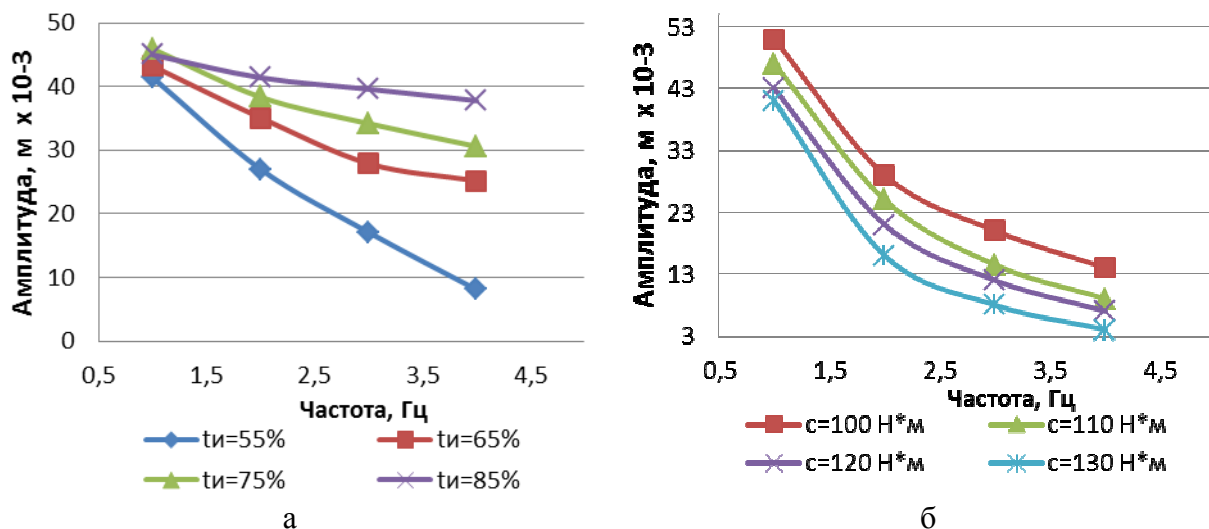


Рисунок 4 - Влияние частоты и продолжительности включения ЛАД на скоростной режим деки

Анализ амплитудно-частотных характеристик привода показывает, что эффективным способом регулирования параметров колебаний деки является изменение продолжительности включения ЛАД. Причем, с увеличением частоты изменение продолжительности включения более значительно сказывается на увеличении амплитуды колебаний: при частоте 1 Гц изменение t_{in} от 55% до 85% приводит к увеличению амплитуды на 3,6 мм, а при частоте 4 Гц – на 29,7 мм (рисунок 5, а).

Достоинством разработанного КВЭП является незначительная зависимость параметров колебательного процесса от динамической вязкости потока зерна и коэффициента заполнения зоны шелушения (изменение λ в диапазоне 6...12 Па·с и k_z в диапазоне 0,55...0,85 приводит к уменьшению амплитуды колебания деки не более чем на 6,5 мм) (рисунок 5, в, г). Это позволяет сделать вывод, что технологические параметры зерна и равномерность подачи не оказывают существенного влияния на эффективность работы машины.



