УДК 62-837:631

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-115-120

В.Ю. Кабашов, М.Ф. Туктаров, В.Г. Байназаров

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ С РЕШЕТНЫМ СТАНОМ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО КОЛЕБАНИЯ

Ключевые слова: зерноочистительная машина; продольно-поперечное колебание; решетный стан; полнота разделения; эффективность.

Введение. В существующих зерноочистительных машинах для приведения в колебательное движение решетного стана используются кривошипно-шатунный, эксцентриковый и дебалансовый (инерционный) механизмы. Основными недостатками этих приводных механизмов являются сложность регулирования кинема-

тических параметров колебаний решет и большая энергоемкость. При этом для регулирования амплитуды колебания решет необходимо останавливать работу зерноочистительной машины и производить соответствующую перестройку приводного механизма решетного стана [7]. Одним из путей решения вышеотмеченных

недостатков является применение линейного электродвигателя в качестве приводного механизма решетного стана, что позволит упростить его конструкцию и осуществлять регулирование кинематических параметров колебаний решета непосредственно в ходе работы зерноочистительной машины [2]. Линейный асинхронный электродвигатель (ЛАЭД), состоящий из неподвижного индуктора и подвижного вторичного элемента, в отличие от асинхронного электродвигателя вращения, позволяет преобразовывать электрическую энергию в механическую энергию линейного перемещения. В этом случае осуществление возвратно-поступательного движения решетного стана от ЛАЭД возможно за счет жесткого соединения вторичного элемента ЛАЭД с решетным станом, а индуктора ЛАЭД – с рамой зерноочистительной машины. Решетный стан соединен с рамой зерноочистительной машины посредством упругих накопителей энергии (винтовых пружин), служащих для накопления потенциальной энергии в ходе прямого (рабочего) движения решетного стана [1].

Цель исследования. Определение оптимальных кинематических параметров продольно-поперечных колебаний решетного стана зерноочистительной машины, при которых наблюдаются наилучшие показатели эффективности выделения сорных примесей E из исходного зернового материала.

Задачи исследования. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1. Собрать лабораторную зерноочистительную машину с решетным станом продольно-поперечного колебания. 2. Описать методику проведения экспериментальных исследований. 3. Провести экспериментальные исследования лабораторной зерноочистительной машины с решетным станом продольно-поперечного колебания.

Материалы и методы исследования. На кафедре электрических машин ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ для проведения экспериментальных исследований собрана лабораторная зерноочистительная машина с решетным станом продольно-поперечного колебания. В приводном механизме решетного стана (рисунок 1) между индуктором 5 и вторичным элементом 4 плоского ЛАЭД отсутствует какая-либо кинематическая связь. При этом вторичный элемент 4 посредством штоков 2 и упругих накопителей энергии 3 соединен с каркасом решетного стана, на котором установлены два решета 1. В процессе работы приводного механизма решетный стан зерноочистительной машины совершает не только продольные, но и одновременно поперечные колебания, что обусловлено возникнове-

нием силы притяжения, создаваемой индуктором плоского ЛАЭД и направленной перпендикулярно к его плоскости [8].

Рисунок 1

Приводной механизм решетного стана зерноочистительной машины: 1 – решето, 2 – шток, 3 – упругий накопитель энергии, 4 – вторичный элемент плоского ЛАЭД, 5 – индуктор плоского ЛАЭД, 6 – опорные ролики

