

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Абдуллаева Жахонгира Одашжоновича на тему: «Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность темы. Одной из тенденций развития электромеханики является разработка линейных индукционных машин (ЛИМ) технологического назначения, в которых рабочим телом служат непосредственно обрабатываемые заготовки и материалы (например, жидкие металлы, электролиты, дисперсные среды). Бесконтактное электромагнитное воздействие на подобные рабочие тела позволяет существенно улучшить характеристики технологических процессов и технологического оборудования. В диссертационной работе Абдуллаева Ж.О. рассматриваются применения ЛИМ в электродинамических сепараторах для сбора и обработки лома и отходов цветных металлов, во вспомогательных технологических устройствах для перемещения и позиционирования металлических заготовок, в установках индукционного нагрева в бегущем магнитном поле. Расширение областей применения ЛИМ технологического назначения делает актуальным поиск путей повышения эффективности установок на их основе. Одним из таких путей является использование ЛИМ с индукторами, создающими встречно бегущие магнитные поля. Такие электрические машины мало изучены, поэтому разработка их математических моделей и методик расчета, а также исследование ЛИМ с учетом специфики технологических установок, создаваемых на их основе, представляют несомненный практический интерес.

Соответствие паспорту научной специальности. В основе рассматриваемых линейных индукционных машин технологического назначения лежит преобразование электрической энергии в механическую. Задачи и методы моделирования ЛИМ, направления теоретических и экспериментальных исследований соответствуют областям исследований, указанным в пунктах 1, 3, 5 паспорта специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты. В связи с этим тема диссертации Абдуллаева Ж.О. соответствует данной специальности.

Структура диссертации и основные результаты разделов

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов основного текста, заключения и приложений, содержит список использованной литературы, включающий 101 наименование.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования. Сформулированы цель и задачи исследований,

приведены положения, выносимые на защиту, их научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

В первом разделе на основе обзора литературы показано современное состояние разработок линейных индукционных машин технологического назначения, обоснован выбор ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями в качестве объекта исследования.

Отмечено, в частности, что вторичный элемент ЛИМ технологического назначения не является предметом выбора, поскольку задается решаемой технологической задачей. Улучшение функциональных и энергетических характеристик таких ЛИМ возможно только за счет совершенствования линейных индукторов.

Показана целесообразность использования ЛИМ на основе индукторов, создающих встречно бегущие магнитные поля, в целом ряде технологических устройств. Указаны особенности электромагнитных процессов в таких ЛИМ, которые необходимо учитывать при разработке математических моделей и исследованиях.

Во втором разделе рассмотрена возможность использования для расчета рассматриваемых ЛИМ известных аналитических и численных методик, предложена методика расчета ЛИМ на основе сочетания аналитической и численной моделей машины в двухмерной постановке, позволяющая учесть основные особенности рассматриваемых ЛИМ (неравномерность распределения магнитного поля в активной зоне и ограниченность размеров вторичного элемента).

С использованием предложенной методики выполнены расчеты электромагнитных усилий в ряде опытных ЛИМ, создающих как разбегающиеся от центра индуктора магнитные поля, так и сбегающиеся поля. На основании таких расчетов показано, что в ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями существуют варианты обмоток, при которых искажения поля приводят к появлению зон с усилиями, близкими к нулю («мертвых» зон). Худшие результаты получаются при использовании обмоток, характеризующихся зеркальным расположением катушек отдельных фаз и токов в них относительно оси индуктора. В то же время выявлены схемы обмоток ЛИМ, в которых «мертвая» зона отсутствует. Такие обмотки рекомендуются к использованию на практике.

Разработана методика анализа ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями на основе построения диаграмм намагничивающих сил, реализованная в программной среде Excel. Такая методика позволяет выявлять благоприятные и неблагоприятные варианты обмоток ЛИМ, не прибегая к электромагнитным расчетам машин численными методами. Приведены примеры применения

такой методики для анализа схем обмоток мощных многополюсных машин промышленного исполнения со сложными схемами обмоток.

Третий раздел посвящен исследованию устройств электродинамической сепарации на основе ЛИМ.

Рассмотрены, в частности, сепараторы, предназначенные для извлечения включений цветных металлов из потока сыпучих материалов, при установке линейных индукторов под лентой конвейера. Показано, что применение ЛИМ с разбегающимися полями и организация двухстороннего выхода извлекаемых металлических частиц позволяют снизить установленную мощность сепаратора в 1,5-1,8 раза (при ширине ленты 1 м и скорости подачи 1,2 м/с).

Для электродинамических сепараторов, предназначенных для сортировки металлосодержащих отходов (например, электронного или кабельного лома) использование ЛИМ с разбегающимися магнитными полями позволяет увеличивать производительность установок при сохранении качества сепарации.

В четвёртом разделе рассмотрены особенности работы ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями в устройствах позиционирования металлических заготовок, а также в устройствах индукционного нагрева.

На примере индукционного нагрева показано, что увеличению ошибки позиционирования заготовки в индукторе – нагревателе приводит к росту неравномерности распределения температур по длине заготовок. Опытным путем доказано, что использование ЛИМ, обмотки которой создают сбегающиеся магнитные поля при отсутствии «мертвой зоны» в распределении усилий, обеспечивает устранение ошибки позиционирования заготовок.

Исследования показали, что при применении индукционного нагрева в бегущем магнитном поле, с помощью ЛИМ можно управлять процессом перемещения и нагрева заготовок. При этом использование сбегающихся магнитных полей обеспечивает снижение неравномерности нагрева мерных заготовок.

В пятом разделе описаны экспериментальные установки на основе ЛИМ и приведены основные результаты экспериментальных исследований.

