

УДК 62-881:51-74

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНЕРЦИОННОГО КОНВЕЙЕРА СО ЗВЕНОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАЗГОНА ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Линенко Андрей Владимирович
к.т.н., доцент, декан энергетического факультета, доцент кафедры электрических машин и электрооборудования

Акчурин Салават Вагимович
(Akchurin.sw@yandex.ru)
ассистент кафедры электрических машин и электрооборудования

Туктаров Марат Фанисович
ассистент кафедры электрических машин и электрооборудования
Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

Целью работы является повышение эффективности работы инерционного конвейера путем применения звена предварительного разгона линейного асинхронного электропривода (ЛАЭП). Одной из задач является построение математической модели и ее исследование. В ходе работы выбрана конструкция ЛАЭП со звеном предварительного разгона, согласована ее установка на инерционном конвейере. Создана математическая модель и проведены ее исследования. Результаты исследований подтверждают повышение эффективности работы конвейера

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ИНЕРЦИОННЫЙ КОНВЕЙЕР, ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЗВЕНО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАЗГОНА

UDC 62-881:51-74

MATHEMATICAL MODEL OF THE INERTIAL CONVEYOR WITH THE LINK OF PREACCELERATION OF THE LINEAR INDUCTION ELECTRIC DRIVE

Linenko Andrey Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., associate professor, Dean of the Energy department, associate professor of Electrical machines and electrical equipment chair

Akchurin Salavat Vagimovich
(Akchurin.sw@yandex.ru)
assistant of the Electrical machines and electrical equipment chair

Tuktarov Marat Fanisovich
assistant of the Electrical machines and electrical equipment chair
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

The purpose of work is increasing the efficiency of the inertial conveyor by applying the link of preacceleration of the linear induction electric drive (LIED). One of the tasks is creation a mathematical model and its research. LIED design with the link of preliminary dispersal was chosen during the work, its installation coordinated on the inertial conveyor. The mathematical model created and its researches conducted. The results of the researches confirm the increasing of the efficiency of the inertial conveyor

Keywords: MATHEMATICAL MODEL, INERTIAL CONVEYOR, LINEAR INDUCTION ELECTRIC DRIVE, LINK OF PREACCELERATION

Инерционные конвейеры широко применяются в различных отраслях народного хозяйства: в перерабатывающей, пищевой, горнорудной, металлургической промышленности, в сельском хозяйстве и т.п. Однако эксплуатация современных инерционных конвейеров сопряжена с трудностями, вызванными наличием в электроприводе сложного механического преобразователя вращательного движения в возвратно-поступательное.

В связи с этим ранее были попытки повышения эффективности работы инерционного конвейера, исключив преобразователи вида движения, путем применения линейного асинхронного электропривода (ЛАЭП).

Однако техническое решение предусматривает работу линейного асинхронного двигателя (ЛАД) в режиме частого пуска и отключения. Каждый пуск сопровождается переходными процессами: длительными пусковыми токами, рывками и большими динамическими нагрузками, что негативно влияет на эффективность работы инерционного конвейера.

В качестве решения данных недостатков авторами предлагается применение в инерционном конвейере звена предварительного разгона ЛАЭП.

Исходя из этого, сформулирована **цель работы**: повышение эффективности работы инерционного конвейера путем применения звена предварительного разгона ЛАЭП.

Для достижения сформулированной цели в работе поставлены **задачи**, одной из которых является разработать математическую модель инерционного конвейера на базе ЛАЭП со звеном предварительного разгона, позволяющую определить зависимости параметров колебаний транспортирующего лотка от режимов работы ЛАЭП.

Существующие способы снижения пусковых токов асинхронных двигателей вращения основаны на четырех основных принципах: понижение напряжения питания, повышение сопротивления обмотки ротора, уменьшение скорости магнитного поля, предварительный разгон ротора.

Пуск понижением напряжения и пуск повышением сопротивления обмотки ротора приводят к росту скольжения, и тем самым - к дополнительным потерям энергии [3], а изменение частоты источника питания требует значительного повышения стоимости установки.

