

Повышение энергоэффективности линейного асинхронного электропривода решётного стана зерноочистительной машины

А.В. Линенко, д.т.н., профессор, М.Ф. Туктаров, к.т.н., В.Г. Байназаров, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ; А.А. Сорочкин, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

В настоящее время во многих исследованиях большое внимание уделяется совершенствованию конструкций приводов зерноочистительных машин для повышения технико-экономических и энергетических показателей работы последних [1–5].

Одним из путей повышения энергоэффективности привода рабочих органов решётных зерноочистительных машин является применение линейного асинхронного двигателя (ЛАД), позволяющего преобразовывать электрическую энергию непосредственно в колебательное движение рабочего органа. В этом случае происходит слияние элементов ЛАД и решётного стана, что исключает использование каких-либо приводных механизмов. Установка упругих элементов в подвижной части ЛАД позволяет реализовать энергоэффективный электропривод колебательного движения, при этом поступательное движение осуществляется под действием электромагнитного поля ЛАД, а обратное – за счёт запасённой потенциальной энергии в упругих элементах. Поэтому для реализации колебательного движения вторичного элемента ЛАД, а следовательно, и решётного стана, необходимо обеспечить периодичность подключения ЛАД к источнику питания.

Цель исследования – повышение энергоэффективности линейного асинхронного электропривода решётного стана зерноочистительной машины.

Материал и методы исследования. В процессе работы электропривода зерноочистительной машины на основе плоского ЛАД (один из видов ЛАД) решётный стан совершает колебательное движение по сложной траектории за счёт одновременного возникновения в ЛАД двух перпендикулярных друг к другу сил (сила тяги F_t и сила притяжения F_n), что в результате благоприятно влияет на ориентирующую способность зернового материала, находящегося на решётном стане [1, 3, 6].

Отсутствие каких-либо приводных механизмов в линейном асинхронном электроприводе решётного стана (ЛАЭП РС), за исключением самого ЛАД, приводит к появлению недостатка, заключающегося во влиянии на параметры колебательного движения решётного стана (максимальное ускорение РС a и перемещение x) изменения удельной нагрузки на решето q . Изменение параметров колебательного движения РС приводит к изменению эффективности сепарирования зерна [3, 6].

Вышеуказанная проблема решается путём использования системы управления ЛАЭП РС,

позволяющей в динамическом режиме самостоятельно анализировать и принимать решение по управлению электроприводом для поддержания с достаточной точностью заданного значения максимального ускорения РС $a > 10 \text{ м/с}^2$ [2]. Между тем при работе ЛАД в автоколебательном режиме (рис. 1), характеризующегося постоянной работой ЛАД в режиме противовключений из-за малой амплитуды колебания A решётного стана и сообщаемого ускорения a , наблюдается перегрев обмоток индуктора ЛАД (температура свыше $t = 105^\circ\text{C}$). Данный факт сопровождается большим потреблением электроэнергии и сокращением эксплуатационного срока службы ЛАД, что в свою очередь является сдерживающим фактором достижения высоких показателей энергоэффективности ЛАЭП зерноочистительной машины [7].

Из-за необходимости применения микроконтроллера (МК) для аппаратной реализации вышеописанной системы управления ЛАЭП РС появляется возможность решения проблемы с перегревом обмоток индуктора ЛАД за счёт использования импульсного режима работы электропривода зерноочистительной машины, при котором индуктор ЛАД подключается на короткий интервал времени к источнику питания в момент прекращения движения РС в одном из направлений движений [3, 6]. На рисунке 2 представлена предлагаемая функциональная схема импульсного режима работы ЛАЭП РС зерноочистительной машины.