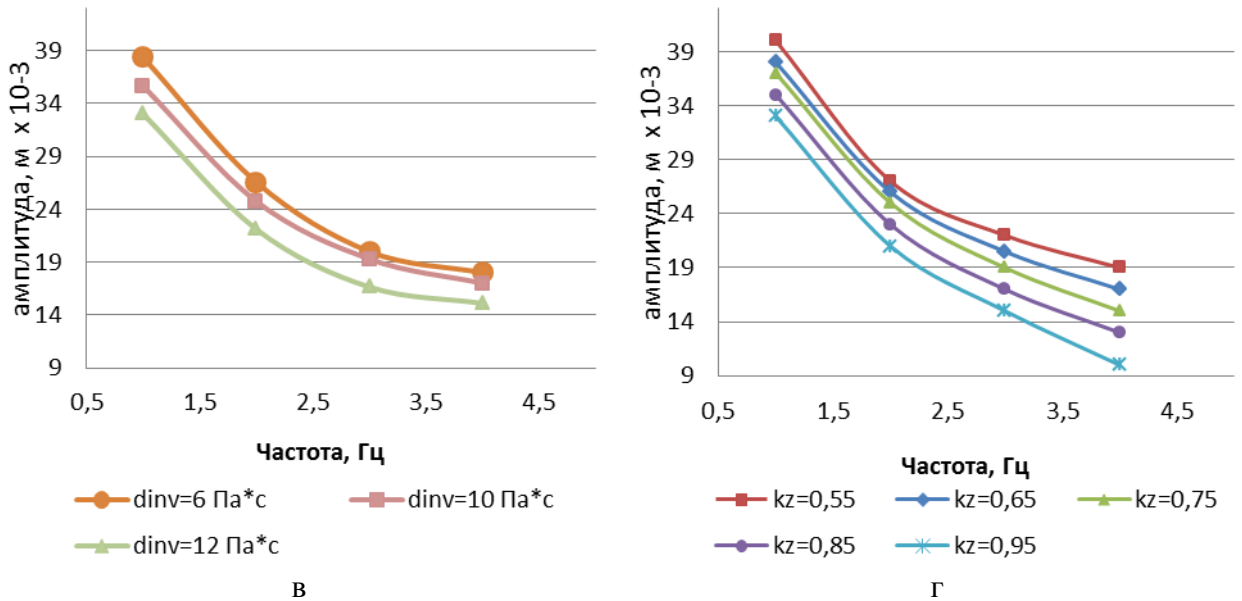


Рисунок 5 - Амплитудно-частотные характеристики КВЭП при изменении: а- продолжительности включения ЛАД; б – коэффициента жесткости упругого элемента, в- динамической вязкости потока зерна; г – коэффициента заполнения зоны шелушения.

По результатам анализа электромеханических процессов ЛАД КВЭП вальцедековой машины по статическим механическим характеристикам предложены зависимости КПД $\eta=f(s)$, движущей силы ЛАД $F=f(s)$ от скольжения при условиях минимума времени разгона, максимума КПД и движущей силы, которые рекомендуется использовать на стадии проектирования ЛАД КВЭП вальцедековой машины. Графики зависимостей η , $F=f(s)$ представлены на рисунках 6 и 7.

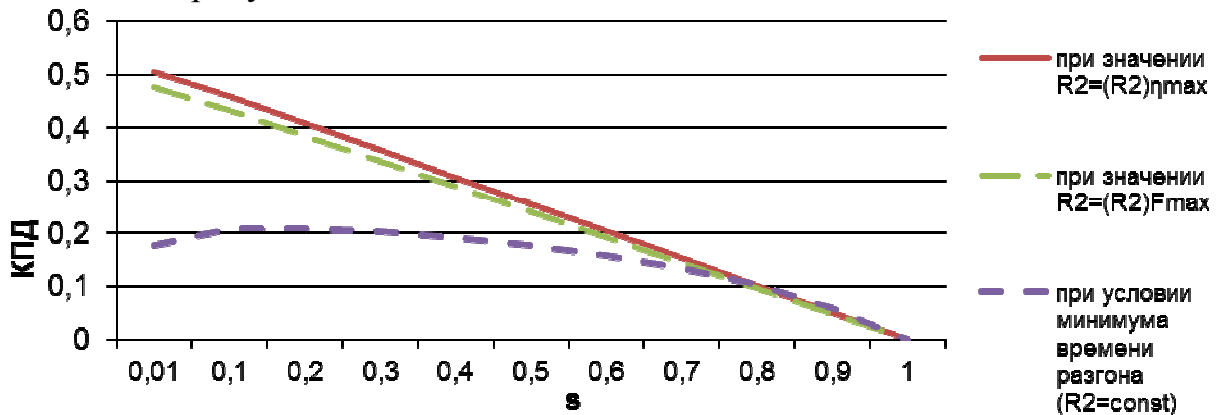


Рисунок 6 - Зависимость КПД ЛАД от скольжения при условиях максимума КПД, максимума движущей силы ЛАД и минимума времени разгона

График зависимости $\eta=f(s)$ показывает, что при скольжениях 0,7...1 условия максимума КПД, максимума движущей силы ЛАД и минимума времени разгона совпадают.