По аналогии с двигателями вращения, из перечисленных традиционных способов снижения пусковых токов наиболее простым и эффектив-

ным способом применимым в приводе с ЛАД является предварительный разгон вторичного элемента, что легко осуществляется при помощи пружин действующих как накопители механической энергии: пружина взаимодействует с вторичным элементом, движущимся по инерции, тормозит его; сжимаясь, накапливает потенциальную энергию, затем, разжимаясь, разгоняет вторичный элемент в обратном направлении [1,2].

Однако данный способ применения упругих накопителей механической энергии не позволяет полностью устранить «обратное транспортирование» груза и проблему пусковых токов, что препятствует широкому применению линейного электропривода возвратно-поступательного движения [1,2].

Рассмотрены несколько вариантов реализации звена предварительного разгона ЛАЭП в инерционном конвейере и проведено их теоретическое исследование. Звено предварительного разгона составляют: индуктор или вторичный элемент; направляющие, на которых он установлен на рабочем механизме; упругий элемент, связывающий его с последним (рисунок 1) [5].

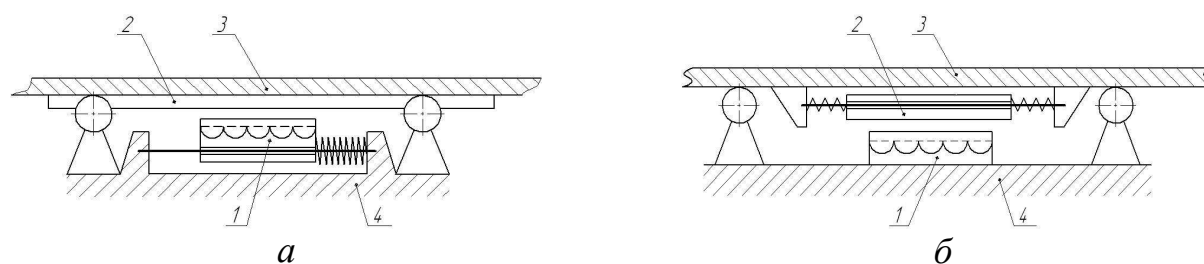


Рисунок 1 Кинематические схемы ЛАЭП

с предварительным разгоном индуктора (а), с предварительным разгоном вторичного элемента (б): 1 – индуктор ЛАД; 2 – вторичный элемент ЛАД; 3 – транспортирующий лоток, 4 – основание

На рисунке 2 показана расчетная схема инерционного конвейера с предварительным разгоном вторичного элемента ЛАЭП с указанием дей-

ствующих сил на транспортируемый груз 1, транспортирующий лоток 3 и вторичный элемент ЛАД 8.