Для подтверждения предложенной на рисунке 2 функциональной схемы импульсного режима работы ЛАЭП РС зерноочистительной машины предложено провести экспериментальные исследования на сеяночистителе МВР-2 (СУ-0, 1) с использованием блока управления линейного электропривода, собранного с применением современных

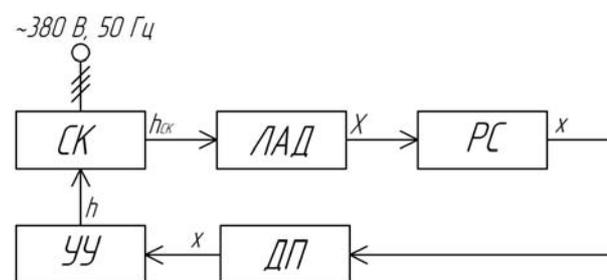


Рис. 1 – Функциональная схема автоколебательного режима работы ЛАЭП РС зерноочистительной машины:

СК – симисторный коммутатор; УУ – устройство управления; ДП – аналоговый датчик положения; $h_{ск}$ – периодический сигнал, питающий ЛАД; x – перемещение вторичного элемента ЛАД; x – перемещение РС; h – сигнал, управляющий СК

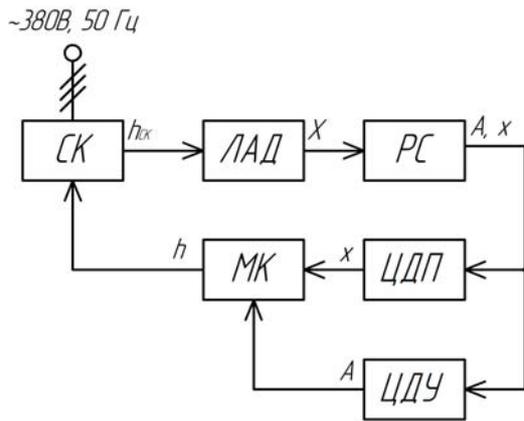


Рис. 2 – Функциональная схема импульсного режима работы ЛАЭП РС зерноочистительной машины:

СК – симисторный коммутатор; ЦДП – цифровой датчик положения; ЦДУ – цифровой датчик ускорения; $h_{пк}$ – периодический сигнал, питающий ЛАД; X – перемещение вторичного элемента ЛАД; A, x – соответственно ускорение и перемещение РС; h – сигнал, управляющий СК

электронных компонентов [8]. В модернизированном сеяноочистителе совокупная площадь решёт остаётся неизменной.

Результаты исследования. По полученным результатам экспериментального исследования построены зависимости мощности ЛАД P от коэффициента жёсткости упругих элементов $P=f(C_1)$ при неизменной амплитуде A колебаний, длительности $t_{длит}$ подключённого состояния ЛАД к источнику питания, частоте колебаний РС $f_{кол.р.с.}$ и сохранении траектории сложного движения решётного стана.

Согласно приведённой зависимости $P=f(C_1)$ на рисунке 3 при увеличении коэффициента C_1 потребляемая ЛАД мощность P возрастает и при установке на сеяноочиститель линейного асинхронного двигателя. При этом потребляемая мощность составляет $P=600$ Вт, коэффициент жёсткости упругих элементов – $C_1=700$ Н/м (при $C_1=700$ Н/м достигается максимальный КПД линейного электродвигателя).

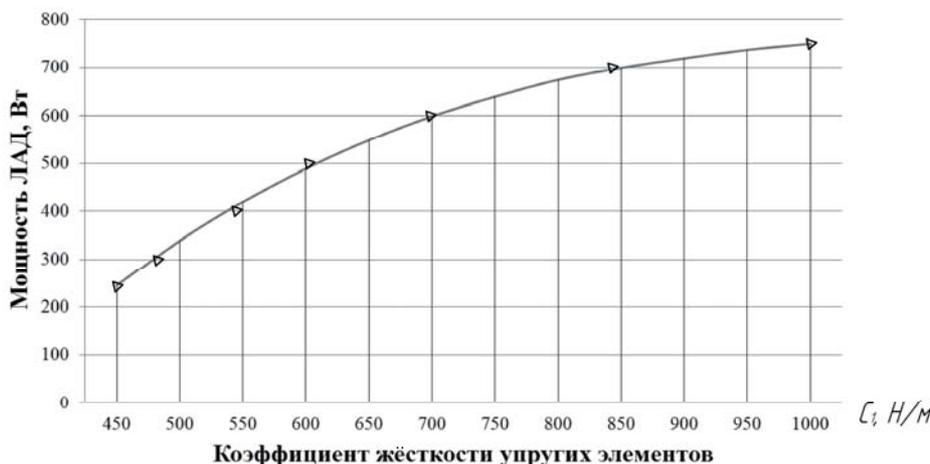


Рис. 3 – Зависимость мощности ЛАД от коэффициента жёсткости упругих элементов $P=f(C_1)$

