

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Абдуллаева Жахонгира Одашжоновича

«Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»

Актуальность темы. Эффективность большинства современных производств находится в прямой зависимости от применяемого оборудования и его периодического обновления. Создание нового энергоэффективного оборудования позволяет повысить как энергетические, так и технологические показатели производства. Одним из направлений повышения таких технологических операций как электродинамическая сепарация сыпучих смесей (извлечение и сортировка металлов), позиционирование металлических заготовок в установках индукционного нагрева является применение линейных индукционных машин (ЛИМ) со встречно бегущими магнитными полями. Непосредственное преобразование в таких машинах электрической энергии в поступательное движение обрабатываемого материала является основным их преимуществом, т.к. обрабатываемый материал является вторичным элементом машины. Однако остаются малоизученными электромагнитные процессы, происходящие в ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями, где вторичный элемент является обрабатываемым материалом, что связано со сложностью их протекания. Сказанное является сдерживающим фактором более широкого применения таких машин в технологических операциях. В работе Абдуллаев Ж.О. предложил методики расчета и анализа ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями, которые позволяют исследовать и оценивать соответствующие электромагнитные процессы. Это будет основой создания технологических машин повышенной эффективности, что, несомненно, указывает на актуальность диссертационных исследований.

Соответствие паспорту научной специальности. Рассматриваемые в диссертации Абдуллаева Ж.О. вопросы связаны, прежде всего, с расчетом, исследованием и разработкой ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями. Результатом работы является повышение энергетической и технологической эффективности ряда технологических операций. С учетом этого объект исследования, задачи и методы моделирования, направления теоретических и экспериментальных исследований вполне соответствуют паспорту специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

Структура диссертации и основные результаты разделов

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и приложений, содержит список использованной литературы из 101 наименования. Структура и оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования, оценивается уровень разработанности темы. Сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

В первой главе произведен анализ применения ЛИМ в различных технологических процессах, особо уделено внимание применению ЛИМ в МГД-технологиях и в электродинамической сепарации цветных металлов. Раскрыты преимущества и недостатки их применения. Показано, что перспективным способом повышения технико-экономических показателей таких машин является совершенствование индукторов ЛИМ, одним из которых является реализация в них встречно бегущих магнитных полей. Поэтому в качестве объекта исследования выбраны ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями, характеризующиеся сложностью протекания электромагнитных процессов, влияющих на поле в центре активной зоны индуктора, и как следствие на эффективность работы установки в целом. Новизна работы заключается в исследовании особенностей формирования встречно бегущих магнитных полей в ЛИМ.

Во второй главе автор анализирует методы расчета ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями с учетом их особенностей. Наиболее подходящим указан численный метод в трехмерной постановке, который позволяет учесть наибольшее количество факторов. С другой стороны, этот метод трудоемок, для построения одной кривой требуется от 1,5 до 12 часов, что затрудняет его использование при выполнении многовариантных расчетов в исследовательской работе. Поэтому автор для исследования рассматриваемых ЛИМ разработал методику их расчета в рамках «квазитрехмерного» подхода на основе развития аналитической и численной моделей ЛИМ в двухмерной постановке, в результате построение одной кривой сократилось до 10 мин. Показано хорошее совпадение характеристик, рассчитанных по трехмерной модели и предложенной методике. Расчет и исследования ЛИМ проводились с применением современных программных продуктов (ANSYS, Comsol Multiphysics, Elcut, пакета Exel). Всестороннее исследование трех разных ЛИМ показало, что распределение магнитных полей и усилий зависит от варианта чередования фаз обмоток. Предложенная методика оценки электромагнитных процессов в ЛИМ позволила выявить, что зеркальное расположение катушек отдельных фаз показывает небла-

благоприятные результаты, а при симметричном расположении катушек «мертвая зона» в центре индуктора отсутствует (благоприятный режим).

