

УДК 621.313

DOI: 10.53297/18293328-2025.2-38

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

А.Г. Хангельдян

Национальный политехнический университет Армении

Представлен экспериментальный стенд линейного асинхронного двигателя (ЛАД), который предназначен для транспортных систем. Рассматривается возможность повышения тяговых характеристик ЛАД, применяемых в наземных высокоскоростных транспортных системах. Актуальность исследования обусловлена растущим распространением ЛАД в железнодорожных транспортных системах и приводах конвейерных, лифтовых и других систем, а также необходимостью обеспечения достаточной силы тяги, развиваемой ЛАД, для преодоления участков с большим уклоном и в перегруженных режимах. В качестве объекта исследования принят ЛАД с коротким двухсторонним статором и длинным вторичным элементом. Целью работы является разработка и изготовление испытательного стенда для изучения электромагнитных и механических параметров двигателя при использовании вторичных элементов различного исполнения, включая омеднённые стальные варианты. В рамках исследования проведены расчёты параметров ЛАД по существующим методикам, изготовлены опытный статор и опорная конструкция вторичного элемента. Описаны способы измерения линейной скорости вторичного элемента ЛАД и силы тяги, воздействующие на него. Оценено влияние толщины медного покрытия на значение силы тяги при пуске ЛАД по сравнению с массивным стальным вторичным элементом. Приведены результаты испытаний, которые показали, что, по сравнению с массивным стальным вторичным элементом, омедненный вторичный элемент в зависимости от напряжения питания обеспечивает заметный рост силы тяги: от 7,5 до 50% при толщине медного слоя 0,25 мм и от 22,4 до 53,8% при толщине 0,5 мм. Результаты проведённых измерений показывают перспективность применения омедненных вторичных элементов для увеличения силы тяги ЛАД, однако для более точной оценки результатов необходимо более глубоко изучить воздействие сил трения на вторичный элемент.

Ключевые слова: высокоскоростные транспортные системы, линейный асинхронный двигатель, омеднение, вторичный элемент, экспериментальный стенд, сила тяги.

Введение. Благодаря техническому прогрессу линейные асинхронные двигатели (ЛАД) с каждым годом получают все большее распространение в различных отраслях промышленности. В частности, применение этих

двигателей широко распространено в наземных высокоскоростных транспортных системах [1-4], робототехнике, в приводах лифтов, конвейеров и других областях [1,5]. Технические возможности ЛАД постоянно растут, расширяя и спектр их применения. Важно отметить, что доля пассажирских и грузовых перевозок с помощью наземных высокоскоростных транспортных систем также постепенно увеличивается [6,7]. В настоящее время, в зависимости от типа и важности решаемых задач, существует несколько вариантов конструктивного исполнения двигателей, широко используемых в наземных высокоскоростных транспортных системах (в частности, железнодорожных) [1-4,8]. В данной работе рассматривается конструктивное исполнение ЛАД с коротким двухсторонним статором и длинным вторичным элементом, статор которого устанавливается на вагонах транспортной системы, а в роли вторичного элемента выступает железнодорожный рельс.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является проектирование и изготовление испытательного стенда ЛАД для исследования его электромагнитных и механических параметров. При эксплуатации наземных высокоскоростных транспортных систем важное значение имеют способность преодолевать труднопроходимые зоны, участки дорог с большим уклоном, а также надёжность работы в перегруженных режимах [6,7]. С учетом этого возникает необходимость поиска эффективного решения, которое позволит путем изменения электромагнитных параметров двигателя в необходимых пределах добиться улучшения силы тяги при пуске и работе ЛАД. Последнее может быть достигнуто путем омеднения и изменения толщины медного слоя вторичного элемента ЛАД [9,10]. Омедненный вторичный элемент может быть использован на тех участках железной дороги, где необходимо обеспечить силу тяги выше номинальной. Для исследования сил тяги при пуске и работы ЛАД, а также линейных скоростей с использованием вторичных элементов разных исполнений создан экспериментальный стенд двигателя.

