УДК 62-881:51-74

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-47-3-68-73

А.В. Линенко, Б.Р. Халилов

ПРОГРЕССИВНЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Ключевые слова: *вибрация; механические колебания; вторичный элемент; очистка; зерно; рабочий орган; линейный двигатель; индуктор.*

Одной из важнейших и ответственных задач организаций и предприятий системы сельского хозяйства является обеспечение полной сохранности убранного зерна. Для успешного решения этой задачи зерноперерабатывающие предприятия должны иметь хорошо оснащенную техническую базу, способную обеспечить качественное сепарирование поступающего зерна без потерь и в течение короткого срока. Причем затраты на послеуборочную обработку и хранение зерна составляют от 40 до 60 % общих затрат на его обработку [11, 12]. Мерами снижения энерго- и трудоемкости этого процесса являются комплексная механизация и автоматизация с применением более рациональных технологи-

ческих схем сепарирования. Однако низкая удельная производительность существующих сепарирующих машин, преимущественно использующих гравитационные поля, затрудняет внедрение в производство указанных мероприятий. Возрастающие потребности производства требуют изыскания новых наиболее эффективных способов сепарирования и создания высокопроизводительных машин, которые позволили бы значительно интенсифицировать технологические процессы [15]. Для успешной очистки зерновой смеси большое значение имеет правильный выбор зерноочистительной машины. Наиболее перспективными на зерноприемных предприятиях зерноочистительными

машинами являются виброцентробежные зерновые сепараторы (ВЦС), в которых под действием инерционных сил вращательного и колебательного движения происходит интенсивное сепарирование зерновой смеси. Рабочими органами ВЦС являются вращающиеся и колеблющиеся в вертикальной плоскости вертикальные цилиндрические решета с центробежной подачей в них зернового материала [11].

Решению задач сепарирования во вращающемся и колеблющемся вдоль оси решетке посвящены работы Е.С. Гончарова [6, 7], А.И. Бочкарева [3, 4], А.В. Барилла [2], Б.Н. Мельникова [12], А.А. Несикова [13], Я.И. Лейкина [8, 9] и др. Ими были предложены конструкции виброцентробежных сепараторов с осевыми колебаниями. Сообщение осевых колебаний решетке позволяет значительно повысить производительность и эффективность процесса разделения по сравнению с разделением при применении плоских решет, совершающих прямолинейные колебания. Однако существующие конструктив-

ные схемы ВЦС несовершенны и имеют ряд существенных недостатков, основными из которых являются низкая надежность вибрационного привода, отсутствие возможности регулирования параметров колебаний рабочего органа, вследствие чего решета ВЦС не могут обеспечить достаточную пропускную способность и не оказывают технологически оптимального воздействия на обрабатываемый зерновой материал, что в свою очередь приводит к снижению качества процессов сепарирования и потерям зерна [5, 14, 16, 17].

Одним из путей устранения этих недостатков является разработка вибрационного привода зерноочистительной машины на базе плоского линейного асинхронного электродвигателя (ЛАД). Такое техническое решение позволяет устранить указанные недостатки, так как в этом случае значительно упрощается конструкция подшипниковых узлов и облегчаются условия их работы. На рисунке 1 показана кинематическая схема предлагаемой конструкции ВЦС с ЛАД.

Рисунок 1

Кинематическая схема ВЦС с ЛАД: 1 – корпус; 2 – индукторы ЛАД; 3 – решета цилиндрической формы; 4 – лопатки; 5 – цилиндрические дисковые очистители; 6 – разбрасыватель; 7 – кольцо; 8 – ролики; 9 – упругие элементы; 10 – шлицевое соединение; 11 – шкивы; 12 – электродвигатель

Внутри корпуса 1 размещается рабочий орган 3, состоящий из трех ярусов решет цилиндрической формы, которые с помощью электрических приводов получают вращательное и вертикальное вибрационное движения [3, 6, 15].

