

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

*Оренбург, 5–6 февраля 2016 г.*



Оренбург  
Издательский центр ОГАУ  
2017

УДК 631.3  
ББК 40.7  
С56

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом Оренбургского государственного аграрного университета (председатель совета – проф. Г.В.Петрова).*

*Редакционная коллегия*

Ю.А. Ушаков (ответственный редактор), В.А. Шахов,  
Е.М. Асманкин, И.А. Рахимжанова

*Оргкомитет международной научно-практической конференции*

В.А. Шахов (председатель), Ю.А. Ушаков (сопредседатель),  
Е.М. Асманкин, Н.К. Комарова, А.П. Козловцев, М.М. Константинов,  
В.Е. Медведев, И.В. Попов, И.А. Рахимжанова, В.И. Чиндяскин

**Совершенствование инженерно-технического обеспечения**  
**С56** технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции / отв. ред. Ю.А. Ушаков. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2017. – 396 с.

ISBN 978-5-88838-981-2

В сборнике представлены материалы международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК», проведенной 5–6 февраля 2016 года.

Издание адресовано профессорско-преподавательскому составу, аспирантам и студентам вузов агроинженерного профиля, а также научным работникам, специалистам инженерно-технической службы и руководителям АПК.

УДК 631.3  
ББК 40.7

ISBN 978-5-88838-981-2

© Издательский центр ОГАУ, 2017

# ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЕКИ

*Аипов Р.С., д-р техн. наук, профессор, Акчуринов С.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель,  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»;*

*Пугачёв В.В., ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»*

В различных отраслях народного хозяйства, в том числе и в сельском хозяйстве, находят широкое применение процессы сепарации различных материалов. Устройства, которые выполняют эти функции, – вибрационные сепараторы, во многом зависят от приводного механизма и возможности регулирования колебаний рабочего органа – деки. Одним из вариантов привода вибрационного сепаратора является линейный асинхронный двигатель (ЛАД), который позволяет получить регулируемое сложное колебание деки [1].

При необходимости теоретического получения и исследования уточненных временных характеристик технологических машин возвратно-поступательного движения с ЛАД целесообразно построение математической модели на основе уравнений в динамике [3, 2] и ее реализация в среде визуального моделирования Simulink (MatLab) [4]. А применение кусочно-постоянных функций позволит упростить, сократить громоздкие выражения и приспособить их к реализации в приложении Simulink.

На рисунке 1 показана расчетная схема вибрационного сепаратора со сложным движением деки, составленной для математического описания на основе динамики привода.

На основе расчетной схемы (рис. 1) составлены уравнения сил, действующих на индуктор, деку и сепарируемый материал, по которым построена математическая модель их движения.

В схеме приняты следующие системы координат:  $XOY$  – неподвижная относительно основания,  $X'O'Y'$  – неподвижная относительно деки.

Координаты сепарируемого материала, деки и индуктора в этих системах:

$$\begin{aligned}x_m &= x'_m \cos \alpha, \quad x_u = x'_u \cos \alpha, \quad x_o = 0, \quad x'_o = 0, \\y_m &= y_d + x'_m \sin \alpha, \quad y_u = y_d + x'_u \sin \alpha, \quad y'_u = y'_d = y'_m = 0, \quad (1) \\y_d &= \frac{y_A + y_B}{2}, \quad x_A = \text{const}, \quad x_B = \text{const}, \quad \sin \alpha = \frac{y_B - y_A}{L},\end{aligned}$$

где  $J_m$ ,  $J_o$ ,  $J_u$  – моменты инерции, соответственно, сепарируемого материала, деки и индуктора.

Включение и отключение напряжения питания ЛАД осуществляется блоком управления. Для предварительного исследования созданной модели можно задать режим согласно выражению [3]:

$$U_1 = U_{ист} \times \text{sign}(\sin(2 \cdot \pi \cdot f_{вкл} \cdot t)), \quad (11)$$

где  $U_{ист}$  – напряжение источника питания, В;

$f_{вкл}$  – частота включений (колебаний), Гц.

На основе уравнений (1)...(10) составлены уравнения движения сепарируемого материала, деки и индуктора ЛАД. Математическая модель реализована в приложении Simulink (MatLab).

В результате запуска приведенной модели в режиме вынужденных колебаний с подачей напряжения ЛАД согласно выражению (11) с произвольной частотой получена траектория движения индуктора в системе  $XOY$  (рис. 2, 3) и сепарируемого материала (рис. 4).