На рисунке 2 представлена схема спроектированной лабораторной зерноочистительной машины [6]. Экспериментальные исследования влияния кинематических параметров решетного стана на процесс сепарирования зернового материала проводились на лабораторной зерноочистительной машине, оснащенной плоско-пробивными решетками с прямоугольными отверстиями (размер отверстий 3,2...4,0 мм верхнего и 1,8...2,2 мм нижнего решет соответственно). Был использован зерновой материал, прошедший предварительную очистку на воздушно-очистительной машине, с влажностью 14 % и долей сорных примесей 5 % [4]. В бункер 2 засыпался зерновой материал массой 1 кг, фиксировалась постоянная подача зернового материала, равная 0,05 кг/с, угол наклона решет, равный $\alpha = 8^\circ$, амплитуда и частота колебаний сепарирующей поверхности с варьированием одного из факторов при постоянстве других (кроме этого, также проводились многофакторные эксперименты с варьированием двух параметров). Лабораторная машина запускалась в работу. После того как устанавливался устойчивый рабочий режим зерноочистительной машины, производился отбор фракций зернового материала для определения эффективности сепарирования E зернового материала. Исследования влияния на просеиваемость амплитуды колебаний решетного стана как в продольном A_1 , так и в поперечном направлении A_2 и частоты колебаний ω проводились при варьировании значений этих факторов в диапазоне $A_1 = 12...26$ мм, $A_2 = 1...2,8$ мм, частоты $\omega = 3,4...4,8$ Гц [3].

Рисунок 2

Схема лабораторной зерноочистительной машины: 1 – рама, 2 – бункер, 3 – подвеска, 4 – плоский ЛАЭД, 5 – решетный стан, 6 – упругий накопитель энергии (винтовая пружина), 7 – лоток

Результаты исследования. Полученная зависимость эффективности выделения E сорных примесей от частоты колебаний решетного

стана, описываемая адекватной регрессионной моделью (формула 1), показана на рисунке 3.

$$y = -4,7173 \cdot x^2 + 41,661 \cdot x - 12,121 \quad (1)$$

Рисунок 3

Зависимость эффективности выделения E сорных примесей от частоты колебаний решетного стана

Коэффициент детерминации (показатель, отражающий меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными модели) $R^2 = 0,9926$. Регрессионные модели и R^2 для последующих однофакторных опытов показаны на рисунках 4 и 5.

При частоте, равной $4,2 \text{ с}^{-1}$, эффективность выделения E сорных примесей достигает максимума и составляет 91,67 %. При уменьшении частоты колебаний ниже $4,2 \text{ с}^{-1}$ эффективность мала, что связано с тем, что скорость движения

зернового материала не способствует разрыхлению материала и он плохо просеивается. При частоте колебания решетного стана больше $4,2 \text{ с}^{-1}$ слой зернового материала на решетке сильно перемешивается, но не расслаивается и плохо просеивается [7, 10, 11]. Дальнейшие опыты проводились при частоте колебания решетного стана $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$. Зависимость эффективности выделения сорных примесей E от амплитуды колебаний решетного стана в продольном направлении A_1 представлена на рисунке 4. Значение поперечной амплитуды A_1 изменяли в пределах 12...

26 мм (шаг изменения равен 2 мм). Амплитуду колебания A_1 устанавливали по окну осциллографа с учетом необходимого масштабирования,

переводя сигнал изменения напряжения в реальное значение амплитуды решетного стана зерноочистительной машины.

Рисунок 4

Зависимость эффективности выделения E сорных примесей от амплитуды колебаний A_1 решетного стана в продольном направлении

Рисунок 5

Зависимость эффективности выделения E сорных примесей от амплитуды A_2 колебаний решетного стана в поперечном направлении

При увеличении амплитуды продольного колебания эффективность выделения E сорных примесей растет только до определенного значения. Максимальное выделение сорных примесей наблюдалось при амплитуде A_1 , равной 22 мм. При этом значении амплитуды A_1 эффективность E сепарации равна 90,11 %. Дальнейшее уменьшение эффективности E связано с тем, что при увеличении значения продольной амплитуды скорость перемещения зернового материала по решетному стану увеличивается, а следовательно, уменьшается время сепарирования зернового материала, что приводит к переходу в режим транспортирования [5]. При исследовании влияния амплитуды колебания решетного стана в поперечном колебании значение про-