Можно отметить, что при участии автора был изготовлен целый ряд установок на основе ЛИМ в широком диапазоне габаритов и мощности. На этих установках выполнены исследования, позволившие подтвердить достоверность методик расчета, а также апробировалась возможность решения ряда реальных технологических задач, в том числе по заказам заинтересованных предприятий.

В заключении представлены основные выводы по результатам работы.

Новизна исследований и полученных научных результатов заключается в том, что объектом исследований является малоизученная специальная электрическая машина, для которой впервые разработаны математические модели и методики расчета, выявлены основные закономерности электромагнитных процессов и получены практические рекомендации для разработки ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями и технологических установок на их основе.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Разработаны алгоритмы и методики расчета ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями с учетом основных особенностей машин (неравномерность распределения магнитных полей в активной зоне ЛИМ, ограниченность размеров массивного вторичного элемента).

2. Разработана методика оценки электромагнитных процессов в ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями на основе построения диаграмм намагничивающих сил.

3. Выявлены закономерности распределения электромагнитных усилий в активной зоне ЛИМ со встречно бегущими полями, зависящие от схемы соединения обмоток индуктора и определяемые появлением пульсирующих составляющих магнитных полей.

4. Разработаны рекомендации по выбору параметров ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями с учетом специфики электромагнитных процессов для решения различных технологических задач.

Наиболее существенные результаты диссертации, имеющие **практическую значимость**:

– разработанные методики расчета и анализа ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями реализованы с помощью математических пакетов Elcut, Mathcad, Excel;

– на основании теоретических и экспериментальных исследований получены практические рекомендации по выбору схем обмоток ЛИМ;

– показаны преимущества использования рассматриваемых ЛИМ в электродинамических сепараторах, применяемых для извлечения цветных металлов из твердых отходов и для индукционной сортировки металлов;

– экспериментально подтверждена возможность самоцентрирования металлических заготовок в активной зоне ЛИМ со сбегущимися магнитными полями, показана целесообразность их применения во вспомогательном технологическом оборудовании металлообрабатывающих производств, а также в установках индукционного нагрева мерных заготовок;

– созданы опытные устройства на основе ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями для решения ряда технологических задач, новые технические решения защищены патентами РФ на полезные модели.

Основные результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре «Электротехника и электротехнологические системы» при

проведении учебно-исследовательских и научно-исследовательских работ студентов, а также переданы заинтересованным предприятиям.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность полученных результатов обеспечена учетом при создании математических моделей основных особенностей рассматриваемых ЛИМ, принятием обоснованных допущений, использованием современных математических моделей и лицензионного программного обеспечения, известных компьютерных систем моделирования. Адекватность результатов и выводов подтверждается хорошим совпадением экспериментальных результатов с результатами теоретических расчетов.

Полнота отражения результатов диссертации в опубликованных работах. Основные результаты диссертации опубликованы в 28 печатных работах, включая 5 статей в изданиях, включенных в список ВАК, 2 статьи, индексируемые в базе Scopus. Получены два патента РФ на полезные модели. Анализ публикаций автора позволяет утверждать, что содержание диссертации отражено в них достаточно полно. Основные результаты работы прошли апробацию на целом ряде конференций.

Автореферат отражает содержание диссертации.

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Для трехфазных линейных индукционных машин характерна несимметрия фазных токов. Учитывалась ли она при расчетах?

2. В разделе 3 диссертации при оценке характеристик электродинамических сепараторов на основе ЛИМ электромагнитное усилие принимается неизменным. Почему не учитывается изменение усилия от скорости вторичного элемента?

3. При исследовании режима позиционирования использовались только алюминиевые заготовки. Оценивалась ли возможность позиционирования заготовок из других металлов, например, стальных?

4. При оценке режима индукционного нагрева в разделе 4.2 приводятся только относительные значения колебаний температуры, а абсолютные значения отсутствуют, что затрудняет оценку возможностей установки.

5. Тексты диссертации и автореферата содержат отдельные опечатки и неточности:

- на стр.75 диссертации рис. 3.9 в тексте обозначен как рис. 5.9;

- на стр. 111 в тексте рис. 5.12 обозначен как рис. 12;

- в диссертации исследованные ЛИМ обозначены номерами (ЛИМ1, ЛИМ2 и т.д.) и подробно описаны в табл. 5.1 и 5.2, а в автореферате параметры таких ЛИМ не всегда раскрываются.

Заключение

Высказанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, обобщающей большой объем исследований. Задачи диссертации выполнены. Созданы математические модели и методики расчета нового типа электрической машины, выявлены закономерности электромагнитных процессов в ЛИМ со встречно бегущими полями, показаны возможности практического применения таких машин. В целом диссертация Абдуллаева Ж.О. «Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями» представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения задачи, имеющей важное значение для развития электромеханики. Диссертация соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждения ученых степеней в УрФУ», предъявляемым к кандидатской диссертации в области технических наук, а Абдуллаев Жахонгир Одашжонович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент,
директор научно-технического
центра ООО «Научно-производственное
предприятие «РЭЛТЕК»,
к.т.н., доцент



Фаткуллин Салават Мирдасович

Дата составления отзыва: 02 марта 2020 г.

Ф.И.О. оппонента, представившего отзыв: Фаткуллин Салават Мирдасович.
Почтовый адрес организации: 620078, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 51

Тел.: 8(343) 379-43-50

E-mail: fsm@reltec.biz

Полное наименование организации: ООО «Научно-производственное
предприятие «РЭЛТЕК»

Подпись Фаткуллина Салавата Мирдасовича заверяю:



10.03.2020г