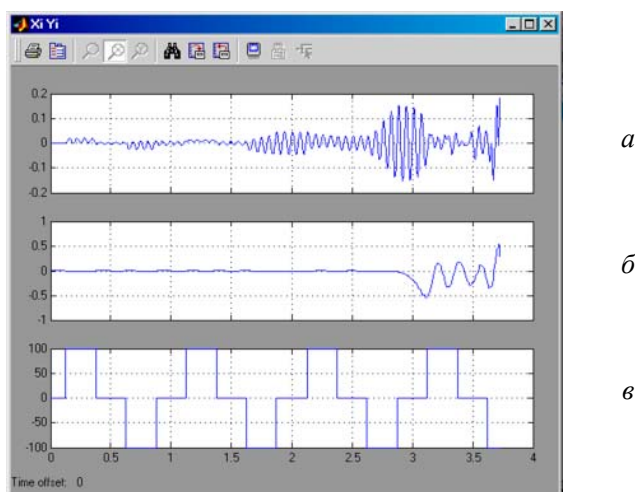


Рисунок 2 – Координаты движения индуктора:

а – по оси  $OX$ ; б – по оси  $OY$ ; в – напряжение питания ЛАД

Вид временных характеристик (рис. 2) и траектории движения (рис. 3, 4) свидетельствуют о нестабильности работы привода при параметрах, заданных в эксперименте, в результате чего сепарируемый материал под центробежной силой удаляется от динамической нейтрали.

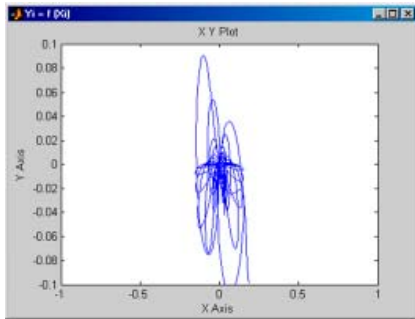


Рисунок 3 – Траектория движения индуктора в системе  $XOY$

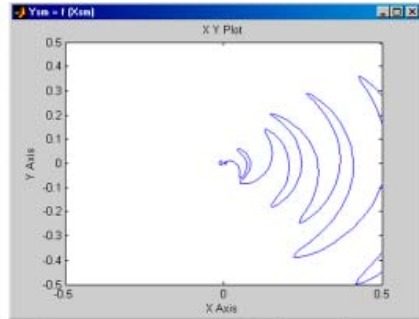


Рисунок 4 – Траектория движения сепарируемого материала в системе  $XOY$

На устойчивость системы влияют много других параметров. Основные из них: массы индуктора, деки, сепарируемого материала; рабочая длина деки; коэффициенты жесткости упругих элементов; скорость перемещения индуктора; длина вторичного элемента; усилие ЛАД; периоды (частота) включения и выключения ЛАД и т. д.

На рисунке 5 приведены формы желаемых траекторий движения сепарируемого материала и индуктора ЛАД. Приведенные на рисунках 3 и 4 траектории значительно отличаются от желаемых.

Основной причиной этому является высокая частота колебаний.

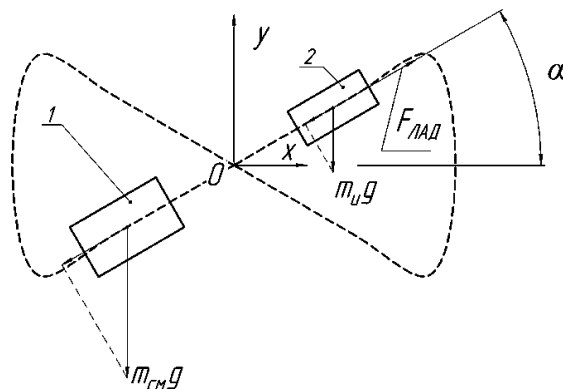


Рисунок 5 – Желаемые траектории движения сепарируемого материала – 1 и индуктора ЛАД – 2 в системе  $XOY$

Кроме того, следует отметить, что в целях получения значимого угла наклона в модели приняты предельно малые значения моментов инерции индуктора, деки и сепарируемого материала, так как угол колебания отрицательно зависит от частоты переключения ЛАД и значений моментов инерции.