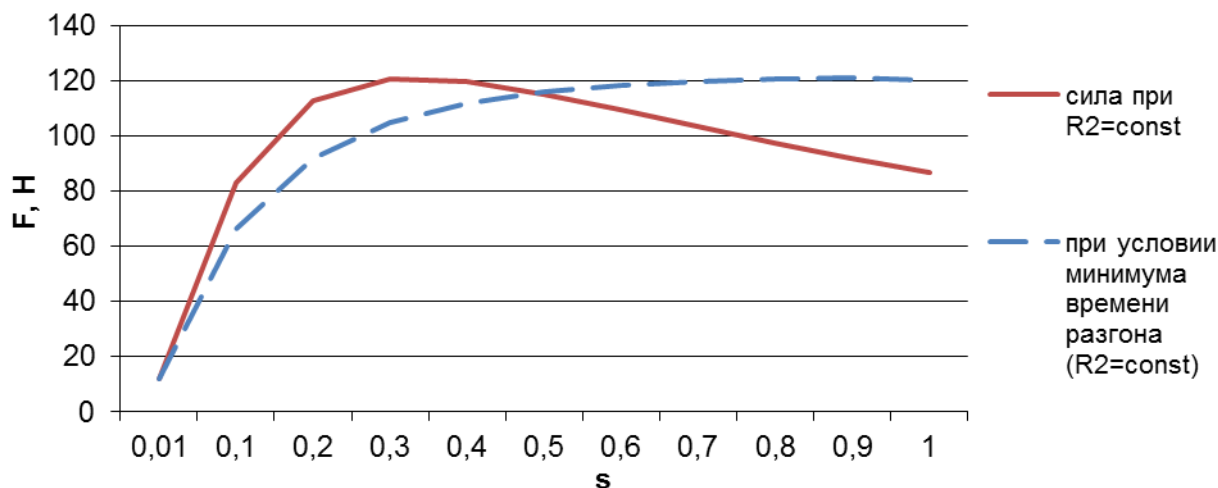
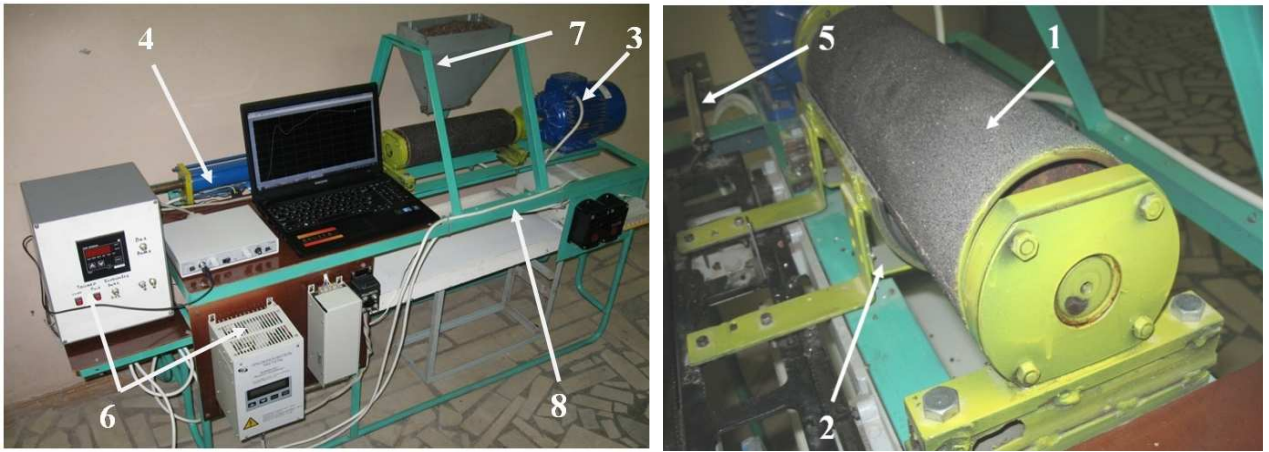


