

УДК 621.316

А.В. Веремеенко, інж

Київський національний університет будівництва і архітектури

Моделирование электромеханических тяговых характеристик линейного асинхронного двигателя с фазным бегуном

В статье представлен коаксиально-линейный асинхронный двигатель с фазным вторичным элементом (КЛАД-Ф-ВЭ), который находит широкое применение в современном автоматизированном электроприводе в сельскохозяйственном производстве (измельчители и дробилки кормов, соломосилосорезки и др.) Предложен стенд для испытания КЛАД-Ф-ВЭ и определения электромеханических тяговых характеристик в заторможенном режиме. Разработана математическая модель КЛАД-Ф-ВЭ в виде схемы замещения с учетом влияния “краевого эффекта” на тяговые характеристики. Получено математическое выражение электромагнитного тягового усилия, развиваемого КЛАД-Ф-ВЭ на основании разработанной схемы замещения двигателя в заторможенном режиме. В результате теоретических и экспериментальных данных, представленных в данной работе, получены электромеханические тяговые характеристики.

линейный асинхронный двигатель (ЛАД), электромеханические тяговые характеристики, фазный бегун, магнитная индукция

Введение. Линейные асинхронные двигатели, за счет особенностей своей конструкции, характеристик и относительной простоты и дешевизны, нашли широкое использование в исполнительных механизмах сельскохозяйственного производства (соломосилосорезки РСС-6,0 с электродвигателем Л02-52-4, измельчители кормов с электродвигателем А02-71-4, дробилки кормов КДУ-2 с электродвигателем А02-72-4 и др.) и проч., которые нуждаются в линейном перемещении с необходимой величиной и законом изменения тягового усилия. Электроприводы, в состав которых входят линейные электродвигатели (ЛЭД), в состоянии, на основе достижений электроники и микропроцессорной техники, решать задачи автоматизации производственных процессов в сельском хозяйстве. Электрификация промышленности, транспорта, сельского хозяйства и быта населения, обуславливает необходимость применения разнообразного электрического оборудования. Одним из основных видов этого оборудования являются линейные асинхронные двигатели.

Анализ результатов исследований позволил прийти к выводам, что существующие математические модели линейных асинхронных двигателей не позволяют адекватно описывать процессы в них из-за невозможности устранить влияние краевого эффекта, который возникает вследствие конструктивных особенностей двигателей данного типа.. Поэтому направление исследований следует считать актуальным.

Анализируя существующие виды линейных асинхронных двигателей [1,2,3,4,5], надо отметить, что практически не исследованы коаксиально-линейные асинхронные электродвигатели с фазным вторичным элементом (бегуном) (КЛАД-Ф-ВЭ). Из-за конструктивных особенностей линейного асинхронного двигателя магнитная система ЛАД имеет разрыв на краях магнитопровода статора, который вызывает несимметрию токов во вторичном контуре (бегуне) [8]. Это явление назвали "краевым эффектом"

[1,2,3,4,6]. "Краевой эффект" отрицательно действует на энергетические параметры ЛАД [9]. Экспериментальные исследования ЛАД в двигательном режиме показали низкий коэффициент полезного действия, не превышающий 50% [2,3,8].

Было предложено ряд методов по ослаблению влияния "краевого эффекта" на энергетические параметры ЛАД, например: увеличение числа пар полюсов, воздушного зазора между индуктором статора и вторичным элементом, сопротивления в вторичном контуре двигателя, а также применение компенсационных обмоток [1,3,4,7]. На практике эти методы по устранению влияния "краевого эффекта" на энергетические параметры ЛАД не были реализованы в полной мере из-за сложности технического решения при построении стендов для испытания ЛАД и самих двигателей [2,3].

Предложенные методики и стенды для испытания ЛАД недостаточно эффективны. Например, стенды в дисковом исполнении вторичного элемента ЛАД со сплошным токовым слоем вносят погрешность при определении параметров электромеханических характеристик из-за неравномерного распределения тангенциальных и радиальных усилий по радиусу вращающегося диска ВЭ [2,3,4]. Стенды для испытания ЛАД [8] с кусочно-линейным бегуном, замкнутым в бесконечную цепь, электрический контур которого выполнен в виде короткозамкнутой "лестничной клетки", также имеют недостатки. Испытания ЛАД на данном стенде показали, что полученные электромеханические тяговые характеристики имеют провал в зоне скольжения $s=0.5$. Это явление также обусловлено конструктивными особенностями магнитопроводов статора и бегуна, а именно разрывом как в первичном, так и во вторичном контуре магнитной цепи, которая явно влияет на несимметрию токов в бегуне [7,8,9].

