

УДК [UDC] 621.313.6
DOI 10.17816/transsyst201843s1351-364

© В. А. Соломин, А. В. Соломин, Н. А. Трубицина, Л. Л. Замшина,
А. А. Чехова

Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДУКТОРОВ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАГНИТНОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Обоснование: Существенному экономическому росту во многих странах мира может способствовать увеличение скорости движения современных и принципиально новых транспортных средств. Это позволит увеличить грузооборот при перевозке товаров, оживит международную торговлю, повысит комфорт пассажиров и сократит их время пребывания в пути.

Цель: Решение этой задачи – развитие и широкое применение высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта (ВМЛТ) с линейными тяговыми двигателями. Перспективно использование для привода ВМЛТ линейных асинхронных двигателей (ЛАД), которые могут иметь различные конструктивные исполнения. Линейные асинхронные двигатели бывают с продольным, поперечным и продольно-поперечным замыканием магнитного потока. Индукторы ЛАД могут устанавливаться и на высокоскоростных транспортных экипажах, и в путевой структуре ВМЛТ, как это было сделано в Китайской Народной Республике, где экспрессы на магнитном подвесе связывают г. Шанхай с аэропортом и надежно работают более 10 лет. Основными элементами индуктора линейного асинхронного двигателя являются магнитопровод (ферромагнитный сердечник) и многофазная (как правило, трехфазная) обмотка. С развитием высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта все более актуальными будут становиться вопросы совершенствования технологии изготовления различных устройств ВМЛТ, в том числе и методы производства индукторов линейных асинхронных двигателей. Традиционно индукторы ЛАД собираются из заранее изготовленных отдельных деталей.

Методы: Предлагается и рассматривается интегральная технология изготовления индукторов линейных асинхронных двигателей для высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта методом напыления материалов на подложку через сменяемые трафареты. Новая технология исключает поочередное изготовление отдельных узлов и деталей и последующую их сборку для получения готового изделия. Предложена в качестве примера методика определения размеров трафаретов для изготовления одного из вариантов индуктора линейного асинхронного двигателя.

Вывод: Интегральная технология изготовления перспективна для создания высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта.

Ключевые слова: магнитнолевитационный транспорт, линейный асинхронный двигатель, индуктор, напыление материалов, сменяемые трафареты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РЖД № 17-20-04236 «Магнитное охлаждение перспективных транспортных и энергетических систем».

© V. A. Solomin, A. V. Solomin, N. A. Trubitsina, L. L. Zamchina,
A. A. Chekhova

Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russian Federation)

NEW TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING INDUCTORS OF LINEAR INDUCTION MOTORS FOR MAGNETIC-LEVITATION TRANSPORT*

Background: Significant economic growth in many countries of the world can contribute to an increase in the speed of movement of modern and fundamentally new vehicles. This will increase the turnover of goods during the transportation of goods, revive international trade, increase the comfort of passengers and reduce their travel time.

Aim: The solution of this problem is the development and wide application of high-speed magnetic-levitation transport (HSMLT) with linear traction engines. It is promising to use linear induction motors (LIM) for the HSMLT drive, which can have various design versions. Linear induction motors come with a longitudinal, transverse and longitudinal-transverse closure of the magnetic flux. LIM inductors can be installed on both high-speed transport crews and in the HSMLT track structure, as it was done in the People's Republic of China, where express trains on magnetic suspension connect Shanghai with the airport and reliably operate for more than 10 years. The main elements of the inductor of a linear induction motor are a magnetic core (ferromagnetic core) a multiphase (usually three-phase) winding. With the development of high-speed magnetic-levitation transport, the issues of improving the manufacturing technology of various HSMLT devices, including the methods for producing inductors of linear induction motors, will become increasingly relevant. Traditionally, LIM inductors are assembled from pre-manufactured individual parts.

Methods: An integral technology for manufacturing inductors of linear induction motors for high-speed magnetic-levitation transport is proposed and considered by the method of spraying materials onto a substrate through replaceable stencils. The new technology eliminates the alternate manufacture of individual assemblies and parts and their subsequent assembly to obtain a finished product. A method for determining the size of stencils for manufacturing one of the inductor variants of a linear induction motor is proposed as an example.

Conclusion: Integral manufacturing technology is promising for the creation of high-speed magnetic-levitation transport.

Keywords: magnetic-levitation transport, linear induction motor, inductor, materials spraying, replaceable stencils.

ВВЕДЕНИЕ

В семидесятых-восемидесятых годах прошлого века во многих странах мира, в том числе и в Советском Союзе, ученые и инженеры занимались разработкой высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта.