Результаты исследования и их обсуждение. Поскольку рассматриваемые ЛАД анализируются с точки зрения их применения в транспортных системах, при проектировании испытательного стенда были учтены результаты исследований ЛАД, используемых в транспортных системах различного назначения [1,2,11,12]. На основе анализа физических процессов, протекающих в реальных транспортных установках, а также по аналогии с существующими системами были приняты следующие номинальные параметры испытательного стенда:

- сила тяги: $F_T = 10 \text{ Н}$;
- линейная скорость магнитного поля статора: $V = 6 \text{ м/с}$;

- размер воздушного зазора: $\delta = 0,002 \text{ м}$;
- масса вторичного элемента: $P = 0,8 \text{ кг}$;
- длина статора: $l = 0,28 \text{ м}$;
- система электропитания: трёхфазная;
- частота питающей сети: $f = 50 \text{ Гц}$;
- величина фазного напряжения: $U_{\phi} = 220 \text{ В}$;
- количество питаемых модулей: $P_M = 2$.

Статор испытательного стенда был изготовлен из листов электротехнической стали марки 2013 толщиной $0,5 \text{ мм}$, трехфазная обмотка намотана медным проводом круглого сечения диаметром $0,77 \text{ мм}$, а массивный вторичный элемент изготовлен из стали марки Ст3. Длина статора составляет 280 мм , а длина, высота и толщина стального вторичного элемента - соответственно 660 мм , $39,2 \text{ мм}$ и 4 мм . Образцы стального вторичного элемента с указанными размерами использовались в качестве исходного материала для омеднения.

В ходе испытаний также применялись варианты вторичного элемента с медным покрытием с суммарной толщиной $0,25 \text{ мм}$ и $0,5 \text{ мм}$, при этом общая толщина элемента составляла $4,25 \text{ мм}$ и $4,5 \text{ мм}$ соответственно (рис.1). Омеднение стального вторичного элемента проводилось гальваническим способом в кислотном медном электролите, содержащем в одном литре воды 200 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (медный купорос), 50 г H_2SO_4 (серная кислота) и 40 мг ионов хлора. Перед осаждением эти образцы подвергались механической зачистке, обезжириванию в щелочной ванне и травлению в разбавленной серной кислоте (100 г на литр) для активации поверхности. В качестве анодов использовались медные пластины.

Процесс проводился в гальваностатическом режиме при напряжении 3 В , плотности тока 200 А/м^2 и температуре электролита 25°C . Продолжительность осаждения составляла 300 и 600 минут, что обеспечило формирование медного покрытия толщиной $0,125 \text{ мм}$ и $0,25 \text{ мм}$ на каждую сторону поверхности вторичного элемента соответственно. При осаждении на обе стороны суммарное увеличение толщины образца составляло $0,25 \text{ мм}$ и $0,5 \text{ мм}$ соответственно. Толщина покрытия определялась по изменению толщины образца до и после омеднения с использованием механического микрометра с делением $0,01 \text{ мм}$ и погрешностью $\pm 0,005 \text{ мм}$.



Рис. 1. Вторичные элементы ЛАД:

1 - стальной вторичный элемент, 2 - омедненный вторичный элемент с толщиной медного слоя 0,25 мм, 3 - омедненный вторичный элемент с толщиной медного слоя 0,5 мм

Бегущее магнитное поле в ЛАД обеспечивается с помощью трехфазной обмотки статора. Обмотка статора по рекомендациям [1,5,6] выполнена по схеме соединения "звезда" (рис.2).