В работе [10] были предложены модели и методы косвенного определения электромеханических тяговых и рабочих характеристик ЛАД. Построение электромеханических тяговых и рабочих характеристик ЛАД осуществлялось по результатам статических испытаний путем помещения ВЭ в индуктор двигателя с различными сопротивлениями вторичного контура. За основу данной математической модели была принята эквивалентная схема замещения ЛАД, на основе которой было получено выражение электромеханической тяговой характеристики $F=f(V)$:

$$F_i = \frac{mI^2_{21}(R_{эмi} + R_{KFi})}{2\tau f_H} \quad (1)$$

Однако эта математическая модель и предложенный стенд для испытания ЛАД [10] не дали полной картины физического процесса работы двигателя при получении электромеханических тяговых характеристик ЛАД и его энергетических параметров, так как не было возможности при определении параметров электромеханических характеристик ЛАД устранить несимметрию токов во вторичном контуре, т.е. влияние "краевого эффекта".

Таким образом, с целью улучшения методики расчета электромеханических характеристик и энергетических параметров ЛАД следует провести исследования по усовершенствованию математической модели, учитывающей влияние "краевого эффекта" на электромеханические характеристики (а также ослабление влияния его на энергетические параметры двигателя) и по усовершенствованию стенда для испытания линейного асинхронного электродвигателя.

Теоретические и экспериментальные исследования. Для усовершенствования математической модели работы ЛАД и методики испытания двигателя в качестве объекта испытания предлагается коаксиально-линейный асинхронный двигатель с фазным бегуном [11], конструктивные особенности которого позволяют изменять

сопротивление во вторичном контуре в широком диапазоне и регулировать фазные токи в нем.

На рис.1 представлена физическая модель коаксиально-линейного асинхронного электродвигателя (КЛАД-Ф-ВЭ), который состоит из статора (индуктора) 1 и вторичного элемента (бегуна) 4, а на рис.2 схематично изображен коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель с фазным вторичным элементом (бегуном). Индуктор состоит из: магнитопровода статора 2, выполненного из электротехнической стали; трехфазной обмотки 3, выполненной в виде катушек и уложенной в пазовую полость индуктора, а также клеммной колодки статора 4. Бегун (вторичный элемент) состоит из: магнитопровода 5, выполненного из стали в виде цилиндрического стержня 6; трехфазной обмотки 7, изготовленной в виде катушек и помещенных в пазовую полость, а также клеммной колодки (бегуна) 8. Конструктивные и электромеханические параметры КЛАД-Ф-ВЭ представлены в табл. 1.

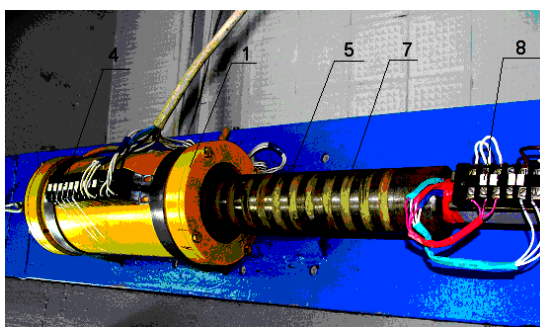


Рисунок 1 - Коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель с фазным вторичным элементом (бегуном)

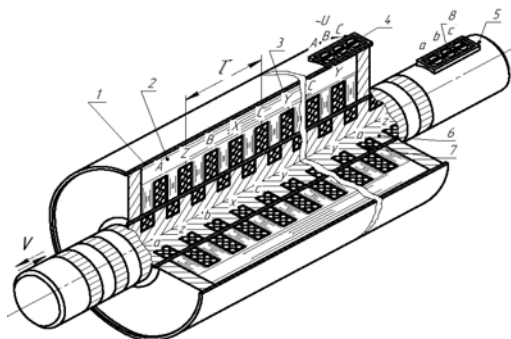


Рисунок.2 - Схематическое изображение коаксиально-линейного асинхронного электродвигателя с фазным вторичным элементом (бегуном).