Выполнены многочисленные научные исследования и опытно-конструкторские разработки в области магнитной левитации и линейного тягового привода высокоскоростного транспорта, создано немало технических решений, защищенных патентами на изобретения, построены опытные полигоны для проведения экспериментов. Эти исследования по разным причинам были или свернуты или значительно сокращены.

В начале двухтысячных годов развитие мировой экономики потребовало создания принципиально новых высокоскоростных транспортных средств для организации грузовых и пассажирских перевозок. Большой интерес возник к высокоскоростному МЛТ после удачной реализации разработок ученых и инженеров из ФРГ в Китайской Народной Республике. Это был первый успешно реализованный коммерческий проект: высокоскоростной магнитнолевитационный поезд обеспечил быстрый и комфортабельный проезд авиапассажиров между г. Шанхаем и аэропортом. Все это способствовало началу нового этапа в создании, исследовании и разработках высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта на новом, более высоком уровне. Активизировались работы в области МЛТ и в Российской Федерации, о чем свидетельствуют современные публикации сотрудников ПГУПС (г. Санкт-Петербург), представленные в серьезных изданиях [1–7]. В новых разработках заинтересованы ОАО «Российские железные дороги» [8–11]. Периодически на расширенных заседаниях научно-технического совета ОАО «РЖД» рассматриваются вопросы по разработке новых видов транспорта.

Одним из самых главных элементов в системах высокоскоростного МЛТ является линейный асинхронный двигатель, преобразующий электроэнергию непосредственно в поступательное перемещение транспортного экипажа, поэтому важными и актуальными являются вопросы совершенствования технологии изготовления индукторов тяговых ЛАД.

ЦЕЛЬ

Анализ литературных источников, посвященных технологии производства электрических машин, показал, что не существует специальной литературы по технологии изготовления линейных электродвигателей. Хотя в Российской Федерации линейные двигатели и не выпускаются большими сериями, ряд специализированных предприятий организовал их производство.

Развитие высокоскоростного магнитнолевитационного транспорта, а так же – гибких производственных систем, робототехники, перспективных видов внутризаводского транспорта, систем автоматики и простых (по

кинематике) электроприводов будет способствовать производству всё большего количества электрических линейных машин. Вместе с тем выпуск линейных двигателей малыми сериями на разных предприятиях приводит к тому, что везде создаются собственные технологии, базирующиеся на традиционных методах изготовления электрических машин, включающих последовательное изготовление отдельных элементов конструкции с последующей их сборкой в готовое изделие, что снижает производительность труда и повышает стоимость изделия.

Для штамповки пластин индуктора линейного двигателя изготавливают специальные матрицы. При изготовлении небольшой партии линейных двигателей магнитопроводы изготавливают путем фрезерования пазов для укладки обмотки.

Обмотки индукторов линейных электрических машин выполняются по традиционным технологиям, включающим намотку и укладку секций, а также пропитку и сушку.

Сборка электрических машин является заключительным технологическим процессом, при котором узлы и отдельные детали соединяются в готовое изделие. От этого технологического процесса во многом зависят энергетические и эксплуатационные показатели электрической машины: коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, надежность и долговечность.

Изобретений в области совершенствования технологии электромашиностроения сравнительно немного, если иметь в виду технические решения, принципиально отличные от традиционных. Ряд изобретений посвящен безотходным технологиям изготовления сердечников электрических машин, содержащим витые ярма и гофрированные зубцовые зоны. Много разработок по изготовлению магнитопроводов из ферромагнитных порошков на основе металлокерамики. Этот метод пригоден и для изготовления сердечников линейных электрических машин.

Все это свидетельствует о том, что практически отсутствуют новые, высокие технологии в производстве электрических машин, в том числе и линейных. Нами предложена новая, интегральная технология изготовления индукторов тяговых линейных асинхронных двигателей.

ОСНОВЫ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДУКТОРОВ ЛАД

В производстве электрических машин по сегодняшний день преобладают технологии, широко использующие ручной труд. Новые технологии изготовления индукторов линейных асинхронных двигателей позволяют

уменьшить число этапов изготовления машины и существенно снизить долю участия человека в технологическом процессе, а в ряде случаев – полностью автоматизировать производство индукторов линейных двигателей.

В основу технологии положены известные в технике способы изготовления деталей методами порошковой металлургии и напыления материалов [12, 13]. Эта технология может быть использована для изготовления катушек индуктивности, дросселей, трансформаторов и других электротехнических устройств.