На рисунке 4 представлена экспериментальная зависимость мощности ЛАД P от производительности Q сеяноочистителя $P=f(Q)$. Зависимость $P=f(Q)$ позволяет оценить мощность ЛАД, необходимую для вновь проектируемого ЛАЭП решётного стана зерноочистительной машины. Согласно зависимости $P=f(Q)$ при потребляемой мощности ЛАД $P=600$ Вт производительность сеяноочистителя составила $Q=726$ кг/ч, производительность серийного сеяноочистителя МВР-2 (СУ-0,1) – $Q=500$ кг/ч (пшеница).

Для оценки энергетического КПД при импульсном режиме работы ЛАЭП РС по результатам экспериментального исследования построены зависимости энергетического КПД линейного электродвигателя $\eta_{энерг}$ от удельной нагрузки на решето q при разных значениях коэффициента жёсткости упругих элементов $\eta_{энерг}=f(q, C_1)$ для автоколебательного и импульсного режимов (рис. 5). Энергетический КПД является произведением $\cos\varphi=0,75$ (за счёт компенсации реактивной мощности) и КПД линейного электродвигателя. КПД линейного электродвигателя $\eta_{ЛАД}$ определяется как соотношение интегралов приобретённой системой механической энергии E на потребляемую электроэнергию W за один период (τ) колебания решётного стана:

$$\eta_{ЛАД} = \frac{\int_0^{\tau} E}{\int_0^{\tau} W}$$

По представленным зависимостям на рисунке 5 видно, что максимальный энергетический КПД $\eta_{энерг}$ при импульсном режиме работы ЛАЭП РС сеяноочистителя $\eta_{энерг}=0,54$, а в случае работы последнего в автоколебательном режиме энергетический КПД $\eta_{энерг}=0,43$.

С целью экспериментального подтверждения выдвинутой гипотезы о возможности решения проблемы с перегревом обмоток индуктора ЛАД проведено испытание на нагревание (рис. 6) одного из изготовленных ЛАД ($P=600$ Вт) в соответствии с

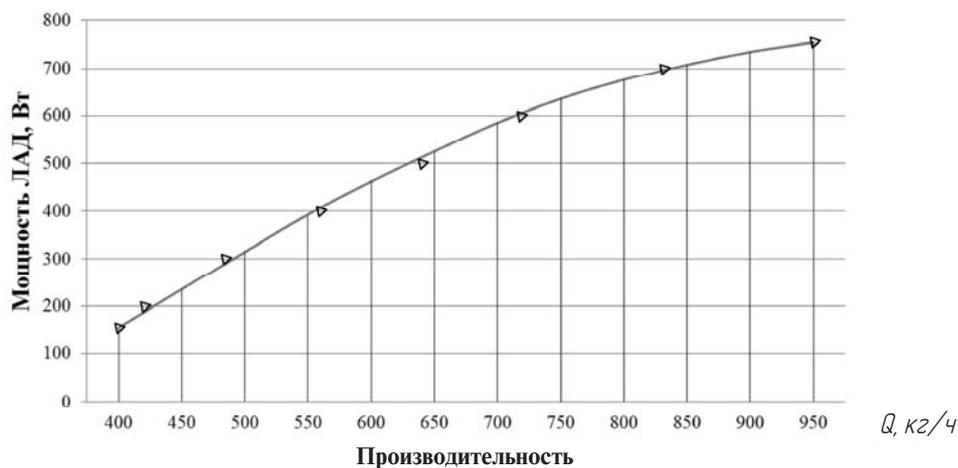


Рис. 4 – Зависимость мощности ЛАД от производительности сеяноочистительной машины $P=f(Q)$