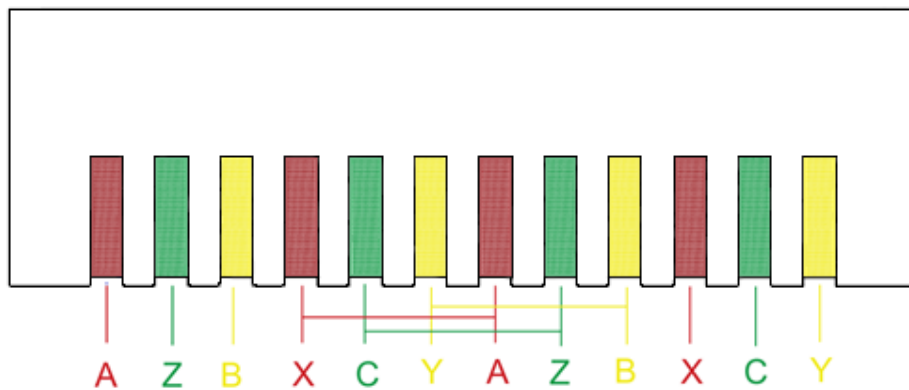


Рис. 2. Трехфазная обмотка ЛАД

Для измерения силы тяги в испытательном стенде используется цифровой динамометр фирмы Soonkoda с диапазоном измерения 0...500 Н и классом точности до 1% (рис.3а) [13]. Прибор позволяет измерять как силу тяги, так и силу сжатия, что позволяет определять силу тяги, развиваемую устройством в пусковом режиме и в процессе движения вторичного элемента. Прибор позволяет проводить измерения в трех режимах: в реальном времени, принять результат максимального значения измеряемой силы, принять результат первого значения измерения [13]. Для измерения линейной скорости вторичного элемента ЛАД на испытательном стенде используется цифровой измеритель линейной скорости фирмы CyberTech (рис.3б). Прибор проводит измерения в диапазоне 0,05...1999,9 м/мин контактным методом при

измерении линейных скоростей [14]. Класс точности измерений составляет 0,05%. Прибор фиксирует максимальное, минимальное и последнее значения результатов измерений [14].



а)

б)

Рис. 3. Средства измерений параметров ЛАД:

а - динамометр Soonkoda для измерения силы тяги ЛАД; б - цифровой измеритель линейной скорости CyberTech

Для расчета ЛАД и проектирования испытательного стенда были применены методики расчета, основанные на эквивалентных схемах замещения асинхронных двигателей с массивными роторами. Для расчета параметров исполнения со стальным вторичным элементом использовались методики [3,15,16], а для омедненных вариантов - [9,10]. В этих схемах замещения одним из ключевых параметров является комплексное магнитное сопротивление массивного вторичного элемента. Используя вышеперечисленные методики и взяв как основу представленные номинальные данные, были спроектированы и изготовлены двухсторонний статор ЛАД (рис.4) и опора для вторичного элемента (рис.5).