Электропривод вибрационного движения рабочего органа в вертикальной плоскости пред-

ставляет собой плоский ЛАД, состоящий из нескольких индукторов 2, жестко закрепленных на основании, и кольца 7, подпружиненного относительно основания с помощью роликов 8 и упругих элементов 9. Рабочий орган 3 связан через шлицевое соединение 10 с горизонтально расположенным шкивом 11, который при по-

мощи клиновых ремней получает вращение от шкива 13, закрепленного на валу электродвигателя 12. При вращении шкива 11 рабочий орган сепаратора приводится во вращение вокруг своей вертикальной оси. При подключении индукторов к сети кольцо приходит в поступательное движение в вертикальной плоскости одновременно с вращательным движением, которое передается через шлицевое соединение, при этом сжимаются упругие элементы. При отключении индукторов от сети за счет энергии, накопленной в упругих элементах, кольцо возвращается в исходное состояние [14]. Блок управления в зависимости от вида, сорта и влажности зерновой смеси имеет возможность обеспечивать регулирование параметров колебаний рабочего органа [1, 16] в вертикальной плоскости по частоте и амплитуде с помощью изменения длительности и частоты включения индукторов плоского ЛАД в сеть. Поступающее зерно по лопаткам разбрасывателя 6 под воздействием центробежной силы прижимается к внутренней поверхности решет и перемещается вниз под собственным весом. Вследствие вибрационного движения решет происходит отделение мелких примесей в первом ярусе, затем дробленого зерна во втором. В третьем ярусе через ячейки решет проходит очищенное зерно. Лопатками 4 получаемые фракции транспортируются в выходные зернопроводы. С целью автоматической очистки решет от примесей и зерна на каждом ярусе установлены цилиндрические дисковые очистители 5 [6].

Создание вибрационного электропривода ВЦС зернового сепаратора с ЛАД за счет непосредственного преобразования электрической энергии в вибрационное движение рабочего органа позволяет отказаться от механического преобразователя вида движения. По сравнению с существующими конструкциями ВЦС за счет уменьшения установленной мощности вибрационного привода снижается расход электроэнергии, уменьшаются массогабаритные показатели [10]. Также возможность регулирования пара-

метров колебаний рабочего органа в зависимости от сорта и влажности семян повышает эффективность сепарирования зерновой смеси, увеличивает сроки межсервисных интервалов обслуживания вибрационного привода.

Дальнейшее повышение эффективности описанного технического решения возможно с помощью выполнения в роторе плоского ЛАД (кольце) симметричных сквозных отверстий (рисунки 2а, 2б). Это позволит отказаться от сложного и дорогого блока управления, который в процессе работы ВЦС периодически подключает и отключает индукторы ПЛАД от сети, что сопровождается большими пусковыми токами в обмотках индуктора и снижает надежность вибрационного привода. Выполнение симметричных сквозных отверстий на кольце 7, которое одновременно является ротором ЛАД, позволяет не отключать индукторы ЛАД от сети в процессе работы ВЦС, т. е. они подключены к сети постоянно. Кольцу 7 через шлицевое соединение 10 (рисунок 1) сообщается вращательное движение от двигателя вращения 12. В момент вращения, когда часть кольца без отверстий располагается напротив индукторов ЛАД (рисунок 2б), возникает электромагнитная сила, под действием которой кольцо приходит в поступательное движение, к примеру, вниз в вертикальной плоскости. При этом упругие элементы 9, расположенные под кольцом, сжимаются. По мере вращения кольца 7 наступает момент, при котором симметрично расположенные отверстия 13 кольца находятся напротив индукторов ЛАД (рисунок 2б), при этом электромагнитное поле пропадает, и за счет энергии, накопленной в упругих элементах, кольцо возвращается в исходное состояние, продолжая при этом совершать вращательное движение. Далее в момент, когда напротив индукторов будут проходить части кольца без отверстий, кольцо снова придет в поступательное движение, и описанный процесс повторится. Частота колебаний рабочего органа будет определяться количеством отверстий на кольце и его частотой вращения.