Таблица 1 - Конструктивные и электромеханические параметры КЛАД Ф-ВЭ

№	Наименование параметров	Обозначение	Значение	Ед. измерения
1.	Номинальная мощность	P_2	1.5	КВт
2.	Подведенное напряжение	U_{ϕ}	127	В
3.	Частота сети	f	50	Гц
4.	Пусковой ток	$I_{п}$	10	А
5.	Электромагнитное тяговое усилие	$F_{эм}$	300	Н
6.	Масса статора	m_1	19.2	Кг
7.	Масса бегуна	m_2	13.6	Кг

Продовження таблиці 1

8.	Немагнитный зазор	δ	2.5	Мм
9.	Полюсное деление	τ	0,063	М
10.	Количество витков в фазе статорной обмотки	W_1	80	ВИТКОВ
11.	Количество витков в фазной части обмотки бегуна	W_2	200	ВИТКОВ
12.	Сечение проводника в статорной обмотке	$\Delta S_{ст}$	1.12	мм ²
13.	Сечение проводника в фазной обмотке бегуна	$\Delta S_{фч}$	0.69	мм ²

Коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель работает следующим образом. При подаче переменного тока на обмотку статора 3 возникает магнитный поток, который своими магнитными силовыми линиями пересекает обмотки вторичного элемента (бегуна) 5, создавая при этом в контуре индукционный ток, а следовательно, и магнитный поток. В результате потокоцепления двух магнитных потоков статора и бегуна создается электромагнитное тяговое усилие F , которое воздействует на бегун со скоростью V_1 . Скорость перемещения бегуна V при этом отстает на скольжение s :

$$V = V_1(1-s), \quad (2)$$

где $V = 2\tau f$ - скорость бегущего магнитного поля статора, м/с;

τ - полюсное деление, м;

f - частота питания сети, Гц;

s - скольжение.

В работе [8] предложена математическая модель, которая учитывает несимметрию токов во вторичном контуре при непрерывном перемещении бегуна. Эта математическая модель представлена в виде схемы замещения линейного асинхронного электродвигателя на рис.3.

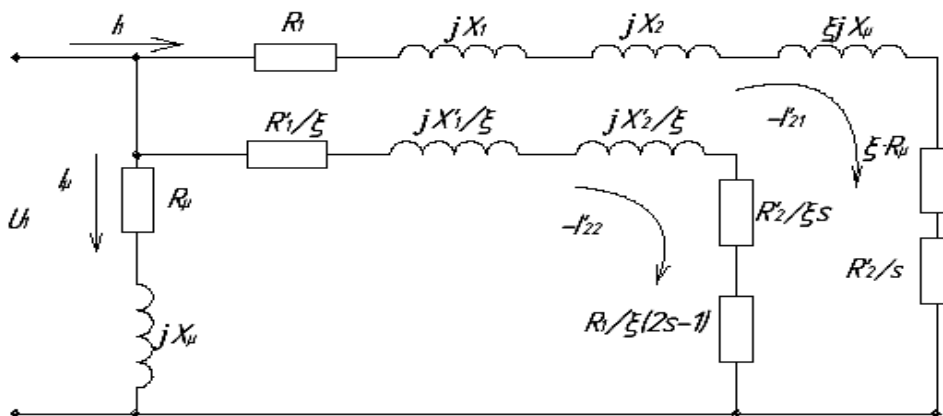


Рисунок 3 - Схема замещения линейного асинхронного электродвигателя

На основании схемы замещения (рис.3) было предложено математическое выражение электромагнитного тягового усилия, развиваемого ЛАД :

$$F_{em} = \frac{m_1 U_1^2 R_2' / s}{V_1 ((R_1 + R_2' / s + \xi R_\mu)^2 + (X_1 + X_2' + \xi X_\mu)^2)} + \xi \frac{m_1 U_1^2 (R_2' / s + R_1 / (2s - 1))}{V_1 ((R_1 + R_2' / s + R_1 / (2s - 1))^2 + (X_1 + X_2')^2)}, \quad (3)$$

где m_1 - число фаз;

U_1 - подводимое напряжение, В;

R_1 - активное сопротивление обмотки индуктора (статора), Ом;

R_2' - приведенное сопротивление вторичного контура (бегуна);

X_1 - индуктивное сопротивление индуктора (статора), Ом;

X_2' - приведенное сопротивление вторичного контура, Ом;

X_μ - индуктивное сопротивление намагничивающего контура, Ом;

R_μ - активное сопротивление намагничивающего контура, Ом;

ξ - коэффициент несимметрии вторичного контура $\xi = f / 2p$;

где p - число пар полюсов.

Данное выражение (3) описывает математическую модель электромеханической тяговой характеристики работы ЛАД при работе машины в двигательном режиме, т.е. при непрерывном перемещении бегуна $F=f(s)$. Такая модель недостаточно эффективна при определении параметров электромеханических тяговых характеристик экспериментальным путем из-за сложности изготовления стенда, как это отмечалось в работах [3,4,8,10]. Если конструктивные особенности КЛАД-Ф-ВЭ (см.рис.1,2) позволяют подключать дополнительные сопротивления и регулировать добавочное сопротивление в широких диапазонах, то в этом двигателе используется методика [10] по снятию электромеханических характеристик косвенным путем, то есть в заторможенном режиме. Предлагается математическая модель, которая представлена в виде схемы замещения линейного асинхронного электродвигателя с фазным вторичным элементом (бегуном) в заторможенном режиме (рис.4).