Одним из перспективных технологических методов, относящихся к области высоких технологий, является напыление материалов [12, 13]. Этот метод находит все более широкое применение в различных областях техники. Метод напыления материалов используется при производстве конденсаторных лент, для изготовления антикоррозионных покрытий, для восстановления и упрочнения изношенных деталей, для нанесения корпусной изоляции катушек электрических аппаратов и для изготовления пазовой изоляции некоторых электрических машин.

Технология напыления материалов делится на три основных вида:

1. Газопламенное или газотермическое напыление, при котором используется теплота, выделяемая при сгорании смеси горючего газа с кислородом. В зависимости от состояния напыляемого материала оно может быть трех типов: проволоочное, прутковое и порошковое.

2. Газоплазменное напыление, основанное на использовании теплоты, выделяющейся при горении электрической дуги. При этом методе газ нагревается до температуры, при которой происходит процесс диссоциации. Температура этого процесса определяется типом газа и давлением.

3. Вакуумное напыление – довольно широко применяется в космической технике и электронике. При таком виде напыления используются электронные пушки.

Новая технология исключает предварительное изготовление отдельных элементов конструкции индуктора и последующую их сборку в готовое изделие [14, 15]. Индуктор предлагается изготавливать путем поочередного напыления на подложку ферромагнитного материала (формирование сердечника магнитопровода), изоляционного материала (нанесение пазовой, межвитковой и межкатушечной изоляции) и электропроводящего материала (изготовление обмотки). В результате сразу получается изделие – индуктор ЛАД, готовый к применению на МЛТ. Другими словами, новая технология, объединяя, суммируя отдельные этапы производства индуктора линейного асинхронного двигателя, является интегральной.

Процесс изготовления сердечника индуктора линейного асинхронного двигателя (ЛАД) представлен на рис. 1. Сердечник может быть полностью

напылен газопламенным или газоплазменным способом, или на заранее заготовленное ярмо (шихтованное или сплошное) через трафарет наносится зубцовый слой.

На подложку *1*, подготовленную для напыления, нанесены ярмо *2* и зубцовый слой *3*. Для напыления зубцов служит трафарет *4*, имеющий отверстия *5*, сквозь которые в нужные места напыляется ферромагнитный материал *6* с помощью горелки *7*, имеющей возможность перемещения в направлении стрелок *A* и *B*. Трафарет *4* фиксируется относительно подложки и ярма при помощи направляющих *8*, проходящих сквозь отверстия *9* трафарета. На рис. 1 по соображениям наглядности трафарет показан приподнятым над сердечником, на самом деле трафарет лежит на сердечнике, закрывая своими перемычками пазы индуктора.

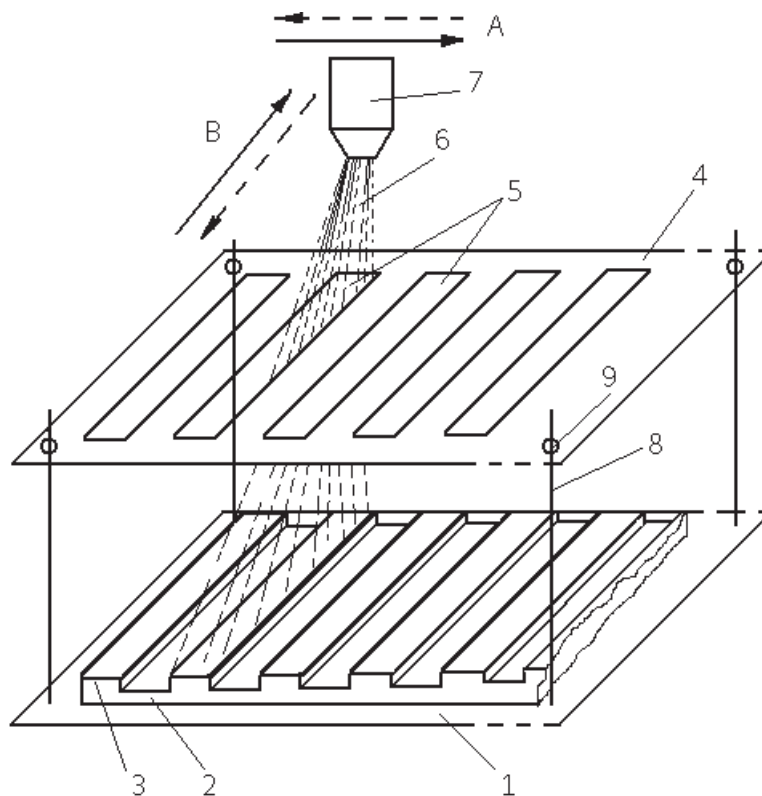


Рис. 1. Процесс изготовления сердечника индуктора ЛИД

На рис. 2 на подложке *1* показано напыленное сплошное ярмо *2*. Это наиболее простой способ изготовления магнитной системы индуктора линейного электродвигателя, но этот способ изготовления приведет к значительным потерям в сердечнике при эксплуатации машины. Строение сердечника, аналогичное шихтованному, из отдельных пластин электротехнической стали можно получить, используя другой трафарет, с помощью которого сердечник