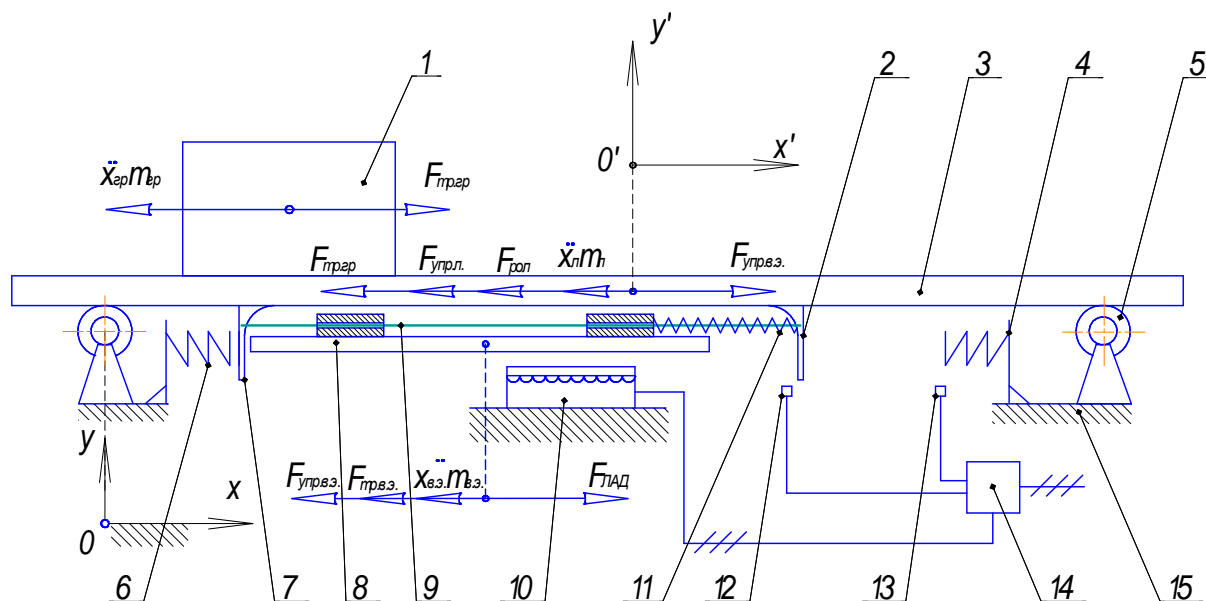


Рисунок 2 Расчетная схема инерционного конвейера с предварительным разгоном вторичного элемента ЛАЭП: 1- транспортируемый груз; 2, 7- упоры лотка, 3- транспортирующий лоток, 4, 6, 11- упругие элементы; 5- опорные ролики; 8- вторичный элемент; 9- направляющие вторичного элемента; 10- индуктор; 12, 13- датчики положения лотка; 14- блок управления; 15- основание

Перемещение транспортируемого груза в инерционном конвейере происходит за счет силы инерции груза при резком торможении лотка 3 пружиной 4. В результате множества таких перемещений образуется направленное движение груза по поверхности лотка.

При подключении индуктора 10 блоком управления 14 к сети, вдоль индуктора 10 создается бегущее магнитное поле в сторону упругого элемента 4. Бегущее магнитное поле взаимодействует с током во вторичном элементе 8. Возникает электромагнитная сила между индуктором и вторичным элементом ЛАД. Так как вторичный элемент имеет возможность двигаться относительно транспортирующего лотка 3 на направляющих 9,

ускорение вторичного элемента будет больше, чем ускорение лотка, при этом упругий элемент 11 сжимается.

По мере разгона лотка упругий элемент 11 разжимается, тем самым обеспечивается дальнейший разгон лотка.

При достижении упором 2 датчика положения 13 блок управления отключает индуктор от сети. Лоток, движущийся по инерции, взаимодействует с пружиной 4. Пружина 4 сжимается, затем, разжимаясь, разгоняет лоток с вторичным элементом в обратном направлении. После взаимодействия с пружиной 6 лоток, двигаясь вправо, достигает упором 2 датчика положения 12. Блок управления 14 подключает индуктор 10 повторно к сети, и процесс повторяется.

По рисунку 2 составлены уравнения сил действующих на вторичный элемент, лоток и транспортируемый груз, по которым построена математическая модель их движения с применением кусочно-постоянных функций Хевисайта $\theta(x)$ и сигнум $sign(x)$ [4]. Для описания математической модели приняты следующие системы координат: XOY - неподвижная относительно основания, $X'O'Y'$ - неподвижная относительно лотка.

Причем перемещение, скорость, ускорение транспортируемого груза и лотка в этих системах связаны следующим образом:

$$x'_{zp} = x_{zp} - x_l, \quad x'_{в.э.} = x_{в.э.} - x_l,$$

где x'_{zp} , $x'_{в.э.}$ - соответственно, перемещение транспортируемого материала и вторичного элемента, по оси $O'X'$, м;

x_{zp} , $x_{в.э.}$, x_l - соответственно, перемещение транспортируемого материала, вторичного элемента и лотка, м.

Напряжение питания ЛАД:

$$U_1 = U_{ист} \cdot \theta(\dot{x}_l) \cdot \theta(x_l - x_{вкл}) \cdot \theta(x_{выкл} - x_l), \quad (1)$$

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

$x_{вкл}$, $x_{выкл}$ - координаты датчиков включения и выключения напряжения ЛАД блоком управления, м.