дольной амплитуды установили равным 22 мм, поперечную составляющую A_2 изменяли в пределах от 1 до 2,8 мм с шагом 0,2 мм. Значения продольного перемещения устанавливали на окне осциллографической приставки с учетом соответствующего масштаба. Наличие упорных подпружиненных роликов в зерноочистительной машине позволяет достаточно легко регулировать амплитуду A_2 поперечных колебаний, тем самым изменяя условия проведения опыта. Максимальная эффективность выделения сорных примесей E при проведении данных опытов составляет 91,74 % (рисунок 5) и наблюдалась при значении поперечной амплитуды A_2 , равной 2,2 мм. Как видно из графика, эффективность E возрастает только до определенного значения

амплитуды. При $A_2 > 2,2$ мм она снижается. Это связано с тем, что при увеличении амплитуды поперечных колебаний решетного стана (более чем ширина перемычек плоско-пробивного решета) происходит дезориентирование зернового материала, находящегося на решетке, что вызывает его неконтролируемое сгуживание и, как следствие, снижение эффективности сепарации E .

Далее были проведены многофакторные опыты с двумя варьируемыми параметрами (A_1A_2 , $A_1\omega$ и $A_2\omega$). Анализ полученных результатов при изменении продольной A_1 и поперечной A_2 амплитуд колебания решета показал, что наибольшее влияние на эффективность сепарирования E зернового материала оказывает амплитуда продольных колебаний A_1 . В то же самое время поперечные колебания позволяют повысить эффективность сепарации E в пределах 2...5 %, что оказывает положительный эффект на процесс в целом и позволяет в большинстве случаев получить качественное продовольственное зерно [9] за один проход зернового материала через воздушно-решетную машину. Максимальная эффективность сепарирования E составила 91,82 % при следующих значениях амплитуд: продольных $A_1 = 20$ мм; поперечных $A_2 = 2,5$ мм.

Анализируя полученные результаты при одновременном изменении продольной амплитуды A_1 и частоты колебания ω решета, можно сделать вывод о том, что, как и в предыдущем опыте, наибольшее влияние на эффективность сепарации E оказывает частота колебания ω решетного стана. Максимальная эффективность E выделения сорных примесей наблюдается при $A_1 = 20$ мм и $\omega = 4,2$ и составляет 91,50 %. Согласно полученным результатам, при изменении поперечной амплитуды A_2 и частоты ω колебания решетного стана частота ω колебания ре-

шета оказывает большее влияние на эффективность сепарирования E зернового материала, чем амплитуда колебаний A_2 в поперечном направлении. Однако при достижении амплитуды A_2 , равной 2,0 мм, эффективность сепарирования E значительно увеличивается. При значениях поперечной амплитуды A_2 свыше 2,0 мм эффективность выделения сорных примесей E снижается, т. к. при увеличении амплитуды A_2 происходит дезориентирование зернового материала, находящегося на решетке, что вызывает его неконтролируемое сгуживание и, как следствие, снижение эффективности сепарирования E .

Выводы. Проведены однофакторные и многофакторные опыты по исследованию влияния кинематических параметров продольно-поперечных колебаний решетного стана зерноочистительной машины на полноту разделения зернового материала от сорных примесей. По результатам и анализам проведенных опытов можно сделать общий вывод о том, что поперечное колебание решетного стана оказывает положительный эффект на процесс очистки зернового материала, повышая эффективность выделения сорных примесей E в среднем на 2...7 % (в зависимости от значения амплитуды поперечных колебаний A_1), что позволит производить очистку зернового материала от сорных примесей за один проход. Оптимальными кинематическими параметрами продольно-поперечных колебаний решетного стана зерноочистительной машины, при которых наблюдается наилучшие показатели эффективности выделения сорных примесей E из исходного зернового материала, являются следующие значения: частота колебания решетного стана $\omega = 4,2$ с⁻¹; амплитуда продольных колебаний $A_1 = 20$ мм; амплитуда поперечных колебаний $A_2 = 2$ мм.