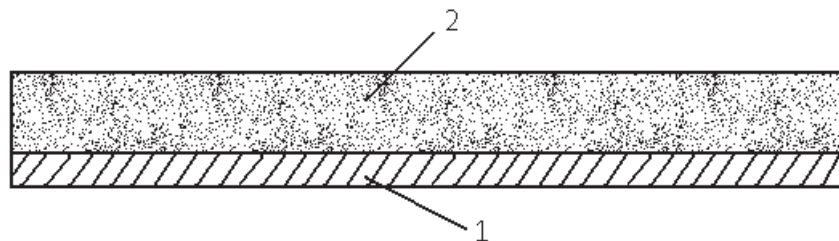


Рис. 2. Сплошное ярмо, изготовленное методом напыления

напыляется не сверху, как это показано на рис. 1, а сбоку. В этом случае ферромагнитный и изоляционный материал наносятся поочередно слоями, а в результате получают сердечник 1 (рис. 3), у которого ферромагнитные зоны 2 разделены слоями изоляции 3, в качестве которой можно использовать окись алюминия. Обратим внимание на то, что толщина пленки изоляционного материала может быть равна долям микрона, а следовательно, коэффициент заполнения сердечника сталью может достигать 99 % и даже более высоких значений, что совершенно недостижимо при использовании традиционных технологий изготовления магнитопроводов электрических машин.

На рис. 3 ярмо, изготовленное методом напыления, у которого слои ферромагнетика чередуются с прослойками изоляции.

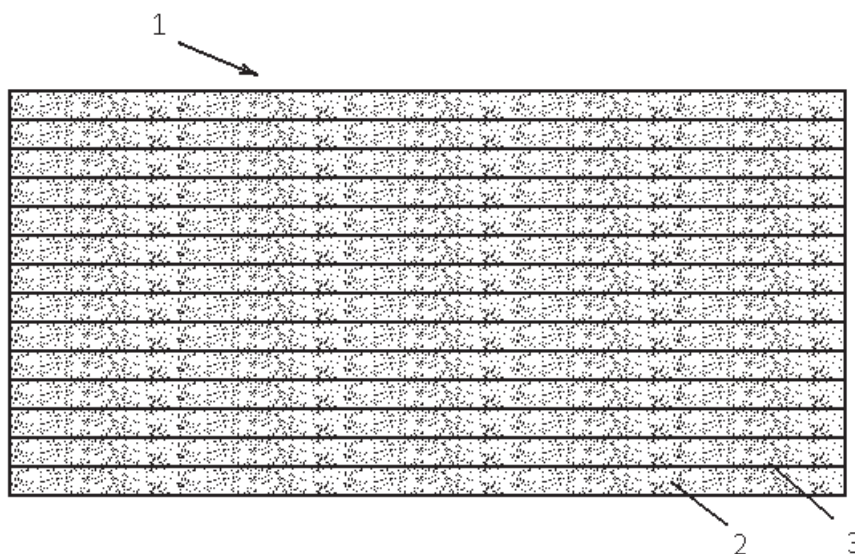


Рис. 3. Ярмо, изготовленное методом напыления, у которого слои ферромагнетика чередуются с прослойками изоляции

Одним из этапов новой технологии является изготовление первого виткового слоя. Для этой цели применяют трафарет (маску), изображенный на рис. 4. Трафарет 1 содержит отверстия 2, повторяющие форму первого виткового слоя обмотки, сквозь которые напыляют слой электропроводящего

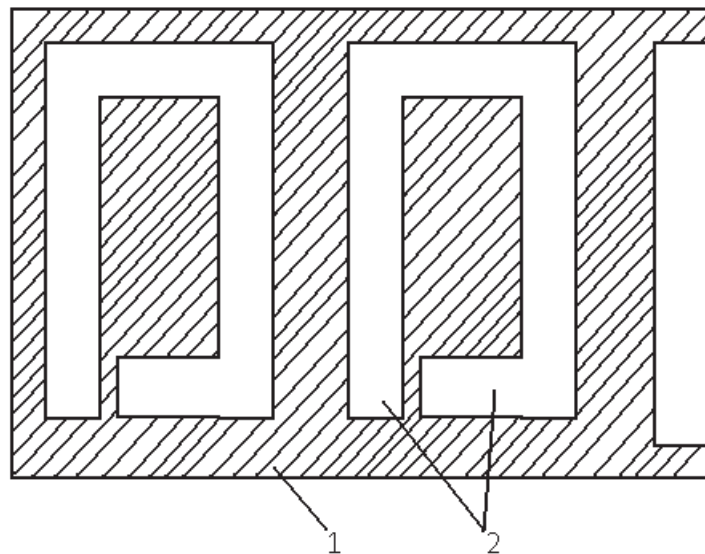


Рис. 4. Трафарет для изготовления первого слоя витков катушек обмотки индуктора линейного асинхронного двигателя