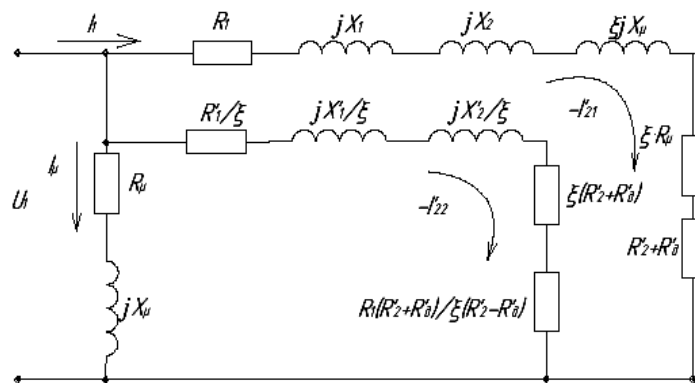


Рисунок 4 - Эквивалентная схема замещения линейного асинхронного электродвигателя в заторможенном режиме

Здесь выражение $\frac{R_2'}{R_2' + R_\delta}$ отражает величину скольжения s , а R_δ' -

приведенное добавочное сопротивление, включенное во вторичный контур бегуна, Ом. Тогда выражение электромагнитной тяговой характеристики коаксиально-линейного асинхронного электродвигателя с фазным вторичным элементом (бегуном) примет вид:

$$F = \frac{m_1 U_1^2 R_2' + R_\partial'}{V_1 \left(R_1 + R_2' + R_\partial' + \xi R_\mu \right)^2 + \left(X_1 + X_2' + \xi X_\mu \right)^2} + \frac{m_1 U_1^2 \left[R_2' + R_\partial' + \frac{R_1 (R_2' + R_\partial')}{(R_2' - R_\partial')} \right]}{\xi \left[V_1 \left(R_1 + R_2' + R_\partial' + \frac{R_1 (R_2' + R_\partial')}{(R_2' - R_\partial')} \right)^2 + \left(X_1 + X_2' \right)^2 \right]} \quad (4)$$

Схема замещения на основании вышеизложенного примет следующий вид (рис. 5).

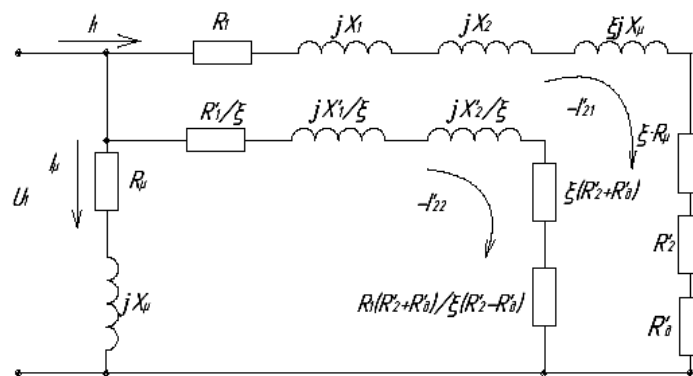


Рисунок 5 - Эквивалентная схема замещения КЛАД-Ф-ВЭ

График зависимости электромеханической тяговой характеристики коаксиально-линейного асинхронного двигателя $s=f(F_{эм}^*)$ представлен на рис.6 в относительных единицах. Здесь $F_{эм}^* = F_{эм}/F_H$.

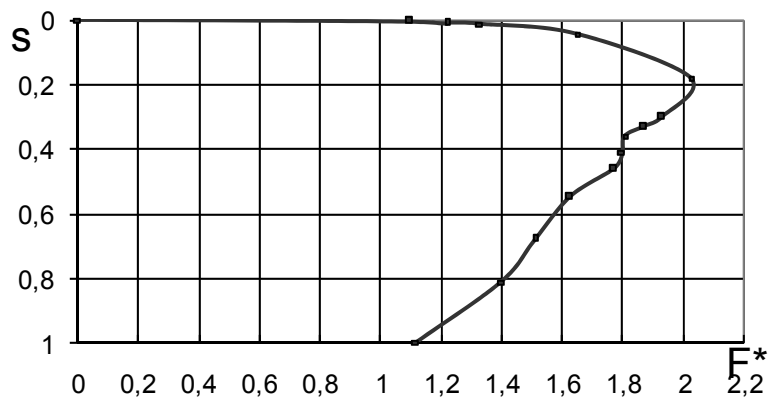


Рисунок 6 - Электромеханические тяговые характеристики $s=f(F^*)$ ЛАД

Методика экспериментальных исследований. Стенд для испытания коаксиально-линейного асинхронного двигателя с фазным вторичным элементом для определения параметров электромеханических тяговых характеристик представлен на рис.7.