Ускорения, соответственно, транспортирующего лотка, транспортируемого груза и вторичного элемента, м/с²:

$$\ddot{x}_л = \frac{1}{m_л} (F_{упр.в.э.} - F_{упр.л} - F_{рол} - F_{тр.гр} + F_{тр.в.э.}), \quad (2)$$

$$\ddot{x}_{гр} = \text{sign}(-\dot{x}'_{гр}) \cdot g \cdot f_{гр} + (1 - \text{sign}|\dot{x}'_{гр}|) \times \\ \times (\text{sign}(\ddot{x}_л) \cdot g \cdot f_{гр.0} \cdot \theta(|\ddot{x}_л| - g \cdot f_{гр.0}) + \ddot{x}_л \cdot \theta(g \cdot f_{гр.0} - |\ddot{x}_л|)), \quad (3)$$

$$\ddot{x}_{в.э.} = \frac{1}{m_{в.э.}} (F_{ЛАД} - F_{упр.в.э.} - F_{тр.в.э.}), \quad (4)$$

где $m_л$, $m_{в.э.}$ - массы, соответственно, транспортирующего лотка и вторичного элемента, кг;

$f_{гр}$, $f_{гр.0}$ - коэффициенты трения, соответственно, скольжения и покоя транспортируемого груза об поверхность лотка; g - ускорение свободного падения, м/с²;

$F_{упр.в.э.}$ - сила упругого элемента звена предварительного разгона, Н:

$$F_{упр.в.э.} = \theta(x'_{в.э.}) \cdot (k_{11} \cdot x'_{в.э.} + F_{0.11}), \quad (5)$$

где k_{11} - коэффициент жесткости упругого элемента звена предварительного разгона 11, Н/м;

$F_{0.11}$ - сила предварительного сжатия упругого элемента 11, Н;

$F_{упр.л}$ - сумма сил упругих элементов 6 и 4 действующих на лоток с учетом координат их расположения и сил их предварительного сжатия

$F_{0.6}$ и $F_{0.4}$, Н:

$$F_{унр.л} = F_{унр.б} + F_{унр.4} = \theta(x_l - x_{вкл}) \times (k_6 \cdot (x_l - x_{вкл}) + F_{0.6}) + \theta(x_l - x_{выкл}) \times (k_4 \cdot (x_l - x_{выкл}) + F_{0.4}), \quad (6)$$

где k_6, k_4 - коэффициенты жесткости упругих элементов б и 4, Н/м;

$F_{рол}$ - сила сопротивления опорных роликов лотка, Н:

$$F_{рол} = F_{тр.к} \cdot \text{sign}(\dot{x}_l) \cdot \theta(\dot{x}_l) + (F_{унр.в.э.} - F_{унр.л} - F_{тр.гр}) \times (1 - \theta(F_{унр.в.э.} - F_{унр.л} - F_{тр.гр})) \cdot (1 - \theta|\dot{x}_l|) + F_{тр.к} \cdot \text{sign}(F_{унр.в.э.} - F_{унр.л} - F_{тр.гр}) \times (\theta|F_{унр.в.э.} - F_{унр.л} - F_{тр.гр}| - F_{тр.к}) \cdot (\theta|\dot{x}_l|), \quad (7)$$

где $F_{тр.к}$ - сила трения качения роликов, Н:

$$F_{тр.к} = (m_l + m_{сп} + m_{в.э.}) \cdot g \cdot f_{рол}, \quad (8)$$

где $m_{сп}$ - масса транспортируемого груза, кг;

$f_{рол}$ - коэффициент трения качения роликов;

$F_{тр.гр}$ - сила трения транспортируемого груза об поверхность лотка, которая противодействует с силой инерции Н:

$$F_{тр.гр} = m_{сп} \ddot{x}_{сп}. \quad (9)$$

$F_{тр.в.э.}$ - сила трения в направляющих звена предварительного разгона, Н:

$$F_{тр.в.э.} = (F_{тр} + F_{огр}) \cdot \text{sign}(\dot{x}'_{в.э.}) \cdot \theta(\dot{x}'_{в.э.}) + (F_в) \times (1 - \theta(F_в)) \cdot (1 - \theta|\dot{x}'_{в.э.}|) + (F_{тр} + F_{огр}) \cdot \text{sign}(F_в) \times (\theta|F_в| - (F_{тр} + F_{огр})) \cdot (\theta|\dot{x}'_{в.э.}|), \quad (10)$$