В третьей главе на основе краткого анализа действующих электродинамических сепараторов ставится задача увеличения выхода цветных металлов из отходов (путем извлечения мелкой фракции) и уменьшения потребляемой мощности сепаратором или увеличение его производительности при сохранении потребляемой мощности. Для оценки эффективности работы электродинамических сепараторов автор использовал такой показатель как удельное электромагнитное усилие (отношение электромагнитного усилия к массе частицы), что является корректным решением. В главе приводятся зависимости удельного электромагнитного усилия от размера вторичного элемента (частиц), от скорости подающей ленты и ее ширины при разном коэффициенте трения (определяет сопротивление движению частицы в потоке). Делается заключение о невозможности извлечения (на примере алюминия) мелких частиц без увеличения ширины индуктора ЛИМ традиционного сепаратора, что связано с увеличением потребляемой мощности.

Автор показал эффективность применения ЛИМ с разбегающимися магнитными полями для электродинамической сепарации, привел соответствующую схему с двухсторонним выходом сепарируемого материала, его подача осуществляется по центру индуктора. В последнем применяются схемы обмоток с симметричным расположением катушек отдельных фаз относительно оси индуктора, что позволяет существенно повысить качество сепарации, относительно сепараторов с односторонним выходом частиц.

В четвертой главе работы автор развивает возможности применения ЛИМ со сбегающими магнитными полями, озвученные в первой главе, в грузочно-подающих устройствах для подачи заготовок в рабочую зону в металлообрабатывающем производстве, в устройствах подачи деталей под схват робота на сборочных операциях и др. За счет эффекта самоцентрирования обрабатываемых изделий, сбегающими магнитными полями ЛИМ, обеспечивается позиционирование заготовок в рабочей зоне. Также как и с разбегающимися магнитными полями необходимо применять обмотки с симметричным расположением катушек отдельных фаз относительно оси индуктора. Сказанное подтверждено экспериментальными исследованиями.

Автор отмечает, что схема обмотки 4с обеспечивает самоцентрирование заготовки любых размеров, в отличие от других схем. Важно отметить, что предложенные решения защищены патентами РФ. Показана востребованность точного позиционирования металлических заготовок в установках индукционного нагрева посредством ЛИМ, поскольку смещение оси заготовок от оси индуктора увеличивает неравномерность распределения температуры

по длине мерных заготовок, а применение дополнительных устройств центрирования усложняет и удорожает данную технологию.

В пятой главе приводятся все основные данные исследуемых ЛИМ, схемы их соединения и фотографии внешнего вида. Представлены результаты влияния частоты на электромагнитное усилие, развиваемое ЛИМ. Сделан вывод, что внешние гармоники и изменение температуры вторичного элемента не объясняют снижение роста, развиваемого усилия ЛИМ, с увеличением частоты сети, и что работа рассматриваемых ЛИМ на повышенных частотах, на данный момент, нецелесообразна (требуется продолжение исследований в этом направлении). Также сделан вывод о невозможности оценить распределение электромагнитных усилий, развиваемых ЛИМ, по характеру огибающей кривой магнитного поля.

Необходимо отметить, что установки на базе ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями созданы в интересах промышленных предприятий, что подтверждается соответствующими документами, а результаты НИР используются в учебном процессе УрФУ.

В заключении представлены основные выводы по результатам работы.

Новизна исследований и полученных научных результатов заключается в разработке алгоритмов, методик расчета и оценки ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями, а также в полученных результатах исследования как отдельно ЛИМ, так и установок на их основе.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- разработаны алгоритмы и методики расчета ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями с учетом основных особенностей машин;
- разработана методика оценки электромагнитных процессов в ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями на основе построения диаграмм намагничивающих сил.
- 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.
- 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**:

1. Разработанная методика расчета ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями в рамках «квазитрехмерного» подхода на основе сочетания аналити-

ческой и численной моделей ЛИМ в двухмерной постановке, многократно сокращает время расчета характеристик ЛИМ.