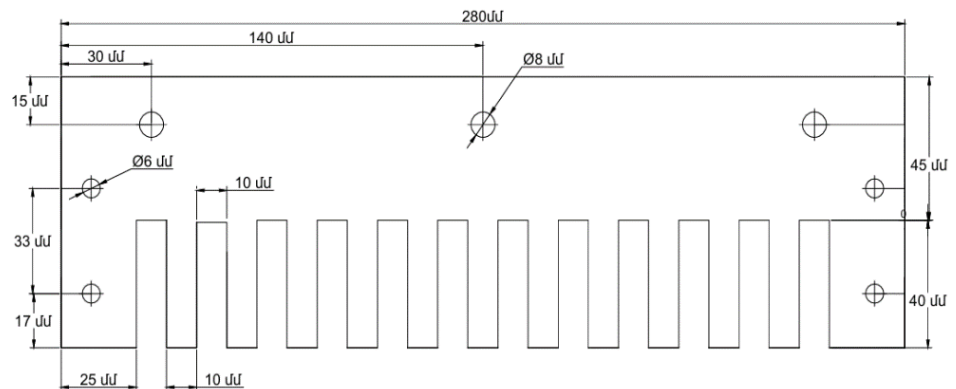


Рис. 4. Чертёж статора ЛАД

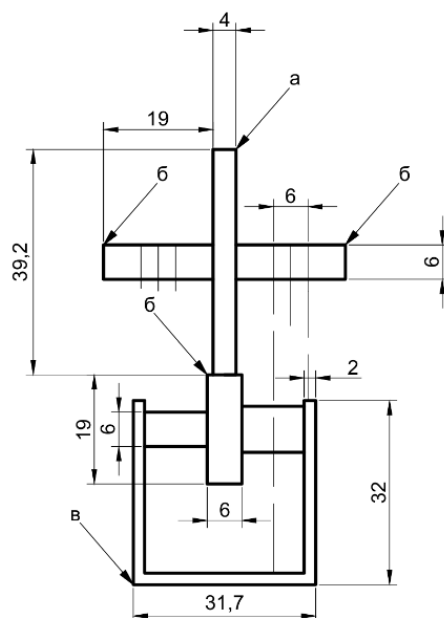


Рис. 5. Чертёж опоры вторичного элемента:

а – вторичный элемент ЛАД, б – направляющие подшипников качения с цилиндрическими опорами, в – корпус опоры вторичного элемента

В результате из вышеприведенных частей был собран экспериментальный стенд ЛАД, который показан на рис. 6. Двухсторонний статор размещен на опоре и имеет возможность регулировки воздушного зазора. Воздушный зазор регулируется в диапазоне от 1 до 10 мм. В ходе дальнейших исследований и разработки системы управления ЛАД, направленной на стабилизацию воздушного зазора, важно оценить зависимость силы тяги от величины воздушного зазора. Возможность регулировки зазора может использоваться для измерения силы тяги при различных его значениях, а также при исследовании работы ЛАД в условиях несимметричного воздушного зазора. Вторичный элемент размещен на опоре и может двигаться по направляющей, состоящей из 4-ех подшипников качения, расположенных с боков вторичного элемента, и 2-х подшипников качения, на которые опирается вторичный элемент.

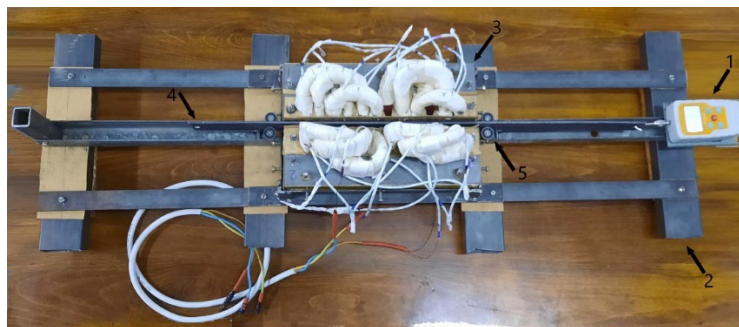


Рис. 6. Экспериментальный стенд ЛАД:

1 - цифровой динамометр, 2 - опора, 3 - двухсторонний статор с трехфазной обмоткой, 4 - вторичный элемент, 5 - подшипник качения

Для измерения силы тяги во время пуска ЛАД вторичный элемент закрепляется к цифровому динамометру, который настраивается на режим измерения первого установившегося значения. Перед подключением статора к источнику питания вторичный элемент устанавливается относительно статора так, чтобы обеспечить равенство воздушных зазоров с обеих сторон. В ходе эксперимента величина воздушного зазора поддерживается постоянной и составляет 2 мм с каждой стороны, что позволяет исключить влияние поперечной асимметрии магнитного поля на результаты измерений. Одновременно вторичный элемент устанавливается с продольным смещением от центра статора на 60 мм в сторону динамометра, что составляет 9,1% от всей длины вторичного элемента. В этом положении вторичный элемент перекрывает длину статора на стороне динамометра на 250 мм, а с противоположной стороны - соответственно на 130 мм при длине статора 280 мм. Выбранное продольное положение обусловлено конструктивными особенностями измерительной установки.