где $F_{тр.ск}$ - сила трения скольжения, Н;

$F_{огр}$ - сила, учитывающая ограничение хода вторичного элемента в сторону отрицательного перемещения относительно транспортирующего лотка, Н:

$$F_{огр} = \theta(\text{sign}(\dot{x}'_{в.э.})) \cdot \theta(\text{sign}(x'_{в.э.})) \cdot \infty, \quad (11)$$

F_B - сила взаимодействия вторичного элемента и лотка, Н:

$$F_B = F_{\text{ЛАД}} - F_{\text{упр.в.э.}} - \frac{m_{\text{в.э.}}}{m_{\text{в.э.}} + m_{\text{л}}} (F_{\text{ЛАД}} - F_{\text{упр.л}} - F_{\text{тр.гр}} - F_{\text{рол}}); \quad (12)$$

где $F_{\text{ЛАД}} = f(U_1, \dot{x}_{\text{в.э.}})$ - продольная сила, развиваемая ЛАД, подчиняющаяся уравнению электромеханического преобразования энергии Парка-Горева и зависящая от значений подаваемого напряжения U_1 , скорости вторичного элемента, параметров схемы замещения, полюсного деления и синхронной скорости ЛАД.

Период колебания транспортирующего лотка инерционного конвейера с ЛАЭП состоит из четырех участков времени:

- 1) времени разгона транспортирующего лотка с ЛАЭП;
- 2) время взаимодействия транспортируемого лотка с упругим элементом «торможения» 4 (рисунок 2);
- 3) время движения транспортирующего лотка в обратном направлении;
- 4) время взаимодействия лотка с упругим элементом ускорения (позиция б на рисунке 2).

Каждому участку времени соответствует определенный участок или зона траектории движения лотка. Процесс разгона ЛАЭП в инерционном конвейере является самым сложным и энергоемким. В связи с этим, рационализация процесса разгона является важной задачей.

Как критерий оценки энергоэффективности разгона инерционного конвейера, введено понятие коэффициента энергоемкости разгона e транспортируемого груза:

$$e = \frac{W_1}{E_{\text{к.гр.}}}, \quad (13)$$

где W_1 – электрическая энергия, затрачиваемая ЛАД для передачи кинетической энергии разгоняемой массе, Дж;

$E_{k.зр}$ – кинетическая энергия транспортируемого груза, приобретённая за время разгона, Дж.

Обратное проскальзывание возникает при чрезмерно большой силе, действующей на транспортирующий лоток, вследствие превышения силы инерции транспортируемого груза его «критической» силы трения об поверхность лотка. С этой точки зрения, учитывая изменчивый характер развиваемого усилия при изменении скорости вторичного элемента, ЛАД не способен обеспечивать эффективное транспортирование без дополнительных устройств.

Звено предварительного разгона обеспечивает:

- сокращение потерь энергии в обмотках ЛАД за счет снижения скольжения;

- снижение потерь мощности на обратное проскальзывание транспортируемого материала ΔP_{TM} путем стабилизации силы, действующей на транспортирующий лоток, и накопления избыточной энергии звеном предварительного разгона;

- повышение мощности транспортирования P_{TP} за счет использования энергии, накопленной звеном предварительного разгона;

- снижение длительности пусковых токов.

Для полного высвобождения энергии, накопленной упругим элементом звена предварительного разгона, и ее передачи лотку с грузом необходимо время и определенная длина участка разгона. Созданная математическая модель позволяет исследовать процесс разгона транспортирующего лотка, и определить необходимую длину участка разгона.