Рисунок 7 - Зависимость движущей силы ЛАД от скольжения при условиях постоянного активного сопротивления вторичного элемента и минимума времени разгона

Из графика зависимости $F=f(s)$ видно, что при выполнении условия минимума времени разгона механическая характеристика имеет меньшую жесткость, но отличается высоким пусковым усилием, равным критическому $F_n = F_{кр} = 120 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что является немаловажным достоинством для двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме. Эта механическая характеристика иллюстрирует работу ЛАД КВЭП вальцедековой машины для шелушения зерна.

В четвертой главе «Экспериментальное исследование колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины для шелушения зерна» представлены результаты физического эксперимента на экспериментальной вальцедековой машине с КВЭП (рисунок 8) с получением через многоканальный АЦП на экране виртуального осциллографа временных зависимостей фазного тока индуктора ЛАД и перемещения деки.

Вращающийся валец машины жестко соединен с валом АД с помощью муфты, а дека установлена на подвижной каретке и жестко соединена со вторичным элементом ЛАД с одной стороны и упругим элементом с другой, что позволяет ей совершать поступательное перемещение вдоль вращающегося вальца. Под действием движущей силы ЛАД дека движется влево, растягивая упругий элемент, после отключения обмоток ЛАД от питающей сети дека останавливается и движется вправо под действием потенциальной энергии, запасенной в растянутой пружине. Отсутствие потребления энергии при гашении кинетической энергии рабочего органа позволяет уменьшить потребляемую энергию из сети. Регулировать частоту вращения АД как выше, так и ниже номинальной позволяет частотный преобразователь, тем самым, при необходимости, возможно и регулирование производительности машины. Изменять параметры колебательного движения ЛАД возможно путем изменения значений частоты и продолжительности включения ЛАД с помощью блока импульсного управления.



1-ваец,2-дека, 3-АД, 4-ЛАД, 5-упругий элемент, 6-аппаратура управления, 7 - бункер, 8 - приемный лоток.

Рисунок 8 - Общий вид экспериментальной вальцедековой машины с КВЭП

Путем анализа осциллограмм токов ЛАД и АД экспериментально доказано отсутствие взаимного влияния на электромеханические процессы электродвигателя вращения и линейного асинхронного электродвигателя при их совместной работе в КВЭП вальцедековой машины, что подтверждает возможность независимого анализа электромеханических процессов этих двигателей в КВЭП.

Экспериментально доказано увеличение эффективности шелушения зерна гречихи на 9% вальцедековой машиной с КВЭП, установлены зависимости коэффициента шелушения, коэффициента целостности зерна и эффективности шелушения от частоты колебаний деки (рисунок 9).