Как показано на рисунке 4, сепарируемый материал движется под действием проекции силы тяжести, поэтому его максимальное ускорение не может превышать ускорение свободного падения  $g$ , тогда как основной движущей силой индуктора является усилие ЛАД. Поэтому движение сепарируемого материала по фазе значительно отстает от индуктора. Это говорит о том, что для получения устойчивого колебательного движения сепарируемого материала под действием силы тяжести следует исследовать привод в малых частотах колебаний.

Попытки определения частоты устойчивых вынужденных колебаний путем исследования амплитудно-частотной характеристики не дали результатов. Далее в целях определения необходимой частоты и формы переключения напряжения питания ЛАД решено перейти в режим автоколебаний в функции координат сепарируемого материала на оси  $O'X'$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аипов Р.С., Линенко А.В. Линейные электрические машины и линейные асинхронные электроприводы технологических машин. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. 308 с.
2. Аипов Р.С., Акчурин С.В., Пугачёв В.В. Математическая модель вибропривода с линейным асинхронным двигателем // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. № 1. С. 58–63.
3. Аипов Р.С., Акчурин С.В., Пугачёв В.В. Математическая модель вибрационного сепаратора с линейным асинхронным электроприводом // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике: материалы I международной научно-технической конференции. Пермь: Изд. Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2015. С. 78–83.
4. Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x. М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 1999. Т. 2. 304 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

*Кушнир В.Г., д-р техн. наук, профессор, Гаврилов Н.В., канд. техн. наук,  
Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, РК;*

*Кушнир А.С., аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский  
университет информационных технологий механики и оптики*

Процесс дробления зерна является наиболее энергоёмким среди всех других операций по подготовке зерна, поэтому применение оптимальных режимов работы молотковой дробилки ведёт к значительной экономии энергии.

Исследованию влияния работы молотков на процесс измельчения посвящено большое количество работ.

Влияние конструктивных особенностей молотков на процесс измельчения зерновых культур еще в 1927 году рассмотрел профессор W.C. Kueger, он сделал заключение, что расстановка молотков и их количество не оказывают влияние на процесс измельчения [1].

Демидов П.Г. отметил, что эффективность работы дробилки зависит от числа пакетов и молотков [2].

Профессор Куприц Я.Н. утверждал, что толщина молотков должна выбираться в зависимости от вида измельчаемой зерновой культуры [3].

Сыроватка В.И., исследовав влияние острых граней молотка на показатели работы дробилки, пришел к выводу, что молотки с острой формой грани повышают производительность в 1,2...1,3 раза [4].

Шуб Г.И., исследовав измельчение зерновых культур, пришел к выводу, что толщина молотка должна находиться в диапазоне от 1,5 до 2 мм [5].

Исследования влияния количества, толщины и формы молотков на энергоёмкость и качество получаемого продукта проведены Зеленым А.А. [6]. Он сделал следующие выводы: толщина молотков при измельчении зерна должна находиться в пределе 1,5...2 мм, уменьшение толщины молотков от 12 до 2 мм снижает удельный расход энергии на 5...7 %; при измельчении зернового материала лучшим по форме является пластинчатый молоток с радиально расположенными гранями; при увеличении числа молотков от 12 до 72 снижается удельный расход энергии на 4...25 %.

В конструкциях молотковых дробилок используют пластинчатые и объемные молотки. Пластинчатые молотки применяются с двумя отвер-

ствиями (прямоугольные – ГОСТ 8772-58), со ступенчатыми концами и фигурные, а объемные – сплошные и составные.

В кормодробилках производства СНГ применяют пластинчатые молотки (прямоугольные или со ступенчатыми концами). Для измельчения зерна используют тонкие молотки толщиной 2...3 мм. В зависимости от материала и термообработки молотки служат от 72 до 280 часов [7].

Проверку работоспособности и подтверждение гипотезы исследований (повышение производительности процесса измельчения зернового материала, однородности выходной массы при установке на рабочий орган (молоток) дополнительного элемента (измельчителя, предположительно треугольной формы) осуществляли на лабораторной установке, разработанной на кафедре машин, тракторов и автомобилей Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова (рис. 1).



*Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной дробилки*

Для экспериментальных исследований изготовлено три типа рабочих органов доизмельчителей (рис. 2).

Для привода дробилки использовался двигатель постоянного тока независимого возбуждения, что позволило изменять частоту вращения ротора в диапазоне от 2200 до 3000 мин<sup>-1</sup>. В качестве сырья было использовано зерно ячменя, овса и пшеницы влажностью 15; 20; 25 %.