Рисунок 7 - Стенд для испытания коаксиально-линейного асинхронного электродвигателя с фазным вторичным элементом (бегуном)

На рис.8 изображена блок-схема электрическая испытательного стенда для контроля параметра электромеханических тяговых характеристик коаксиально-линейного асинхронного электродвигателя с фазным вторичным элементом (бегуном). Стенд и блок-схема электрическая для испытания КЛАД Ф-ВЭ (рис.7, 8) включает: коаксиально-линейный асинхронный двигатель с фазным вторичным элементом 1; автотрансформатор (Атр); комплект измерительных приборов К-51(б); статор КЛАД-Ф-ВЭ, на котором закреплена клеммная колодка (ABC) 2; бегун ВЭ 3, на котором закреплена клеммная колодка (abc) 4, а также автоматические выключатели SQ1, SQ2, SQ3; динамометр для контроля усилия, развиваемого двигателем F, кгс 5; дополнительное сопротивление $R_{д1} \dots R_{дi}$ Ом 7; противовес m , кг. С целью получения электромеханических тяговых характеристик двигателя $V=f(F)$, $s=f(F^*)$ изменяем сопротивление во вторичном контуре (бегуна) за счет включения дополнительного сопротивления $R_{д1}$, $R_{дi}$, при этом фиксируем показания приборов и заносим их данные в таблицу 2. Корректировка несимметрии токов во вторичном контуре осуществлялась за счет изменения сопротивления в фазах (бегуна).

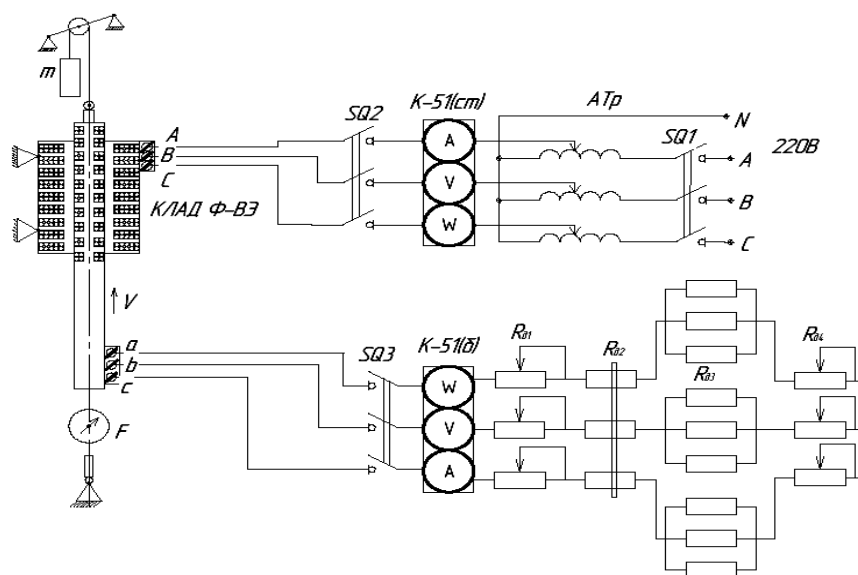


Рисунок 8 - Блок-схема электрическая стенда для испытания коаксиально-линейного асинхронного электродвигателя с фазным вторичным элементом (бегуном)

Таблица 2 – Экспериментальные данные КЛАД-Ф-ВЭ

№ п/п	Электрические параметры вторичного контура (бегуна)				Электрические параметры статора			Показания динамометра
	R _д , Ом	U _ф , В	I _ф , А	P _ф , Вт	U, В	I, А	P, Вт	F, кгс
1	6,30	6,00	5,20	30,00	212	15,50	3000	11,00
2	7,10	11,40	5,00	56,00	212	15,20	3200	14,00
3	9,90	19,40	4,60	89,00	214	14,70	3200	15,00
4	11,70	27,00	4,30	112,00	214	13,70	3200	16,00
5	13,50	35,00	4,00	140,00	216	13,50	3200	17,50
6	15,30	39,50	3,60	145,00	214	13,00	3100	18,00
7	17,10	44,00	3,50	150,00	214	12,50	3100	18,00
8	18,90	47,50	3,30	155,00	214	12,50	3000	18,50
9	20,70	52,50	3,10	162,50	214	12,00	3000	18,50
10	33,20	71,50	2,40	167,50	216	11,75	2800	19,00
11	773,20	95,00	2,20	150,00	216	10,75	2400	16,00
12	1 513,20	110,00	0,21	20,00	216	9,25	2100	13,00
13	2 253,20	110,50	0,14	15,00	216	9,00	2100	12,00
14	2 993,20	111,00	0,07	8,00	218	9,00	2000	11,00