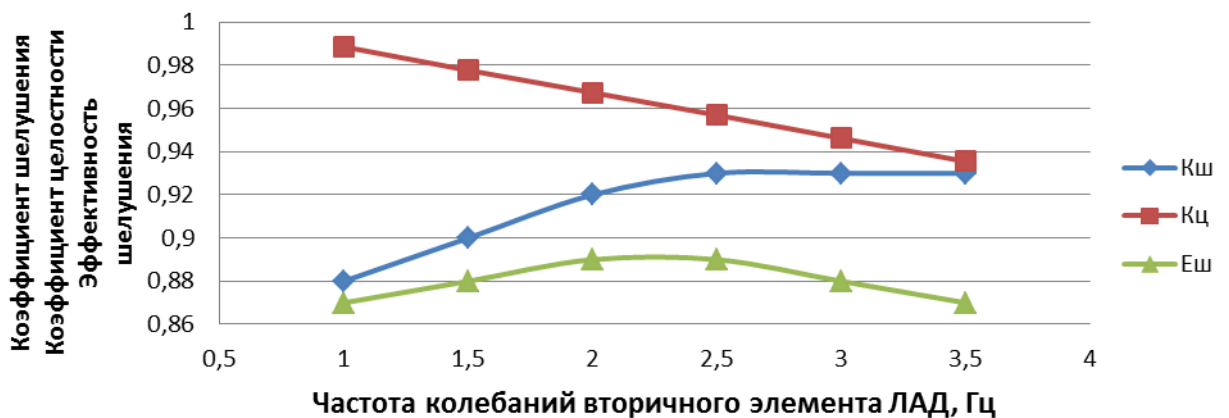


Рисунок 9 - Влияние частоты колебания деки на качество шелушения

Установлен оптимальный диапазон изменения частоты колебаний деки 2...2,5 Гц с точки зрения достижения максимальной эффективности шелушения.

Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей показало, что их максимальное расхождение не превышает 9,1%, при погрешности не более 4%, таким образом, экспериментальные зависимости с достаточной точностью соответствуют данным теоретических исследований.

На рисунке 10 в качестве иллюстрации сказанного представлено сравнение смоделированной амплитудно-частотной характеристики КВЭП с экспериментальной.

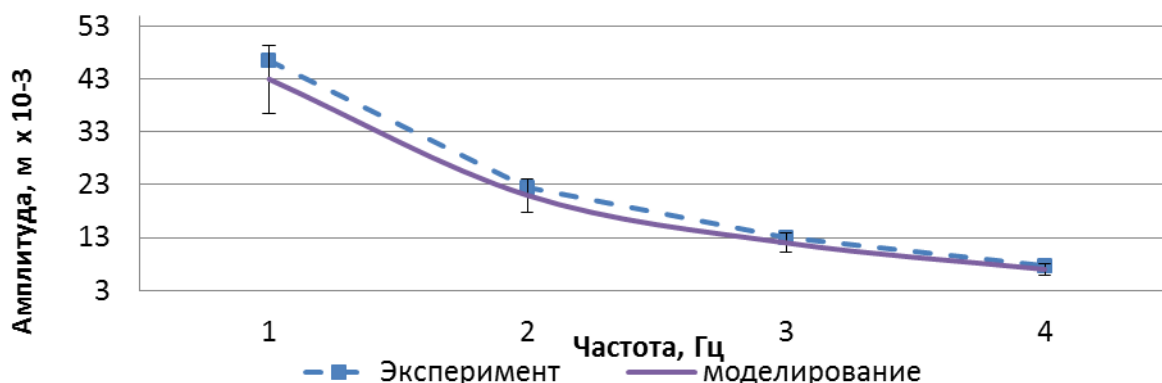


Рисунок 10 - Сравнение результатов теоретического исследования и эксперимента на примере АЧХ КВЭП

В пятой главе «Технико-экономическая оценка внедрения вальцедековой машины с колебательно-вращательным электроприводом» определен годовой экономический эффект в размере 963407 рублей в ценах 2011 года, при внедрении вальцедековой шелушильной машины с колебательно-вращательным электроприводом на предприятиях крупяного производства при капитальных вложениях 677140,25 рублей со сроком окупаемости 0,7 года. Энергоемкость шелушения гречихи повысилась на 0,27 кВт·ч/т, а годовой экономический эффект достигнут за счет увеличения эффективности шелушения, и, как следствие, повышения выхода ядрицы гречихи в объеме 84,5 т.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана вальцедековая машина с колебательно-вращательным электроприводом для шелушения зерна с хрупким ядром с возможностью энергетически эффективного импульсного регулирования параметров колебательного движения деки за счет исключения промежуточных преобразователей вращательного движения в поступательное. Новизна технического решения доказана патентом РФ на изобретение.

2. Создана математическая модель КВЭП вальцедековой машины, позволяющая исследовать электромеханические процессы колебательно-вращательного электропривода вальцедековой машины с учетом конструктивных параметров и режимов работы привода, вальцедековой машины и характеристик зерна с погрешностью 9,1 %, что подтверждается сравнением результатов моделирования с результатами физического эксперимента.