При измерениях вторичный элемент находится в неподвижном состоянии. Трехфазная обмотка статора с помощью индукционного регулятора напряжения подключается к трехфазной сети. С помощью индукционного регулятора напряжения питание регулируется на значения 100, 150, 180 и 220 В. Значение силы тяги фиксируется после включения питания и установления значения силы тяги. После фиксации значения стенд отключается от питания, динамометр обнуляется, а значение напряжения изменяется. Процесс повторяется для трех исполнений вторичного элемента.

Следуя шагам вышеописанной методики, на испытательном стенде были проведены измерения силы тяги во время пуска ЛАД при стальном вторичном элементе, а также стальных вторичных элементах с медным покрытием

толщиной 0,25 мм и 0,5 мм. Для каждой точки измерения испытания проводились три раза, в качестве результата принималось среднее арифметическое полученных значений. Расхождение между результатами трех измерений составляло от 1,1 до 3,8%. Результаты измерений представлены в табл. 1, где приведены значения эффективной силы тяги $F_{Тэф}$, зарегистрированные динамометром и действующие на вторичный элемент. Данная сила представляет собой результирующую величину и определяется как разность между электромагнитной силой $F_{эм}$ и силами трения $F_{тр}$:

$$F_{Тэф} = F_{эм} - F_{тр}, \quad (1)$$

где $F_{эм}$ - электромагнитная сила, воздействующая на вторичный элемент и формируемая статорами ЛАД, а $F_{тр}$ - силы трения, которые возникают между подшипниками и вторичным элементом и которые преодолевает вторичный элемент для движения. Оценка электромагнитных сил $F_{эм}$ проводилась с помощью анализа значений эффективной силы тяги и сил трения. Сравнительные значения полученных результатов эффективных сил тяги приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения эффективных $F_{Тэф}$ сил тяги ЛАД

Значение напряжения питания, В	Сила тяги $F_{Тэф1}$, действующая на стальной вторичный элемент, Н	Сила тяги $F_{Тэф2}$, действующая на стальной вторичный элемент с медным слоем толщиной 0,25 мм, Н	Сила тяги $F_{Тэф3}$, действующая на стальной вторичный элемент с медным слоем толщиной 0,5 мм, Н
100	2,6	3,9	4,0
150	6,7	7,2	8,2
180	6,8	7,9	8,9
220	7,2	9,4	9,6

Таблица 2

Сравнительные значения эффективных $F_{Тэф}$ сил тяги ЛАД

Значение напряжения питания, В	Разница сил тяги $F_{Тэф2} - F_{Тэф1}$, Н	Разница сил тяги $F_{Тэф3} - F_{Тэф1}$, Н	Разница сил тяги $F_{Тэф3} - F_{Тэф2}$, Н	Разница $F_{Тэф2}$ с $F_{Тэф1}$, %	Разница $F_{Тэф3}$ с $F_{Тэф1}$, %	Разница $F_{Тэф3}$ с $F_{Тэф2}$, %
100	1,3	1,4	0,1	50	53,8	2,6
150	0,5	1,5	1	7,5	22,4	13,9
180	1,1	2,1	1	16,2	30,9	12,7
220	2,2	2,4	0,2	30,6	33,3	2,1

Анализ измерений показал, что осаждение медного слоя на стальном вторичном элементе приводит к увеличению эффективной силы тяги ЛАД. По

сравнению со стальным вторичным элементом, в зависимости от напряжения питания, эффективная сила тяги увеличивается от 7,5 до 50% при медном слое толщиной 0,25 мм и от 22,4 до 53,8% при медном слое толщиной 0,5 мм. По сравнению с медным слоем толщиной 0,25 мм, эффективная сила тяги увеличивается от 2,1 до 13,9% при медном слое толщиной 0,5 мм. Следует отметить нелинейный характер зависимости эффективной силы тяги от напряжения питания. Так, по сравнению со стальным вторичным элементом, относительный прирост силы тяги достигает максимального значения при напряжении 100 В, затем снижается при 150 В и далее возрастает с увеличением напряжения. Иная зависимость наблюдается при сравнении омеднённых вторичных элементов между собой. При увеличении толщины медного слоя с 0,25 до 0,5 мм прирост эффективной силы тяги составляет около 2,6% при напряжении 100 В, достигает максимума при 150 В и затем уменьшается с ростом напряжения. Учитывая наблюдаемую зависимость прироста силы тяги от напряжения питания, этот фактор необходимо исследовать в последующих работах.