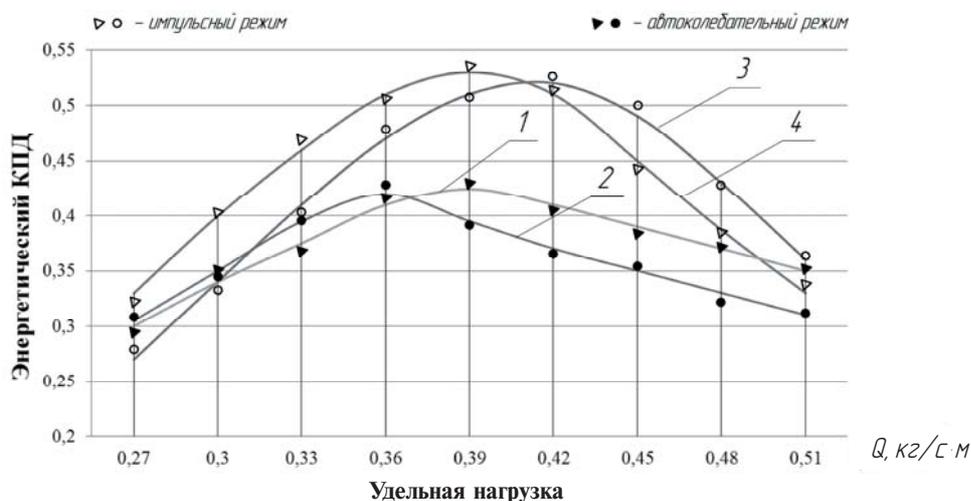


Рис. 5 – Зависимость энергетического КПД от удельной нагрузки при разных значениях коэффициента жёсткости $\eta_{энерг} = f(q, C_1)$:
 1, 4 – при коэффициенте жёсткости упругих элементов $C_1 = 700 \cdot \text{Н/м}$; 2, 3 – при коэффициенте жёсткости упругих элементов $C_1 = 800 \cdot \text{Н/м}$.

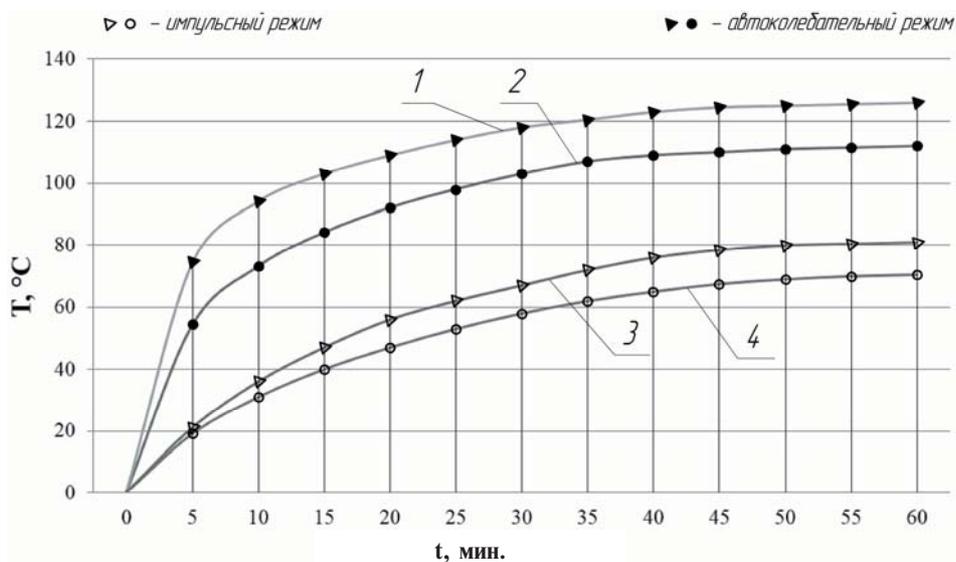


Рис. 6 – Кривые нагрева ЛАД зерноочистительной машины:
 1, 3 – при частоте включения ЛАД $n = 3 \text{ Гц}$; 2, 4 – при частоте включения ЛАД $n = 2 \text{ Гц}$

ГОСТом IEC 60034-1-2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики». Обмотки линейного электродвигателя соответствуют классу изоляции *A* (допустимая температура нагрева составляет $T=105^{\circ}\text{C}$).