3. Выявлены наиболее эффективные с точки зрения достижения максимального диапазона регулирования 3:1 способы регулирования скорости деки вальцедековой машины изменением частоты и продолжительности включения ЛАД, соответственно, в диапазонах 1...4 Гц и 55...85 %, и при

этом установлено, что от динамической вязкости потока зерна и коэффициента заполнения зоны шелушения скорость деки зависит незначительно.

По результатам исследования АЧХ установлено, что с увеличением частоты изменение продолжительности включения ЛАД сказывается на увеличении амплитуды колебаний следующим образом: при частоте 1 Гц изменение продолжительности включения от 55% до 85% приводит к увеличению амплитуды на 3,6 мм, а при частоте 4 Гц – на 29,7 мм.

Влияние динамической вязкости потока зерна на параметры колебания деки в диапазоне 6...12 Па·с и коэффициента заполнения зоны шелушения в пределах 0,55...0,85 приводит к незначительному уменьшению амплитуды колебаний деки не более, чем на 6,5 мм, что позволяет распространить полученные результаты исследований на зерно с хрупким ядром различных сортов, фракций, влажности.

4. Результаты исследований, полученные с помощью экспериментальной вальцедековой машины с КВЭП показывают оптимальный диапазон изменения частоты колебаний деки 2...2,5 Гц с точки зрения достижения максимальной эффективности шелушения, в частности, получено увеличение эффективности шелушения зерна гречихи на 9 % по сравнению с вальцедековой машиной с традиционным приводом.

Экспериментально доказано отсутствие взаимного влияния на электромеханические процессы электродвигателя вращения и линейного асинхронного электродвигателя при их совместной работе в КВЭП вальцедековой машины, что подтверждает возможность независимого анализа электромеханических процессов этих двигателей в КВЭП.

Погрешность результатов экспериментальных исследований составляет 4 %.

5. Экономический эффект от внедрения вальцедековой машины с КВЭП достигается за счет увеличения эффективности шелушения и, как следствие, повышения выхода конечного продукта, что показано на примере ядрицы гречихи, в объеме 84,5 т и составляет 963407 руб/год, при сроке окупаемости капитальных вложений 0,7 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Журналы, рецензируемые в перечне ВАК:

1. Аипов, Р.С. Перспективы применения безредукторного асинхронного электропривода для процессов послеуборочной обработки зерна / Р.С. Аипов, Я.Д. Осипов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – СПб– Пушкин, СПбГАУ, 2009.– № 16. – С. 152 – 157.

2. Аипов, Р.С. Асинхронный электропривод машины для шелушения зерна / Р.С. Аипов, Я.Д. Осипов // Сельский механизатор. – Кострома, 2009. – № 5. – С. 35.

3. Аипов, Р.С. Математическая модель колебательно-вращательного электропривода измельчителя листостебельных кормов на основе скользящего комбинированного резания / Р.С. Аипов, Ю.Ж. Байрамгулов, Я.Д. Осипов, В.В. Эбингер // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – Уфа, Башкирский ГАУ, 2011. – № 4(20). – С. 46–51.

Основные публикации в других изданиях:

4. Патент № 2324539 Российская Федерация, МПК В02 3/00. Устройство для шелушения зерна / Р.С. Аипов, Я.Д. Осипов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ - №2006109102/13; заявлен 22.03.2006; опубликован 10.10.2007, Бюл.№ 14. – 8 с.

5. Линенко, А.В. Перспективы применения винтового электропривода в АПК / А.В. Линенко, Я.Д. Осипов // Повышение эффективности и устойчивости развития агропромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции: Часть II. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2005. – С. 200 – 202.

6. Осипов, Я.Д. Устройство для шелушения зерна на базе двухцелевого электродвигателя/ Я.Д. Осипов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Двенадцатая Международная научно - техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов в 3-х т. – М.: МЭИ, 2006. Т. 2. – С. 95–96.