С целью корректной оценки положительного эффекта омеднения вторичного элемента на силу тяги ЛАД были рассмотрены и измерены силы сопротивления, возникающие между подшипниками и вторичным элементом. Эти силы обусловлены внутренним трением в подшипниках и взаимодействием между наружной цилиндрической поверхностью подшипника и вторичным элементом [17,18]. Как было отмечено ранее, в экспериментальном стенде применяются подшипники качения, для которых характерны силы сопротивления качению. Для подшипников, на которые опирается вторичный элемент, сила, воздействующая на них, обусловлена весом вторичного элемента [17,18]. Для стального вторичного элемента вес равен 7,85 Н, тогда как при нанесении слоя меди толщиной 0,25 мм и 0,5 мм вес увеличивается до 8,39 Н и 8,93 Н соответственно. В то же время сила, воздействующая на боковые подшипники, формируется за счёт прижатия подшипников к вторичному элементу [17,18]. Прижатие для всех исполнений вторичного элемента настраивалось одинаково с помощью опоры подшипников. Для определения значений сил трения, действующих на вторичный элемент, использовался цифровой динамометр. Измерения выполнялись при его равномерном протягивании в направлении движения вторичного элемента, что позволяло фиксировать максимальную силу трения покоя. Для каждого исполнения вторичного элемента измерения проводились четыре раза, и в качестве результата принималось среднее арифметическое полученных значений. Расхождение между результатами четырех измерений составляло от 1,55 до 3,4%. В результате было

установлено, что сила трения покоя стального вторичного элемента составляет $F_{\text{тр}1} = 2,925 \text{ Н}$, при вторичном элементе с омеднением толщиной $0,25 \text{ мм}$ - $F_{\text{тр}2} = 3,175 \text{ Н}$, а при омеднении толщиной $0,5 \text{ мм}$ - $F_{\text{тр}3} = 3,22 \text{ Н}$. Таким образом, полученные данные показывают, что наличие медного слоя приводит к увеличению сил трения. По сравнению со стальным элементом, сила трения выше на 8,5% и 10,1% соответственно. Однако следует учесть, что увеличение может быть частично связано с конструктивными особенностями механических узлов экспериментального стенда и возможной неравномерностью нанесённого медного покрытия, и для более точной оценки результатов необходимо более глубоко изучить воздействие сил трения на вторичный элемент.

Анализ измерения эффективной силы тяги и сил трения с учётом формулы (1) показывает, что хотя омеднение увеличивает силы трения между подшипниками и вторичным элементом до 10,1%, измеряемая эффективная сила тяги увеличивается по сравнению со стальным вторичным элементом, что указывает на рост электромагнитных сил $F_{\text{эм}}$ и, следовательно, на положительный эффект омеднения.

Заключение. Спроектированный экспериментальный стенд дает возможность проводить испытания ЛАД, измеряя его параметры с использованием вторичных элементов разного исполнения. Результаты проведённых измерений, как и ожидалось, показывают перспективность применения омедненных вторичных элементов для увеличения силы тяги ЛАД, однако для более точной оценки результатов необходимо более глубоко изучить воздействие сил трения на вторичный элемент и зависимость силы тяги от напряжения питания ЛАД. В рамках последующих исследований планируется проводить измерения линейной скорости и силы тяги вторичного элемента при движении.