Анализируя полученные кривые нагрева ЛАД зерноочистительной машины, можно сделать заключение о том, что при частоте включения ЛАД, работающего в автоколебательном режиме, $\nu=2-3$ Гц и его охлаждении естественным способом, после $t=40$ мин. с момента начала измерения температура обмоток линейного электродвигателя достигает $T=110^{\circ}\text{C}$ ($\nu=2$ Гц) и $T=123^{\circ}\text{C}$ ($\nu=3$ Гц). В импульсном режиме температура обмоток электродвигателя составляет $T=64^{\circ}\text{C}$ ($\nu=2$ Гц) и $T=76^{\circ}\text{C}$ ($\nu=3$ Гц). После часа работы ЛАД в автоколебательном режиме температура обмоток электродвигателя повышается до $T=112^{\circ}\text{C}$ ($\nu=2$ Гц) и $T=128^{\circ}\text{C}$ ($\nu=3$ Гц), что превышает допустимую температуру нагрева обмоток ЛАД. В импульсном же режиме работы температура повышается только до $T=72^{\circ}\text{C}$ ($\nu=2$ Гц) и $T=81^{\circ}\text{C}$ ($\nu=3$ Гц).

Выводы.

1. Сравнительное исследование нагрева обмоток ЛАД между двумя режимами работы ЛАЭП РС показало, что при импульсном режиме работы электропривода РС обмотка ЛАД нагревается через час до $T=72^{\circ}\text{C}$ ($\nu=2$ Гц) и $T=81^{\circ}\text{C}$ ($\nu=3$ Гц), при автоколебательном режиме – до $T=112^{\circ}\text{C}$ ($\nu=2$ Гц) и $T=128^{\circ}\text{C}$ ($\nu=3$ Гц), что говорит о том, что первый режим удовлетворяет, второй – не удовлетворяет условию нагрева обмоток ЛАД не выше допустимого значения, равного $T=105^{\circ}\text{C}$.

2. Установлено, что при использовании импульсного режима работы ЛАЭП РС максимальный энергетический КПД $\eta_{\text{энерг}}=0,54$. При автоколебательном режиме максимальный энергетический КПД $\eta_{\text{энерг}}=0,43$.

3. При использовании импульсного режима повышается энергоэффективность ЛАЭП РС зерноочистительной машины.

Литература

1. Аипов Р.С., Акчурин С.В., Пугачев В.В. Математическая модель вибропривода с линейным асинхронным двигателем // Электротехнические и информационные системы. 2015. № 1. Т. 1. С. 58–63.
2. Аипов Р.С., Кафиев И.Р. К вопросу о надёжности электроприводов сельскохозяйственных машин // Матер. Междунар. науч.-практич. конф. в рамках XXVI Междунар. специализир. выставки «Агрокомплекс-2016». Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. С. 3–6.
3. Аипов Р.С. Электропривод // Конспект лекций. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. С. 3–6.
4. Линенко А.В., Акчурин С.В., Туктаров М.Ф. Энергетические показатели линейного электропривода решётного стана зерноочистительной машины // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. № 1. С. 28–32.
5. Туктаров М.Ф. Электропривод решётного стана зерноочистительной машины на базе плоского линейного асинхронного электродвигателя : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2013. 22 с.
6. Линенко А.В., Туктаров М.Ф., Байназаров В.Г. Анализ импульсного режима работы линейного электропривода зерноочистительной машины // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 3 (39). С. 148–153.
7. Юхин Д.П., Бакуров А.М., Сахаутдинов И.И. Энергоэффективный агротуристический комплекс // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий: матер. междунар. науч.-практич. конф., провод. в рамках XIV Российского энергетического форума. Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. С. 76–81.
8. Кафиев И.Р., Романов П.С., Романова И.П. К вопросу нечёткого управления электроприводами сельскохозяйственных интеллектуальных роботов // Российский электронный научный журнал. Уфа: Башкирский ГАУ. URL: <http://journal.bsau.ru/numbe4-2017.php>. (Дата обращения:13.03.2018).