материала, обычно меди или алюминия. Перемычки, имеющие форму флажков, закрывают зубцы сердечника и не позволяют витку стать короткозамкнутым. Для повышения электропроводности витка напыленный проводящий слой подвергается операции оплавления пламенем горелки. Трафарет пригоден для изготовления только одного первого слоя витков катушек обмотки индуктора. Следует отметить, что трафарет для напыления витков должен быть выполнен из материала, температура плавления которого превышает температуру плавления электропроводящего материала. Но это необходимо, если технологический процесс включает операцию оплавления напыленных слоев электропроводящего материала.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТРАФАРЕТОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДУКТОРА ЛАД

Рассмотрим пример расчета размеров трафаретов для изготовления индуктора ЛАД с обмоткой, состоящей из сосредоточенных катушек.

Для производства серии однотипных индукторов линейных асинхронных двигателей заранее необходимо изготовить комплект трафаретов для напыления сердечника и обмотки машины. В комплект входит и подложка (основание), на которую наносится ярмо индуктора. В зависимости от метода нанесения материала подготавливается подложка. Её поверхность очищается и делается шероховатой для газопламенного и плазменного напыления ярма, или поверхность подложки полируется при вакуумном нанесении материалов.

Для определения размеров трафаретов должны быть заданы: длина и ширина индуктора линейной машины, число и размеры зубцов индуктора, количество и размеры катушек обмотки, количество витков в каждой катушке.

При расчете трафаретов приняты следующие условные обозначения:

L_u – длина индуктора;

b_u – ширина индуктора;

L_{mp} – длина трафарета;

$2p$ – число полюсов индуктора линейного двигателя;

τ – полюсное деление;

b_z – ширина зубца индуктора;

l_z – длина зубца;

b_k – ширина витка катушки обмотки индуктора;

δ – толщина изоляции витков катушки;

b_{mp} – ширина трафарета;

A – ширина межвиткового соединения;

n – номер витка (по высоте катушки);

W_1 – продольный размер, показывающий расстояние от левого внутреннего угла витка до начала межвиткового соединения;

W_2 – продольный размер, показывающий расстояние от правого внутреннего угла витка до конца межвиткового соединения;

b_n – расстояние между внутренними сторонами двух витков соседних катушек;

b_1, b_2, b_3 – расстояния между выступами трафаретов для напыления изоляции;

c – высота основания трафарета для нанесения изоляции.

На рис. 5 представлен трафарет для нанесения зубцового слоя сердечника индуктора. Для определения ширины катушки обмотки заданы значения: b_u, b_z, l_z, τ , а размеры данного трафарета определяются размерами и количеством зубцов индуктора, а также шириной последнего.

Ширина катушки обмотки без учета толщины межкатушечной изоляции:

$$b_k = (\tau / 3 - b_z) / 2. \quad (1)$$

Расстояние между внутренними сторонами двух витков соседних катушек:

$$b_n = 2b_k = \tau / 3 - b_z. \quad (2)$$

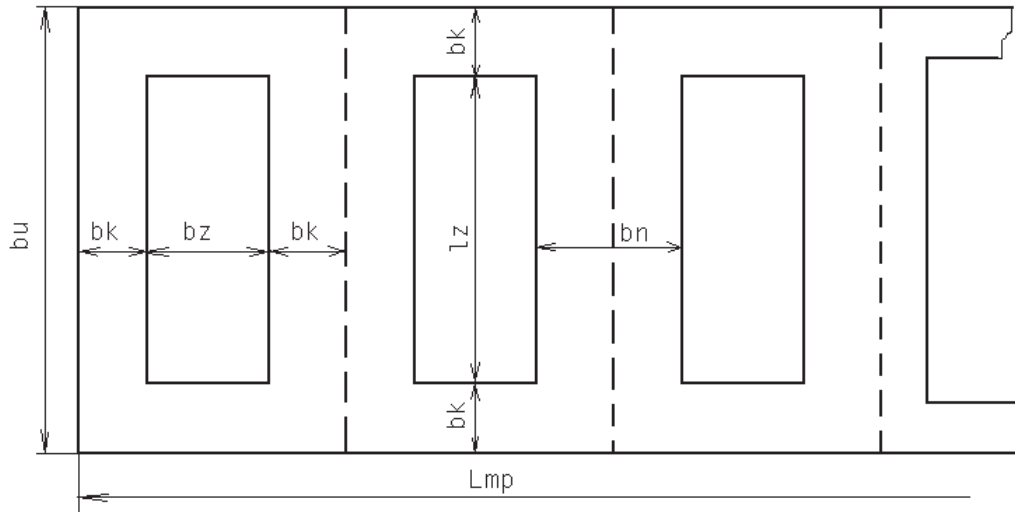


Рис. 5. Трафарет для напыления зубцового слоя сердечника индуктора линейного асинхронного двигателя

Длина индуктора линейного электродвигателя:

$$L_u = 2p\tau + 2b_k = 6p(2b_k + b_z) + 2b_k. \quad (3)$$

Трафарет для изготовления «*n*-го» виткового слоя изображен на рис. 6.

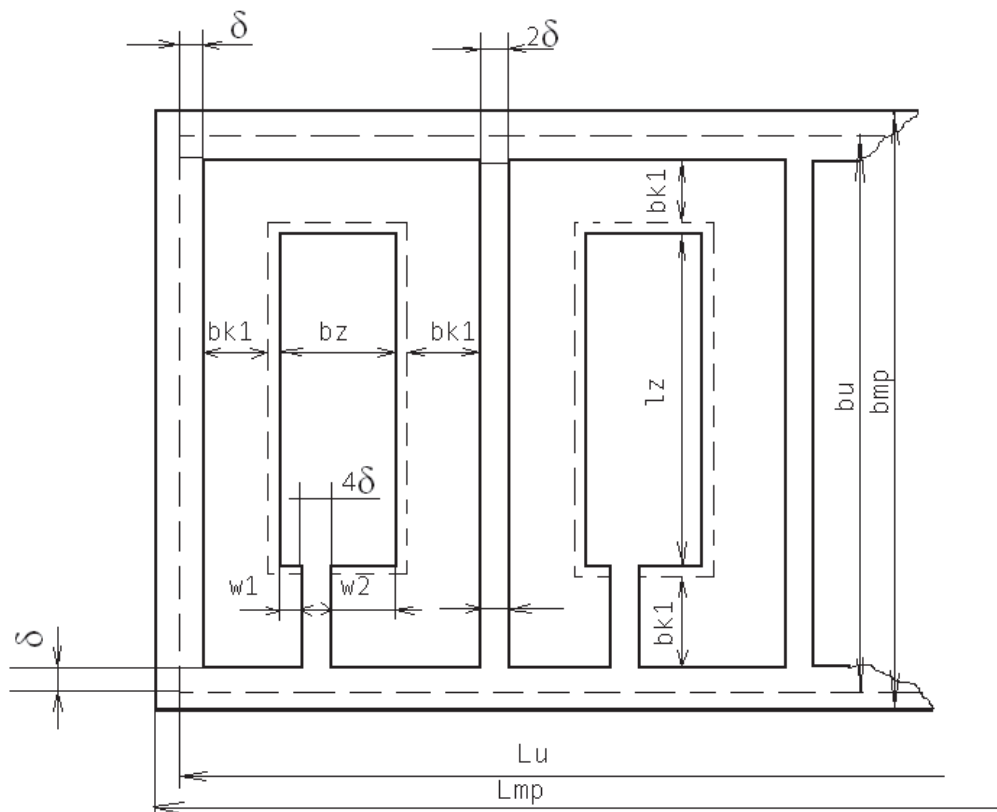


Рис. 6. Трафарет для напыления «*n*-го» виткового слоя катушек обмотки индуктора ЛАД

Ширина витка:

$$b_{k1} = b_k - 2\delta. \quad (4)$$

Длина трафарета, м:

$$L_{mp} = L_u + 0,04. \quad (5)$$

Расстояние от левого внутреннего угла витка до начала межвиткового соединения:

$$W_1 = (n - 1)(A + 4\delta). \quad (6)$$

Расстояние от правого внутреннего угла витка до конца межвиткового соединения:

$$W_2 = b_z - W_1 - 4\delta. \quad (7)$$

Трафарет для нанесения слоя изоляции на витки обмотки, закрывающий межвитковое соединение, показан на рис. 7.