Литература

1. **Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н.** Линейные асинхронные двигатели. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 256 с.
2. **Соломин В.А., Замшина Л.Л., Соломин А.В.** Линейные асинхронные тяговые двигатели для высокоскоростного подвижного состава и их математическое моделирование. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. - 164с.
3. **Boldea I.** Induction Machines Handbook. - 3rd ed. - Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2020.
4. **Gieras J.F.** Linear Induction Drives. - Oxford, UK: Oxford University Press, 1994.

5. **Vintizenko I.** Linear Induction Accelerators for High-Power Microwave Devices.- Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
6. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс.: Учеб. пособие: в 2 т. / **И.П. Киселёв, и др.; Под ред. И.П. Киселёва.**- М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014.- 372 с.
7. **Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А.** Магнитолевитационная транспортная технология / Под ред. В.А. Гапановича. — М.: Физматлит, 2014.- 476 с.
8. **Овчинников И.** Линейные электрические двигатели.- Lambert academic publishing, 2012.-160с.
9. **Постников И.М.** Проектирование электрических машин: Учебное пособие для студентов энергетических специальностей вузов СССР.- 2-е изд., перераб. и доп.- Киев: Гостехиздат УССР, 1960.- 910 с.
10. **Маилян А.Л., Сагателян М.А., Хангельдян А.Г.** Расчет параметров линейной асинхронной машины со вторичным элементом, покрытым слоем меди // Вестник Национального политехнического университета Армении: Электротехника, энергетика.- 2023.- №1.- С. 68-79.
11. **Епифанов А.П., Криль Д.Б.** Линейный асинхронный электропривод монорельсовой транспортной системы кормораздачи в животноводческих фермах // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.- 2022.- №1 (66).- С.113-124.
12. **Zhang Q., Liu H., Song T., & Zhang Z.** A novel, improved equivalent circuit model for double-sided linear induction motor // Electronics.- 2021.- 10.- 1644.
13. **Soonkoda, Digital Force Gauge User Manual, Model S-3N, n.d.** [Online]. Available: <https://manuals.plus/asin/B0CXXZ2KM7>
14. **CyberTech Instruments, 3-in-1 Tri-Mode Tachometer User Manual, Model CT-3M,** 2018.
15. **Куцевалов В.М.** Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами.- М.: Энергия, 1979. – 160с.
16. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин: Учебник.- М.: Юрайт, 2011.- 767 с.
17. **Мышкин Н.К., Петроковец М.И.** Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. - М.: Физматлит, 2007.- 368 с.
18. **Bhushan B.** Principles and Applications of Tribology. - 2nd ed. - New York: John Wiley & Sons, 2013.- 980p.

*Поступила в редакцию 18.12.2026.
Принята к опубликованию 03.06.2026.*

**ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՆԱԽԱՏԵՍՎԱԾ ԳԾԱՅԻՆ ԱՍԻՆԽՐՈՆ
ՇԱՐԺԻՉԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱՐԿԱՆ ՍՏԵՆԴ**