Значение результирующей силы действующей на лоток по оси ОХ, необходимое для обеспечения наибольшего ускорения транспортирующего лотка без обратного проскальзывания груза, Н:

$$\sum F_{л.х.} = (m_{л.} + m_{зр.}) \cdot g \cdot f_{гр.0} = const. \quad (11)$$

Следовательно, силы упругих элементов 11 - звена предварительного разгона и 6 - лотка (рисунок 2), Н:

$$F_{\text{упр.в.э.}} = (m_{\text{л}} + m_{\text{сп}}) \cdot g \cdot f_{\text{гр.0}} + F_{\text{тр.рол}} - F_{\text{тр.в.э.}} = \text{const}, \quad (12)$$

$$F_{\text{упр.б.}} = (m_{\text{л}} + m_{\text{сп}} + m_{\text{в.э.}}) \cdot g \cdot f_{\text{гр.0}} - F_{\text{тр.рол}} = \text{const}. \quad (13)$$

Т.к. $F_{\text{упр.}} = F_0 + kx$, то условие $F_{\text{упр.}} = \text{const}$ возможно при $k = 0$, $F_{\text{упр.}} = F_0$, следовательно, необходимо, чтобы упругий элемент звена предварительного разгона имел наименьшую возможную жесткость при необходимом значении силы предварительного сжатия F_0 и рабочего хода $x'_{\text{в.э.}}$.

Аналогично необходимое номинальное усилие ЛАД можно определить по выражению:

$$F_{\text{ЛАД.н.}} = (m_{\text{л}} + m_{\text{сп}}) \cdot g \cdot f_{\text{гр.0}} + F_{\text{тр.рол}}. \quad (14)$$

Для исследования математической модели по известной методике [1] определены параметры схемы замещения ЛАД: $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$, $X_1 = 1 \text{ Ом}$, $X'_2 = 0,1 \text{ Ом}$, $X_m = 5 \text{ Ом}$, $R'_2 = 1 \text{ Ом}$, и полюсное деление $\tau = 0,036 \text{ м}$.

При исследовании приняты за базовые величины: масса транспортируемого груза $m_{\text{сп}} = 172 \text{ кг}$, масса транспортирующего лотка $m_{\text{л}} = 550 \text{ кг}$, которые соответствуют заводскому конвейеру Ш53-ПТА-3 с производительностью по сахару 450 т/сут, коэффициент трения груза по транспортирующей поверхности лотка $f_{\text{гр.}} = 1$.

Проведены теоретические исследования разработанного инерционного конвейера в среде объектно-визуального моделирования Matlab (Simulink).

При исследовании процесса разгона подвижного элемента получены расчетные временные зависимости перемещений и скоростей (рисунок 3, а и б), по которым можно определить длину участка разгона X_n , необхо-

димую для полной передачи энергии накопленной звеном предварительного разгона при пуске.