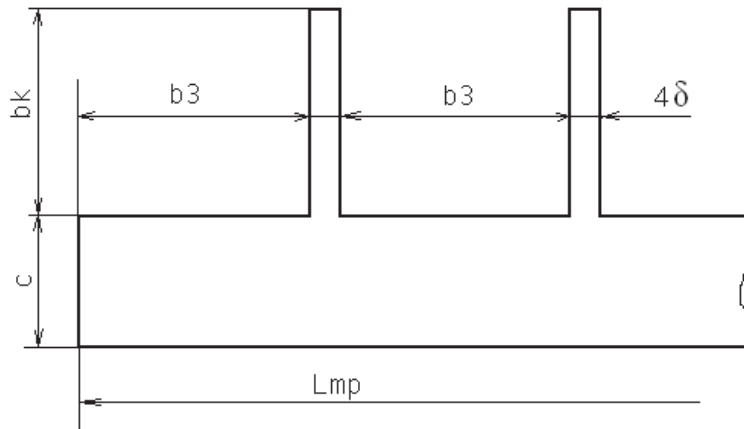


Рис. 7. Трафарет для нанесения слоя изоляции на витки обмотки

Продольные размеры:

$$b_1 = b_k - \delta_1 + W_1 + 0,02 + 4\delta; \quad (8)$$

$$b_2 = W_2 + 2b_k + W_1 - A + 4\delta; \quad (9)$$

$$b_3 = b_1 + A. \quad (10)$$

Таким образом, определяются размеры трафаретов для изготовления индукторов линейных асинхронных двигателей на основании данных расчетов и конструкторской документации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Новая интегральная технология изготовления индукторов линейных асинхронных двигателей методом напыления материалов является высокой и позволит увеличить качество тяговых ЛАД для магнитнолевитационного транспорта.

2. Изготовление индукторов тяговых ЛАД методом напыления материалов позволит автоматизировать процесс производства линейных машин для таких перспективных видов транспорта, как высокоскоростной магнитнолевитационный, в том числе и вакуумный.

3. Предложенная технология может быть использована в производстве трансформаторов и торцевых электродвигателей.

Библиографический список / References

1. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитнолевитационная транспортная технология. – М.: Физматлит; 2014. – 476 с. [Antonov YuF, Zaitsev AA. Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya. Moscow: Fizmatlit; 2014. 476 p. (In Russ.)].
2. Зайцев А.А., Талашкин Г.Н., Соколова Я.В. Транспорт на магнитном подвесе. – СПб: ПГУПС; 2010. – 160 с. [Zaitsev AA, Talashin GN, Sokolova YaV. Transport na magnitnom podvese. St. Peterburg: PGUPS; 2010. 160 p. (In Russ.)].
3. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитнолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения. – М.: Физматлит; 2015. – 612 с. [Antonov YuF, Zaitsev AA. Magnitolevitatsionnyy transport: nauchnyye problem i tekhnicheskiye resheniya. Moscow: Fizmatlit; 2015. 612 p. (In Russ.)].
4. Зайцев А.А., Морозова Е.Н., Талашкин Г.Н. и др. Магнитнолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны. – СПб: «НП-ПРИНТ», 2015. – 140 с. [Zaitsev AA, Morozova EN, Talashin GN., et al. Magnitolevitatsionnyy transport v edinoi transportnoi sisteme strany. St. Peterburg: «NP-PRINT»; 2015. 140 p. (In Russ.)].
5. Зайцев А.А. О современной стадии развития магнитнолевитационного транспорта // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 12. – С. 62–65. [Zaitsev AA. O sovremennoy stadii razvitiya magnitolevitatsionnogo transporta. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2016;(12): 62-65. (In Russ.)].
6. Зайцев А.А. Магнитнолевитационные системы и технологии // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 5. – С. 69–73. [Zaitsev AA. Magnitolevitatsionnyye sistemy i tekhnologii. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2014;(5):69-73. (In Russ.)].
7. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А., Морозова Е.И. Исследование магнитодинамической левитации и электродинамического торможения грузовой транспортной платформы // Известия ПГУПС. – 2014. – Т. 4. – № 41. – С. 5–15. [Antonov YuF, Zaitsev AA,