Рисунок 2

а – общий вид вибрационного привода; б – положения вторичного элемента во время работы ВЦС:
2 – индукторы ЛАД; 7 – кольцо; 8 – ролики; 9 – упругие элементы; 13 – сквозные отверстия

Рисунок 3

а – кинематическая схема ВЦС с ПЛАД; б – положение секции в момент ее нахождения в электромагнитном поле индукторов ЛАД: 1 – рабочий орган; 2 – индукторы ЛАД; 3 – электродвигатель; 4, 9 – шкив; 5 – шлицевое соединение; 6 – секции рабочего органа; 7 – разбрасыватели; 8 – диск; 10 – упругие элементы; 11 – направляющие; 12 – входной патрубок; 13 – веялка; 14 – секции ротора

Предлагаемое техническое решение позволит осуществить вибрационное движение рабочего органа ВЦС от ПЛАД без блока его периодического подключения и отключения от сети, что позволит значительно снизить стоимость и материалоемкость всей конструкции и повысит ее надежность.

Следующее техническое решение позволит снизить установленную мощность, динамические нагрузки на отдельные элементы вибрационного привода и на всю конструкцию в целом. Для этого предлагается рабочий орган с ротором вдоль оси вращения разделить на подвижные относительно друг от друга секции (рисунок 3а). В данном техническом решении электромагнитная сила передается от индукторов ПЛАД не одновременно всему ротору, а только нескольким секциям, на которые разделены ротор (кольцо) с

рабочим органом. По мере вращения ротора электромагнитная сила от индукторов будет по очереди передана каждой секции ротора, связанной со своей секцией рабочего органа, которая находится напротив индукторов ПЛАД (рисунок 3б). Индукторы ПЛАД во время работы ВЦС подключены к сети постоянно. Такое решение позволит снизить динамические нагрузки на упругие элементы, снизить инерционные нагрузки на фундамент станины, снизить установленную мощность ВЦС и повысить надежность всей установки в целом.

Данное решение дает широкие возможности регулирования параметров колебаний рабочего органа, повышения энергетической и технологической эффективности, открывает дальнейшие перспективы повышения эффективности сепарирования ВЦС.

Библиографический список

1. Аипов, Р.С. Линейные электрические машины и линейные асинхронные электроприводы технологических машин [Текст]: учебное пособие / Р.С. Аипов, А.В. Линенко // М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Башк. гос. аграр. ун-т. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. 306 с.
2. Барилл, А.В. Исследование вертикального центробежно-вибрационного решета на очистке зернового вороха [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Барилл. Ленинград-Пушкин, 1963. 24 с.
3. Бочкарев, А.И. Исследование сепарации семян виброцентрифугированием [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А.И. Бочкарев. Волгоград, 1970. 52 с.
4. Бочкарев, А.И. Вибрационное центрифугирование зерновых смесей [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.И. Бочкарев. Саратов, 1958. 18 с.
5. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин [Текст]: учебник / А.С. Гольдин. М.: Машиностроение, 1999. 344 с.

6. Гончаров, Е.С. Исследование процесса сепарации зерновых материалов центробежно-вибрационными решетками [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.С. Гончаров; УАСХ. 1964. 38 с.

7. Гончаров, Е.С. О подобии кинематических режимов работы плоских и вертикальных цилиндрических виброцентробежных решет [Текст] / Е.С. Гончаров // Труды ВНИИЗ. 1973. Вып. 78. С. 47–54.

8. Лейкин, Я.И. К теории работы центробежной сортировки [Текст] / Я.И. Лейкин // Труды ВНИИЗ. 1951. Вып. 23. С. 99–108.