Библиографический список

1. Аипов, Р.С. Линейные электрические машины и линейные асинхронные электроприводы технологических машин [Текст]: монография / Р.С. Аипов, А.В. Линенко. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. 308 с.
2. Линенко, А.В. Линейные асинхронные электроприводы сложного колебательного движения для технологических машин АПК [Текст]: учебник / А.В. Линенко. Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. 184 с.
3. Линенко, А.В. Анализ работы привода решетного стана экспериментальной зерноочистительной установки с использованием линейного электродвигателя [Текст] / А.В. Линенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. Ульяновск: УГСХА, 2012. № 2 (18). С. 97–101.
4. Мударисов, С.Г. Совершенствование технологических линий для послеуборочной обработки зерна в хозяйствах [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов // Материалы XLVII Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И.Е. Ульямана. Челябинск, 2008. С. 28–33.
5. Мударисов, С.Г. Модернизация технологических линий переработки зерна с учетом хозяйственных условий [Текст] / С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов, И.Д. Бадретдинов, А.В. Акбатыров, И.М. Фархутдинов // Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (в рамках XIX Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2009»,

3–5 марта 2009 г.). Ч. I. Уфа: Башкирский ГАУ. С. 122–126.

6. Сепарирующая машина [Текст]: патент на изобретение № 2576460 RU A 01 F 12/44 / А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров, В.Г. Байназаров, Т.И. Камалов. № 2015106203/13; заявл. 24.02. 2015; опубл. 10.03.2016, бюл. № 7. 8 с.

7. Тарасенко, А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян [Текст]: учеб. пособие / А.П. Тарасенко. М.: КолосС, 2008. 232 с.

8. Туктаров, М.Ф. Импульсный режим работы линейного электропривода зерноочистительной машины [Текст] / М.Ф. Туктаров, Ш.Ф. Сираев, В.Г. Байназаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (41). С. 69–73.

9. Шевцов, И.В. Обоснование конструктивно-кинематических параметров решетных

станов с уменьшающейся амплитудой колебаний по длине [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Игорь Викторович Шевцов. Курган, 2007. 175 с.

10. Gabitov I., Badretdinov I., Mudarisov S., Khasanov E., Lukmanov R., Nasyrov R., Tuktarov M., Atmagulov D., Timeriashev I., Pavlenko V. Modeling the Process of Heap Separation in the Grain Harvester Cleaning System. J. Engineering and Applied Sciences. 2018. Т. 13. № S8. С. 6517–6526.

11. Yarullin, R. Adjustable Driver of Grain Cleaning Vibro-Machine with Vertical Axis of Eccentric Masses Rotation / R. Yarullin, R. Aipov, I. Gabitov, A. Linenko, S. Akchurin, R. Safin, S. Mudarisov, E. Khasanov, Z. Rakhimov, Z. Rakhimov and I. Masalimov // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. № 13. Р. 6398–6406.

Сведения об авторах

1. **Кабашов Владимир Юрьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и технологического оборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: Kabashov@bk.ru.

2. **Туктаров Марат Фанисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: Marat.TukZar@yandex.ru.

3. **Байназаров Валинур Галинурович**, аспирант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: Baynazv@mail.ru.

В статье рассматривается лабораторная зерноочистительная машина с решетным станом продольно-поперечного колебания. Определены оптимальные кинематические параметры

решетного стана, при которых наблюдаются наилучшие показатели эффективности сепарирования зернового материала.

V. Kabashov, M. Tuktarov, V. Baynazarov

EXPERIMENTAL STUDY OF GRAIN CLEANER WITH A LONGITUDINAL-TRANSVERSE VIBRATION SIEVE PAN

Key words: grain cleaner; longitudinal-transverse oscillation; sieve pan; completeness of separation; efficiency.

Authors' personal details

1. **Kabashov Vladimir**, Doctor of technical sciences, professor of the Life safety and technological equipment department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: Kabashov@bk.ru.

2. **Tuktarov Marat**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Electric machines and electrical equipment department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: Marat.TukZar@yandex.ru.

3. **Baynazarov Valinur**, Post-graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: Baynazv@mail.ru.

The paper studies a laboratory grain cleaner with a longitudinal-transverse vibration sieve pan. There are found optimal kinematic parameters of

the sieve pan with the highest separation efficiency of grain material.

© Кабашов В.Ю., Туктаров М.Ф., Байназаров В.Г.