7. Аипов, Р.С. Устройство для шелушения зерна на базе дугостаторного асинхронного электропривода / Р.С. Аипов, Я.Д. Осипов //Перспективы агропромышленного производства регионов России в условиях реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК». Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках 16 Международной специализированной выставки «АгроКомплекс–2006»:Часть III.– Уфа: Башкирский ГАУ, 2006. – С. 128 – 131.

8. Аипов, Р.С. Динамика электропривода возвратно-поступательно-вращательного движения вальцедекового шелушильного станка /Р.С. Аипов, Я.Д. Осипов //Проблемы и перспективы развития инновационной деятельности в АПК. Материалы всероссийской научно-практической конференции в рамках 17 Международной специализированной выставки «АгроКомплекс–2007»:Часть III.– Уфа: Башкирский ГАУ, 2007. – С.124 – 127.

9. Линенко, А.В. Безредукторный асинхронный электропривод технологической машины со сложным колебательным движением рабочего органа/ А.В. Линенко, Я.Д. Осипов //Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий. Материалы Всероссийской научно-технической конференции: Т1. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. – С. 255 – 259.

10. Аипов, Р.С. Максимальные КПД и движущая сила при разгоне рабочего органа вальцедековой машины для шелушения зерна линейным асинхронным двигателем / Р.С. Аипов, А.В. Линенко, Я.Д. Осипов //Вестник Башкирского государственного аграрного университета. Журнал. – Уфа, 2007. – № 10. – С. 25–28.

11. Валишин, Д.Е. Повышение эффективности машины для шелушения зерна методом математического моделирования и оптимизации параметров / Д.Е. Валишин, Я.Д. Осипов // Интеграция аграрной науки и производства: состояние, проблемы и пути решения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках 18 Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2008». Часть IV. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2008. – С. 175 – 177.

12. Ахметвалеев, Р.Р. Способы реализации колебательно-вращательного движения рабочих органов технологических машин в АПК / Р.Р. Ахметвалеев, Д.Е. Валишин, Я.Д. Осипов // Электрификация сельского хозяйства. Межвузовский научный сборник. Выпуск V. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2008 – С.37 – 44.

13. Осипов, Я.Д. Вальцедековая шелушильная машина с комбинированным электроприводом / Я.Д. Осипов// Энергетика предприятий АПК и сельских территорий: состояние, проблемы и пути решения. Материалы международной научно-практической конференции. – СПб: Издательство СПбГАУ, 2009. – С. 152 – 157.

14. Осипов, Я.Д. Безредукторный колебательно-вращательный электропривод измельчителя кормов / Я.Д. Осипов, В.В Эбингер // Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках 19 Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2009». Часть I.– Уфа: Башкирский ГАУ, 2009. – С. 207 – 210.

15. Осипов, Я.Д. Безредукторный электропривод с линейными электродвигателями для реализации сложного колебательного движения рабочего органа технологических машин / Я.Д. Осипов, В.В Эбингер // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2009. – С. 105 – 108.

16. Осипов, Я.Д. Повышение эффективности вальцедековых шелушильных машин применением колебательно-вращательного электропривода / Я.Д. Осипов// Достижения науки – агропромышленному производству. Материалы XLIX международной научно-технической конференции. Часть 3. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – С. 22 – 25.

17. Осипов, Я.Д. Экспериментальная установка для исследования колебательно-вращательного электропривода вальцедековой шелушильной машины / Я.Д. Осипов// Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию Башкирского ГАУ. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2010. – С. 78 – 80.

18. Осипов, Я.Д. Бесконтактное управление колебательно-вращательным электроприводом вальцедековой машины для шелушения зерна с хрупким ядром / Я.Д. Осипов// Научное обеспечение развития АПК в современных условиях. Материалы Всероссийской научно – практической конференции. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2011. – С. 146 – 149.

Подписано в печать . 02. 2012 г.
Формат 60Ч84. Бумага типографская.
Гарнитура Таймс. Объем 1,0 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ №_____.

Издательство Башкирского государственного аграрного университета.
Адрес издательства и типографии: 450001, г.Уфа, ул. 50 лет Октября, 34.