Ա.Գ. Խանգելյան

Ներկայացված է գծային ասինխրոն շարժիչի փորձարարական ստենդ, որը նախատեսված է տրանսպորտային համակարգերի համար: Քննարկվում են վերգետնյա արագընթաց տրանսպորտային համակարգերում կիրառվող գծային ասինխրոն շարժիչների քարշային բնութագրերի բարելավման հնարավորությունները: Հետազոտության արդիականությունը պայմանավորված է գծային ասինխրոն շարժիչների՝ երկաթուղային տրանսպորտային համակարգերում, կոնվեյերային, վերելակային և այլ համակարգերի շարժիչներում տարածման աճով, ինչպես նաև մեծ թեքությամբ հատվածները և գերբեռնված ռեժիմները հաղթահարելու նպատակով շարժիչի միջոցով զարգացվող բավարար քարշի ուժի ապահովման անհրաժեշտությամբ: Որպես հետազոտության օբյեկտ ընտրվել է կարճ երկկողմանի ստատորով և երկար երկրորդական տարրով գծային ասինխրոն շարժիչը: Աշխատանքի նպատակն է շարժիչի էլեկտրամագնիսական և մեխանիկական պարամետրերի ուսումնասիրման համար փորձարարական ստենդի մշակումն ու պատրաստումը՝ տարբեր կատարում ունեցող երկրորդական տարրերի կիրառմամբ, ներառյալ պղնձապատ պողպատե տարբերակները: Հետազոտության շրջանակներում իրականացվել են շարժիչի պարամետրերի հաշվարկներ՝ ըստ հայտնի մեթոդակարգերի, պատրաստվել են ստատորը և երկրորդական տարրի հենարանը: Ներկայացվել են շարժիչի երկրորդական տարրի գծային արագության և դրա վրա ազդող քարշի ուժի չափման եղանակները: Գնահատվել է պղնձե ծածկույթի հաստության ազդեցությունը թողարկման ժամանակ զարգացած շարժիչի քարշի ուժի արժեքի վրա՝ ի համեմատ զանգվածային պողպատե երկրորդական տարրի: Ներկայացվել են փորձարկումների արդյունքները, որոնք ցույց են տվել, որ զանգվածային պողպատե երկրորդական տարրի համեմատությամբ պղնձապատ երկրորդական տարրն ապահովում է քարշի ուժի զգալի աճ՝ 7,5-ից մինչև 50% 0,25 մմ և 22,4-ից մինչև 53,8%՝ 0,5 մմ պղնձե շերտի հաստությունների դեպքում: Չափումների արդյունքները ցույց են տալիս գծային ասինխրոն շարժիչների քարշի ուժի բարելավման նպատակով պղնձապատ երկրորդական տարրերի օգտագործման հեռանկարները, սակայն արդյունքների ավելի ճշգրիտ գնահատման համար անհրաժեշտ է ավելի խոր ուսումնասիրել շփման ուժերի ազդեցությունը երկրորդական տարրի վրա:

Առանցքային բառեր. արագընթաց տրանսպորտային համակարգեր, գծային ասինխրոն շարժիչ, պղնձապատում, երկրորդական տարր, փորձարարական ստենդ, քարշի ուժ:

A TEST BENCH OF A LINEAR INDUCTION MOTOR FOR TRANSPORTATION SYSTEMS

A.G. Khangeldyan

A test bench for a linear induction motor (LIM) intended for transportation systems is presented. The possibility of improving the traction characteristics of linear induction motors used in ground-based high-speed transportation systems is considered. The relevance of the study is conditioned by the growing spread of LIMs in railway transportation systems and in drives of conveyor, elevator, and other systems, as well as the need to ensure sufficient traction force developed by the LIM to overcome sections with large inclinations and operate under overloaded modes. As the object of the study, a LIM with a short double-sided stator and a long secondary element is adopted. The aim of the work is the development and fabrication of a test bench for studying the electromagnetic and mechanical parameters of the motor when using secondary elements of various designs, including copper-plated steel variants. Within the framework of the study, calculations of LIM parameters were carried out using the existing methods, experimental stators and a support structure for the secondary element were manufactured. Methods for measuring the linear speed of the LIM secondary element and the traction force acting on it are presented. The influence of the thickness of the copper coating on the value of the traction force during LIM start-up is evaluated in comparison with a solid steel secondary element. The test results are presented, which show that, compared to a solid steel secondary element, the copper-plated secondary element provides a noticeable increase in traction force: from 7,5 to 50% with a copper layer thickness of 0,25 mm and from 22,4 to 53,8% with a thickness of 0,5 mm. The results of the measurements show the potential of using copper-plated secondary elements to increase the traction force of the LIM. However, for a more accurate assessment of the results, it is necessary to study in more detail the effect of friction forces on the secondary element.

Keywords: high-speed transportation systems, linear induction motor, copper plating, secondary element, test bench, traction force.