Для построения электромеханической тяговой характеристики $V=f(F)$, $s=f(F^*)$ используем экспериментальные данные КЛАД-Ф-ВЭ (табл.2). Выражение, определяющее электромагнитное тяговое усилие, вычисляется по формуле $F=F_{дин} \cdot g, Н$, где $F_{дин}$ - показания динамометра, кгс; g - ускорение свободного падения, м/с²; $s=R_2'/(R_2'+R_0)$ - скольжение; $V=V_1(1-s)$ - скорость перемещения бегуна, м/с; $V_1=2\tau f$ м/с - скорость бегущего магнитного поля статора КЛАД-Ф-ВЭ, τ - полюсное деление, м; f - частота сети, Гц. Расчетные параметры электромеханических тяговых характеристик занесены в табл. 3.

Таблица 3 - Расчетные данные параметров электромеханической характеристики

s	1.00	0.87	0.63	0.53	0.46	0.41	0.36	0.33	0.30	0.18	0.043	0.004	0.0027	0.0021
V, м/с	0	0.01	0.08	0.21	0.46	0.86	1.45	2.27	3.40	4.86	5.92	5.97	6.00	6.01
F, Н	110	140	150	160	175	180	180	185	185	190	160	130	120	110

На основании полученных экспериментальных данных КЛАД-Ф-ВЭ, электромеханические тяговые характеристики зависимости $V=f(F)$ предоставлены на рис.9.

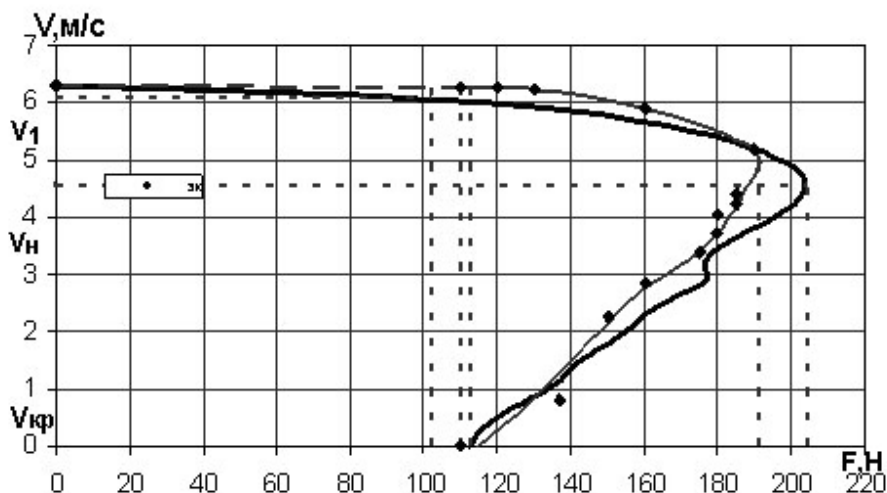


Рисунок 9 - Электромеханическая тяговая характеристика $V=f(F)$ КЛАД-Ф-ВЭ

Здесь $F_{п}$ - пусковое тяговое усилие, развиваемое двигателем, Н; F_{max} - максимальное тяговое усилие, Н; $F_{c(н)}$ - номинальное тяговое усилие, Н; V_1 - скорость бегущего магнитного поля, м/с; V_n - номинальная скорость двигателя, м/с; $V_{кр}$ - критическая скорость двигателя, м/с. В относительных единицах электромеханическая тяговая характеристика $s=f(F^*)$ представлена на рис.10. Здесь $s=R_2'/(R_2'+R_0')$ - скольжение; $F^*=F_{эм}/F_{c(н)}$ - тяговое усилие в относительных единицах.

Среднее значение сходимости параметров электромеханической тяговой характеристики F_{cp}^* в относительных единицах определяется из выражения (5) и табл. 4.

$$F_{cp}^* = \frac{\sum_1^i F_{0i}^*}{i} \tag{5}$$

Здесь $F_{0i}^* = ((F_{Ti} - F_{эi})/F_{Ti}) * 100\%$ - сходимость параметров электромеханической тяговой характеристики в относительных единицах в i -той точке. На основании теоретических и экспериментальных исследований КЛАД-Ф-ВЭ, (см. табл.4 и рис. 9,10) сходимость составляет 4,28 %.