- Morozova EI. Issledovanie magnitodinamicheskoi levitatsii i electrodinamicheskogo tormozeniya gruzovoi transportnoi platformy. *Izvestia PGUPS*. 2014;4(41):5-15. (In Russ.).
8. Лapidус Б.М., Лapidус Л.В. Железнодорожный транспорт: философия будущего. – М.: Прометей, 2015. – 232 с. [Lapidus BM, Lapidus LV. Zeleznodoroznyi transport: filosofia buduchego. Moscow: Prometei; 2015. 232 p. (In Russ.).]
 9. Зайцев А.А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 5-15. [Zaitsev AA. Cargo-Carrying Transport Platform Based on Magnetic Levitation: Experience of creation *Transportation Systems and Technology*. 2015;2(2):5-15. (In Russ.)] doi: 10.17816/transsyst2015125-15
 10. Антонов Ю.Ф. Узел левитации как обращенная асинхронная машина с короткозамкнутым ротором // Труды 2-й Международной научной конференции МТСТ'14. – Киров, 2014. – С. 256–267. [Antonov YuF. Levitation node as a reversed induction machine with a squirrel-cage rotor. Trydy 2 Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii MTST'14. (Conference proceedings) Kirov; 2014. P. 256-267. (In Russ.).]
 11. Зайцев А.А. Технология «Магтрансити» в проекте «Санкт-Петербургский Маглев» // Известия ПГУПС. – 2013. – № 4. – С. 5–17. [Zaitsev AA. Technology “Magtranscity” in the project “St. Petersburg Maglev”. *Izvestia PGUPS*. 2013;(4):5-17. (In Russ.).]
 12. Хасуй А. Техника напыления: пер. с япон. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с. [Hasyi A. Technika napylenia: per. s iapon. Moscow: Mashinostroenie; 1975. 288 p. (In Russ.).]
 13. Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление: пер. с япон. – Москва: Издательство Машиностроение, 1985. – 239 с. [Hasyi A., Morigaki O. Naplavka i napylenie: per. s iapon. Moscow: Mashinostroenie; 1985. 239 p. (In Russ.).]
 14. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1814153/07.05.92. Бюл. № 17. Сапон С.Н., Соломин В.А. Способ изготовления индуктора линейного электродвигателя. Режим доступа: <http://patents.su/6-1814153-sposob-izgotovleniya-induktora-linejnogo-ehlektrodivigatelya.html>. Дата обращения: 23.08.2017. [Author's certificate of the for an invention № 1814153/07.05.92. Byul. № 17. Sapon SN, Solomin VA. *Sposob izgotovlenia induktora lineinogo elektrodvigatelia*. Available from: <http://patents.su/6-1814153-sposob-izgotovleniya-induktora-linejnogo-ehlektrodivigatelya.html> (In Russ.) Accessed August 23, 2017].
 15. Патент РФ на изобретение № 2014712/15.06.94. Бюл. № 11. Соломин В.А., Попов А.Д., Сапон С.Н. Способ изготовления индуктора линейного электродвигателя. Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/576344>. Дата обращения: 28.08.2017. [Pat. RUS № 2014712/15.06.94. Byul. № 11. Solomin VA., Popov AD., Sapon SN. *Sposob izgotovlenia induktora lineinogo elektrodvigatelia*. Available from: <http://bankpatentov.ru/node/576344> (In Russ.) Accessed August 23, 2017].

Сведения об авторах:

Соломин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор;
eLibrary SPIN:6785-9031; ORCID: 0000-0002-0638-1436;
E-mail: ema@rgups.ru

Соломин Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN:7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru

Трубицина Надежда Анатольевна, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 4192-0487; ORCID: 0000-0001-6640-8306;
E-mail: ema@rgups.ru

Замшина Лариса Леонидовна, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 8703-1347; ORCID: 0000-0001-5374-9443;
E-mail: ema@rgups.ru

Чехова Анастасия Алановна, аспирант;
eLibrary SPIN: 8201-7660; ORCID: 0000-0002-3410-3687;
E-mail: ema@rgups.ru

Information about the authors:

Vladimir A. Solomin, Doctor of Technological sciences, Professor;
eLibrary SPIN: 6785-9031; ORCID: 0000-0002-0638-1436;
E-mail: ema@rgups.ru

Andrei V. Solomin, Candidate of Technological sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru

Nadezda A. Trubitsina, Candidate of Technological sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN:4192-0487; ORCID: 0000-0001-6640-8306;
E-mail: ema@rgups.ru

Larisa L. Zamchina, Candidate of Technological sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN:8703-1347; ORCID: 0000-0001-5374-9443;
E-mail: ema@rgups.ru

Anastasia A. Chekhova, Graduate;
eLibrary SPIN: 8201-7660; ORCID: 0000-0002-3410-3687;
E-mail: ema@rgups.ru

Цитировать:

Соломин В.А., Соломин А.В., Трубицина Н.А., и др. Новая технология изготовления индукторов линейных асинхронных двигателей для магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 3, прил. 1. – С. 351-364. doi: 10.17816/transsyst201843s1351-364

To cite this article:

Solomin VA, Solomin AV, Trubitsina NA, et al. New technology for manufacturing inductors of linear induction motors for magnetic-levitation transport. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3 suppl. 1):351-364. doi: 10.17816/transsyst201843s1351-364