9. Лейкин, Я.И. К решению проблемы сортирования сыпучих материалов [Текст] / Я.И. Лейкин // Механика и расчет машин вибрационного типа. М., 1957. С. 37–59.

10. Линенко, А.В. Энергоэффективный вибрационный привод виброцентробежного зернового сепаратора с линейным электродвигателем [Текст] / А.В. Линенко, Б.Р. Халилов, Т.И. Камалов // Достижения науки и инновации для аграрного производства. Материалы национальной научной конференции. Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. С. 217–220.

11. Линенко, А.В. Экспериментальная установка виброцентробежного зернового сепаратора на базе линейного электродвигателя [Текст] / А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров, Б.Р. Халилов // Инновационные направления развития энергетики АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 40-летию факультета энергетики и электрификации. 2017. С. 80–83.

12. Мельников, Б.Н. Исследование процесса разделения зерновой смеси на подсевных центробежных решетках [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.Н. Мельников. Зерноград, 1971. 27 с.

13. Несиков, А.А. Исследование процесса очистки семян зерновых культур от длинных примесей в виброцентробежном сепараторе [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Несиков. Челябинск, 1982. 207 с.

14. Патент 2624702, Российская Федерация, Вибрационная центрифуга / А.В. Линенко, Ю.А. Линенко, Б.Р. Халилов, М.Ф. Туктаров; заявитель и патентообладатель Башкирский гос-й аграрный ун-т, 09.03.2016 г. 4 с.: ил.

15. Тищенко, Л.Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов [Текст]: монография / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, М.В. Пивень, С.А. Харченко, В.В. Бредихин, А.В. Мандрыка. Харьков: ХНТУСХ, Миськдрук, 2010. 360 с.

16. Халилов, Б.Р. Вибрационная центрифуга с линейным асинхронным электроприводом [Текст] / Б.Р. Халилов, Ю.А. Линенко // Наука молодых – инновационному развитию АПК. Материалы Международной молодежной научно-практической конференции. 2016. С. 127–131.

17. Халилов, Б.Р. Вибрационный привод зернового сепаратора на базе линейного электродвигателя [Текст] / Б.Р. Халилов, И.З. Лукманов, А.А. Халисов // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. Уфа: Башкирский ГАУ, 2017. С. 367–370.

Сведения об авторах

1. **Линенко Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, e-mail: linenko-bsau@yandex.ru.

2. **Халилов Булат Радикович**, аспирант кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: 79373565758@mail.ru.

В статье рассмотрены конструкции вибрационного привода виброцентробежных зерновых сепараторов, возможности повышения их энергетической и технологической эффективности. Кинематические схемы вибрационных приводов построены на базе линейного асинхронного

электропривода. Данные решения дают широкие возможности регулирования параметров колебаний рабочего органа, повышения энергетической и технологической эффективности и открывают дальнейшие перспективы повышения эффективности сепарирования.

A. Linenko, B. Khalilov

PROGRESSIVE WAYS TO IMPROVE VIBROCENTRIC SEPARATORS

Key words: vibration; mechanical oscillation; a secondary element; cleaning; grain; working body; linear motor; inductor.

Authors' personal details

1. **Linenko Andrey**, Doctor of technical sciences, professor of the Electrical Machines and Electrical Equipment department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Oktiabria st., 34, e-mail: linenko-bsau@yandex.ru.

2. **Khalilov Bulat**, Post-graduate of the Electrical Machines and Electrical Equipment department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Oktiabria st., 34, e-mail: 79373565758@mail.ru.

The paper describes designs of vibration drive for vibration-center grain separators, ways to improve their energy and technological efficiency. Kinematic schemes of vibration drives are built on the basis of a linear asynchronous electric drive.

These solutions provide wide opportunities to regulate parameters of the working body fluctuations, to improve energy and technological efficiency and to provide further prospects to improve the separation efficiency.

© Линенко А.В., Халилов Б.Р.

ных экранов можно увеличить сумму активных элементов [5-7].