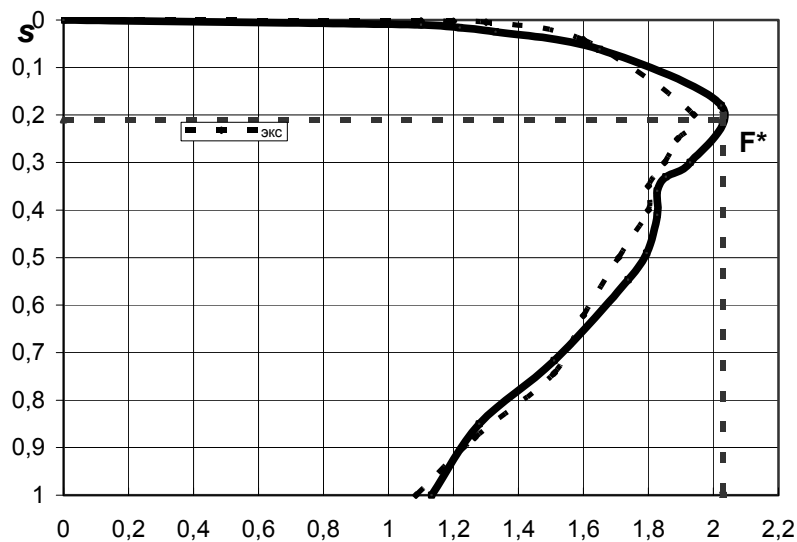


Рисунок 10 - Электромеханическая тяговая характеристика $s=f(F^*)$ КЛАД-Ф-ВЭ в относительных единицах

Таблица 4 - Теоретические и экспериментальные параметры электромеханической тяговой характеристики КЛАД-Ф-ВЭ.

$F_э, Н$	110	136,8	150	160	175	180	180	185	185	190	160	130	0
$F_T, Н$	112,8	134,2	160	177,4	181	189	190	201	203	189	165	128	0
$V_{э}, м/с$	0	0,8	2,25	2,85	3,4	3,7	4,08	4,2	4,4	5,1	5,9	6,23	6,3
F_{0i}^*	2.48	1.93	6.25	9.80	3.31	4.76	5.26	7.96	8.86	0.52	3.03	1.56	0

Выводы. Впервые разработан коаксиально-линейный асинхронный двигатель с фазным вторичным элементом (КЛАД-Ф-ВЭ). Разработан стенд для испытания КЛАД-Ф-ВЭ и определения электромеханических тяговых характеристик в заторможенном режиме. Разработана математическая модель КЛАД-Ф-ВЭ в виде схемы замещения с

учетом влияния “краевого эффекта” на тяговые характеристики, т.е. на симметрию токов вторичного контура двигателя. Получено математическое выражение электромагнитного тягового усилия, развиваемого КЛАД-Ф-ВЭ на основании разработанной схемы замещения двигателя в заторможенном режиме. В результате теоретических и экспериментальных данных, представленных в данной работе, получены электромеханические тяговые характеристики, сходимость которых составляет 4,28 %.

Список литературы

1. Лейтвейт Е.Р., Насар С.А. Электрические машины с поступательным движением, 1970. Т.58 №4.– С.18-30.
2. Ижея Г.М., Ребров С.А., Шаповаленко А.Г. Линейные асинхронные двигатели. К.: Техника, 1975. - 136с.
3. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей: Пер. с англ.: - Л.: Энергоатомиздат. Ленинград отделение, 1983. -180с. ил.
4. Веселовский О.Н. и др. Линейные асинхронные двигатели О.М. Веселовский, А.Ю. Коняев, Ф.Н. Сарапулов.- М.: Энергоатомиздат, 1991. -256с.: ил.
5. Шинкаренко В.Ф., Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка. 2002. - 288с.: ил.
6. Вилтис А.Я., Дриц М.С., Концевой эффект в линейных асинхронных двигателях. Задачи и методы решения. – Рига: Зинатис., 1981. -208с.
7. Голенков Г.М., Несиметрія режимів роботи лінійних асинхронних двигунів. /Наука і техніка в міському господарстві. Вип.24.-К.; Будівельник, 1973.- С. 13-18.
8. Голенков Г.М., Разработка и исследование линейного асинхронного электродвигателя для привода строительных машин. Автореферат на соискателя ученой степени кандидата технических наук. Институт электродинамики АН УССР. Киев, 1984.-21с.
9. Костенко М. П., Пиотровский А.М., Электрические машины.Ч.2, – Машины переменного тока. Учебник для студентов высших тех. учеб. заведений. Вид. 3-е перераб. Л.”Энергия”, 1978. - 648с.
10. Попков В.С., Титаренко В.П., Федоров А.П., Шинкаренко В.Ф. Методы косвенного определения рабочих характеристик линейных асинхронных двигателей по результатам статических испытаний. /Научно-технический реферативный сборник. Электротехническая промышленность Электрические машины. –М.: 1981. – Выпуск 10(128) – С.1-3.
11. Патент на корисну модель №23757 Богаенко Е.М., Богаенко М.В., Веремієнко А.В., Голенков Г.М., Попков В.С., Україна Опубліковано від 11.06.2007р. Бюл.№8. Електродвигун зворотньо-поступового руху.