2. Показана эффективность применения рассматриваемых ЛИМ в электродинамических сепараторах, применяемых для извлечения цветных металлов из твердых отходов и для индукционной сортировки металлов, для самоцентрирования металлических заготовок, а также в установках индукционного нагрева мерных заготовок;

3. Созданы опытные устройства на основе ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями для решения ряда технологических задач. Новые технические решения защищены патентами РФ. Материалы исследования используются в учебном процессе УрФУ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность полученных результатов обеспечена принятием при моделировании ЛИМ признанных и обоснованных допущений, использованием современных лицензионных программных продуктов, а также достоверность подтверждается сравнением результатов расчетов, полученных по разным методикам, сопоставлением с данными экспериментов, соответствием результатов расчетов физическому смыслу процессов в ЛИМ.

Полнота отражения результатов диссертации в опубликованных работах. Основные результаты диссертации опубликованы в 28 печатных работах, включая 7 статей в изданиях, включенных в список ВАК, из которых 2 индексируется в базе Scopus. Получено два патента РФ на полезную модель. Анализ публикаций автора позволяет утверждать, что содержание диссертации отражено в них с требуемой Положением ВАК полнотой. Основные результаты работы прошли апробацию на целом ряде специализированных конференций.

Автореферат отражает содержание диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

1. В методике электромагнитного расчета предлагается два варианта учета поперечного краевого эффекта. При этом численный расчет с использованием выражения (2.4) справедлив для любых размеров вторичного элемента. При этом не ясно, для чего нужна формула (2.5), определяющая коэффициент поперечного эффекта в ограниченной области размеров?

2. Методика анализа характеристик обмоток ЛИМ со встречно бегущими полями с помощью построения диаграмм намагничивающих сил в разделе 2.3 детально не прописана. Необходимо пояснить, в чем суть предлагаемой методики.

3. В разделе 3.2 при оценке влияния ширины входного потока материалов на результаты сепарации рассмотрено три варианта ЛИМ с полем одного на-

правления, но почему-то лишь один вариант ЛИМ с разбегающимися магнитными полями?

4. При исследовании режима позиционирования заготовок использованы только экспериментальные данные. Выполнялись ли расчеты режима позиционирования?

5. В разделе 4.2 отмечаются достоинства индукционного нагрева в бегущем магнитном поле. Однако результаты исследований линейных индукционных машин в режиме нагревателя практически не приводятся.

6. В разделе 5.3 при описании опытно-промышленных установок отсутствуют оценки экономического эффекта от их внедрения.

7. В выводах по разделам и в заключении диссертации не отражены достигнутые числовые показатели проделанной работы, что не позволяет в полном объеме оценить ее результаты.

8. Теоретические и экспериментальные исследования поставлены на широкой линейке ЛИМ со встречно бегущими магнитными полями, однако обобщенные зависимости для их широкого диапазона не приведены.

9. Текст диссертации содержит отдельные опечатки и неточности:

- на титульном листе ошибка в названии организации;
- в третьей задаче исследований не хватает слова «...методика **оценки**...»;
- на стр. 44,45 текст диссертации написан от третьего лица «с учетом сказанного автором предложен ...», «Автором разработана...»;
- на стр.75, 113 неправильно указаны ссылки на рисунки и сбит порядок их нумерации.

Заключение

Высказанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, обобщающей весьма большой объем научных исследований. Поставленные задачи в работе выполнены. В ходе исследований показана работоспособность и эффективность установок на базе ЛИМ со сбегающимися магнитными полями. В целом диссертация **Абдуллаева Жахонгира Одашжоновича** «Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями» представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения проблемы, имеющей важное значение для повышения эффективности применения электромеханических преобразователей энергии. Диссертация соответствует специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты» и требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а **Абдуллаев Жахонгир Одашжонович** заслуживает присуждения ему

ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

Доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный
аграрный университет», декан
энергетического факультета



А.В. Линенко

17.02.2020г.

ФИО лица, представившего отзыв	Линенко Андрей Владимирович
Место работы	ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет
Адрес	450001, Россия, г.Уфа, 50-летия Октября,34, каб. 388/3
E-mail	Linenko-bsau@yandex.ru
Телефон	+7(347)252-66-10