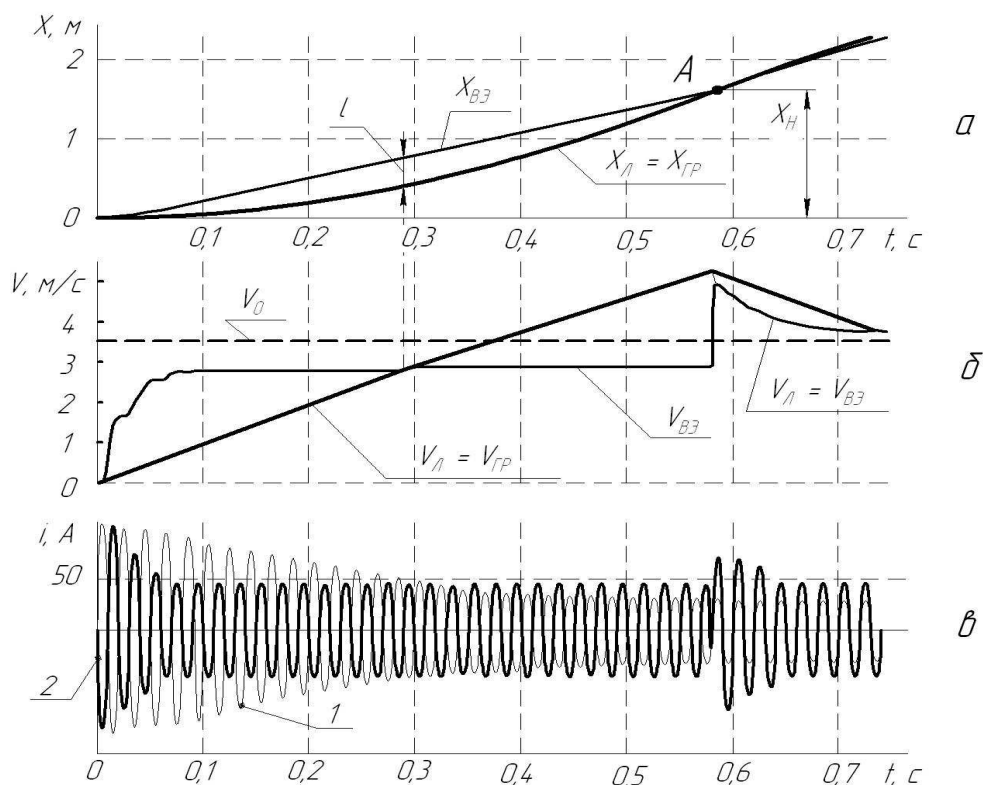


Рисунок 3 Процесс непрерывного разгона инерционного конвейера с предварительным разгоном вторичного элемента ЛЭП: $X_{BЭ}(V_{BЭ})$, $X_{Л}(V_{Л})$, $X_{ГР}(V_{ГР})$ – перемещение (скорость), соответственно, вторичного элемента, транспортирующего лотка, транспортируемого груза, V_0 – синхронная скорость ЛАД; i – ток ЛАД: 1, – без – и 2 – со звеном предварительного разгона

По временным зависимостям видно, что в момент включения вторичный элемент мгновенно ускоряется, и его скорость $V_{BЭ}$ достигает установившегося значения 2,9 м/с. Тогда как ускорение лотка значительно меньше и скорость груза $V_{ГР}$ равна скорости лотка $V_{Л}$, что говорит об отсутствии проскальзывания груза. Лоток равномерно ускоряется под действием силы упругого элемента. Так как упругий элемент имеет силу предварительного сжатия $F_{0,11}$ и длина рабочего хода l не велика, то изме-

нение значения силы упругого элемента $F_{упр.в.э.}$ не значительно, что обеспечивает равноускоренное движение транспортирующего лотка.

В момент времени 0,58 с вторичный элемент возвращается на исходное положение относительно лотка. Лоток сталкивается с вторичным элементом, происходит удар, о чем свидетельствует резкий скачок скорости вторичного элемента. В этот момент энергоемкость разгона e имеет минимальное значение. Следовательно, при данных условиях необходимая длина участка разгона $X_H = 1,6$ м.

Полученные осциллограммы (рисунок 3, в) потребляемого тока ЛАД подтверждают снижение пусковых токов, как по амплитуде, так и по продолжительности.

Получены зависимости минимальной энергоемкости разгона транспортируемого груза e_{min} от напряжения U_1 питания ЛАД (рисунок 4 а) и зависимости необходимой длины участка разгона X_H для получения e_{min} при различной массе вторичного элемента и при его жестком соединении (Жест.) к лотку (рисунок 4 б).