А. Веремієнко

Моделювання електромеханічних тягових характеристик лінійного асинхронного двигуна з фазним бігуном

У статті представлений коаксіально-лінійний асинхронний двигун з фазним вторинним елементом (КЛАД-Ф-ВЕ), який знаходить широке вживання в сучасному автоматизованому електроприводі в сільськогосподарському виробництві (подрібнення і дробарки кормів, соломосилосорізки і ін.) Запропонований стенд для випробування КЛАД-Ф-ВЕ і визначення електромеханічних тягових характеристик в загальмованому режимі. Розроблена математична модель КЛАД-Ф-ВЕ у вигляді схеми заміщення з врахуванням впливу “краєвого ефекту” на тягові характеристики. Отримано математичне вираження електромагнітного тягового зусилля, КЛАД-Ф-ВЕ, що розвивається, на підставі розробленої схеми заміщення двигуна в загальмованому режимі. В результаті теоретичних і експериментальних даних, представлених в даній роботі, отримані електромеханічні тягові характеристики

A. Veremeenko

Design of electro mechanics hauling descriptions of linear asynchronous engine with a phase runner

In the article presented coaxially-linear asynchronous engine with the phase second element (KLAD-F-VE) which finds wide application in modern automated електроприводі in an agricultural production (grindings

down and crushers of forages, and other) a stand is Offered for the test of KLAD-F-VE and determinations of electromechanics hauling descriptions in the put on the brakes mode. The mathematical model of KLAD-F-VE is developed as a chart of substitution taking into account influencing of “regional effect” on hauling descriptions. Mathematical expression of electromagnetic hauling effort is got, developed KLAD-F-VE on the basis of the developed chart of substituting for an engine in the put on the brakes mode. As a result of theoretical and experimental information, presented in this work, electromechanics hauling descriptions are got

Получено 22.10.12

УДК 62-231:621.9.04

А. М. Кириченко, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Результати дослідної ідентифікації геометричних параметрів верстата паралельної структури

Запропоновано та експериментально підтверджено метод обчислення положень центрів шарнірних опор верстата паралельної структури «гексапод» за результатами обміру еталонної деталі вимірювальним контактним датчиком, що дозволило підвищити точність у 3-5 разів.
механізм паралельної структури, гексапод, ідентифікація, контактний датчик

Важливою задачею при розробці верстатів паралельної структури є досягнення високої точності положення робочого органа, яка залежить не лише від дискретності і точності приводів, але й від геометричної точності виготовлення шарнірних опор та інших компонентів. За умови, що шарнірні опори і гвинтові передачі є абсолютно точними, положення робочого органа верстата-гексапода [1] визначається 42 параметрами [2]: початковими довжинами штанг, векторами центрів шарнірних опор основи і робочого органа. Досягнення високої точності механізмів та маніпуляторів як послідовної, так і паралельної структури можливе шляхом ідентифікації дійсних геометричних параметрів (калібрування) [3]. При наявності одного або кількох замкнених кінематичних ланцюгів можлива автоідентифікація [4], що не потребує незалежного обладнання для вимірювання положення робочого органа.

Звичайно кількість датчиків у приводах механізму паралельної структури дорівнює кількості ступенів вільності. Ідентифікація можлива, якщо загальна кількість датчиків (включаючи вимірювальні) перевищує загальну кількість ступенів вільності робочого органа [5]. Виходячи з цього принципу, існуючі методи автоідентифікації можна розділити на дві категорії: надлишковість датчиків та обмеження рухомості. Метод надлишкових датчиків полягає у встановленні у механізмі паралельної структури одного або кількох додаткових датчиків, наприклад датчиків повороту у опорах [6], кутового положення робочого органа [7], вимірювальної штанги [8]. Метод обмеження рухомості робочого органа реалізується шляхом фіксації одного або кількох шарнірів за допомогою додаткових механізмів [9, 10], в результаті кількість ступенів вільності робочого органа зменшується, а кількість датчиків залишається незмінною.

У [2] запропоновано математичне обґрунтування ідентифікації із застосуванням вимірювального контактного датчика у шпинделі, але збіжність процесу ідентифікації