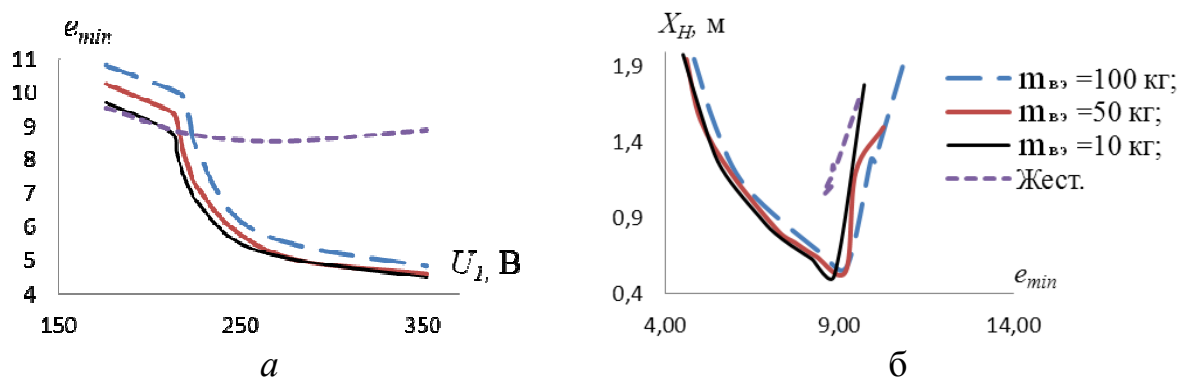


Рисунок 4 Расчетные зависимости: минимальной энергоемкости e_{min} разгона транспортируемого груза от напряжения U_1 питания ЛАД (а), необходимой длины участка разгона X_H для достижения минимальной энергоемкости e_{min} разгона транспортируемого груза (б)

По представленным на рисунке 4 характеристикам видно, что энергоемкость разгона при жестком соединении вторичного элемента (Жест.)

составляет не менее 9. А применение звена предварительного разгона позволило снизить энергоемкость разгона примерно в два раза, и с ростом напряжения энергоемкость разгона снижается. Это объясняется сокращением потерь в обмотке вторичного элемента, обусловленных работой ЛАД в области большого скольжения.

1) предложен тип и конструкторское исполнение электропривода инерционного конвейера со звеном предварительного разгона ЛАЭП защищенное патентом РФ [5];

2) разработана математическая модель, позволяющая исследовать работу ЛАЭП и определять зависимости изменения параметров колебаний транспортирующего лотка от конструктивных элементов и режима работы ЛЭП с учетом параметров транспортируемого груза;

3) судя по представленным выше зависимостям, применение звена предварительного разгона в инерционных конвейерах с ЛАЭП обеспечивает повышение эффективности его работы;

4) выявлено, что в конструкции с предварительным разгоном вторичного элемента лучше обеспечивается плавность пуска из-за связи последнего с транспортирующим лотком посредством упругих элементов, это обеспечивает сглаживание динамических усилий воздействующих на вторичный элемент.

Список литературы

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., Шагаргазин А.С. Качающийся конвейер с линейным асинхронным приводом // Механизация и электрификация с/х, 2004. - № 10. – С. 34.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. М.: Энергия, 1974. – 840 с.
4. Прикладная математика. Справочник математических формул. Примеры и задачи с решениями. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pm298.ru/chis110.php>
5. Пат. на изобр. № 2422348 РФ. Инерционный конвейер / Р. С. Аипов, С. В. Акчурин, А. В. Линенко, М. Ф. Туктаров ; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. – № 2010110857/11 ; заявл. 22.03.2010 ; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 18. – 5 с.

References

1. Aipov R.S., Linenko A.V. Linejnye jelektricheskie mashiny i linejnye asinhron-nye jelektroprivody tehnologicheskix mashin. – Ufa: Bashkirskij GAU, 2013. – 308 s.
2. Aipov R.S., Shagargazin A.S. Kachajushhijsja konvejer s linejnym asinhronnym privodom // Mehanizacija i jelektrifikacija s/h, 2004. - № 10. – S. 34.
3. Vol'dek A.I. Jelektricheskie mashiny. M.: Jenergija, 1974. – 840 s.
4. Prikladnaja matematika. Spravochnik matematicheskix formul. Primery i zadachi s reshenijami. [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.pm298.ru/chisl10.php>
5. Pat. na izobr. № 2422348 RF. Inercionnyj konvejer / R. S. Aipov, S. V. Akchurin, A. V. Linenko, M. F. Tuktarov ; zajavitel' i patentoob-ladatel' Bashkirskij GAU. – № 2010110857/11 ; zajavl. 22.03.2010 ; opubl. 27.06.2011, Bjul. № 18. – 5 s.