

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Багина Дмитрия Николаевича «Электродинамические сепараторы на основе линейных индукционных машин для обработки мелких фракций лома цветных металлов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук в диссертационный совет Д212.285.03 на базе
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности
05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

1. Актуальность темы диссертационной работы

С ростом производства и потребления, растет объем отходов содержащих металлические включения. Возврат в хозяйственный оборот металлических включений из отходов всегда является актуальной задачей, так как получение металла таким способом особенно цветного менее затратно, во вторых создаются условия для производства сопутствующих продуктов более высокого качества. В стране из-за широкого применения электронной техники возрастает необходимость переработки электронного лома мелких размеров. Известные сепараторы не работают с металлическими включениями размерами менее 40 мм.

Считаю, что поставленная в диссертации задача исследования и разработки электродинамических сепараторов на основе линейных индукционных машин для обработки мелких фракций лома и отходов цветных металлов является актуальной.

2. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации сформулированные в диссертации можно считать обоснованными, проработанными на достаточном научно-исследовательском уровне, что подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов расчетов с экспериментальными данными полученными на лабораторных установках.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней аналитически и экспериментально обоснован способ электродинамической сепарации мелких фракций лома цветных металлов на основе линейных индукционных машин.

Достоверность научных положений подтверждена использованием современного математического аппарата с применением компьютерных технологий, фундаментальных положений и законов теоретической электротехники, теории электрических машин, сравнением с результатами других исследований и внедрением результатов.

Автор достаточно глубоко изучил различные способы и технологии сепарации металлических включений, провел их сравнительный анализ, выявил преимущества технологии, основанной на электродинамической сепарации, проанализировал недостатки существующих устройств ограничивающие их использование для сепарации мелких фракций лома и цветных металлов. Он корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Экспериментальные исследования проведены автором с использованием современных методик и средств измерения. Приведены данные подтверждающие достижение поставленной цели работы.

3. Оценка новизны и достоверности полученных результатов

Новизна и достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, доказывающие целесообразность сепараторов на основе линейных индукционных машин (ЛИМ) в технологиях сбора и обработки вторичных цветных металлов.

В качестве новых научных результатов, полученных диссертантом, следует выделить:

- разработанные алгоритмы и методики расчета электромагнитных сил, действующих на проводящие частицы в магнитном поле линейного индуктора, с учетом специфики физических процессов в ЛИМ с вторичным элементом (ВЭ) малых размеров (менее 40 мм) на основе развития известных аналитических и численных методов расчета ЛИМ;

- разработанную математическую модель и методику расчета боковых электромагнитных сил, действующих на ВЭ малых размеров при входе их в магнитное поле ЛИМ и выходе из него;

- разработанную математическую модель электродинамического сепаратора на основе ЛИМ с подачей материала по наклонной плоскости для расчёта траекторий движения сепарируемых проводящих частиц с учетом совместного действия электромагнитных и механических сил;

- выявленные закономерности влияния на характеристики сепараторов различных параметров ЛИМ и механической части установок.

По результатам работы автором сформулированы основные выводы, которые являются ответами на поставленные задачи и подтверждаются выполненными соискателем теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Вывод 1. Подтверждает актуальность применения электродинамических сепараторов в технологиях сбора и обработки вторичных цветных металлов малых размером (менее 40 мм). При этом доказывается, что характерной чертой сепарации становится селективность разделения металлов и сплавов в сепараторах на базе ЛИМ с двухсторонним индуктором при подаче сепарируемых материалов по наклонной плоскости. Новизна и достоверность вывода подтверждена данными лабораторных испытаний.

Вывод 2. Выявляет особенности физических процессов в ЛИМ с малыми размерами вторичного элемента в сепараторах на их базе, что позволяет разработать алгоритм и методику расчета ЛИМ, что дает выход на технологический процесс сепарации.

Вывод является обоснованным, новым и достоверным.

Вывод 3. Разработана математическая модель и методика расчета электромагнитных сил при входе и выходе сепарируемых проводящих частиц в магнитном поле ЛИМ. Вывод имеет практическую значимость позволяющий дать рекомендации по выбору параметров ЛИМ. Достоверность вывода подтверждает экспериментальные исследования.

Вывод 4. Разработана математическая модель сепаратора на базе ЛИМ как сложной электромеханической системы с подачей материала по наклонной плоскости, предполагающая разделенные области сепарации на отдельные зоны, отличающиеся набором сил, действующих на проводящие частицы. Вывод является

обоснованным и учитывает специфику рассматриваемого технологического процесса.

Вывод 5. Выполненные исследования ЛИМ для индукционной сортировки сплавов цветных металлов и сепарации электронного лома дают рекомендации по подготовке лома и отходов цветных металлов к селективной сепарации. Для качественной оценки технологического процесса введено понятие коэффициента селективности $K_{\text{сел}}$. Вывод считаю достоверным.

Вывод 6. На основании расчета траекторий сепарируемых частиц выполнена оценка влияния параметров механической части установок на итоговые отклонения проводящих частиц от линии подачи. Вывод имеет практическую значимость: позволил дать рекомендации по выбору: размера плоскости подачи, угол ее наклона, скорости подачи, коэффициенты трения. Достоверность вывода подтверждена результатами экспериментального исследования.

Выводы 7 и 8. Обобщают практическую значимость проведенных исследований. Высокие эксплуатационные характеристики разработанных сепараторов подтверждаются актами внедрения. Выводы считаю достоверными.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация содержит введение, 5 глав, заключение, список использованных источников и четыре приложения. Основной текст диссертации изложен на 137 страницах, включает 11 таблиц, 71 рисунок. Список использованной литературы включает 109 наименований, в том числе 14 из зарубежных источников. В приложении приведены акты внедрения результатов работы.

Материал диссертации изложен логично, представляет собой единую взаимосвязанную работу. Текст диссертации и автореферат достаточно полно отражают содержание выполненных исследований. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация написана грамотно, текст отредактирован.

В первой главе автором проведен обзор вариантов конструкций сепараторов и технологических задач, решаемых с помощью электродинамической сепарации. Показаны преимущества сепараторов на основе ЛИМ с подачей материала в

наклонной плоскости и отводом выделяемых продуктов в сторону от потока. Установлены направления повышения производительности и эффективности сепарации. Сформулированы основные задачи и цель исследования.

Во второй главе выделены особенности физических процессов в ЛИМ с ВЭ малых размеров, обосновывается выбор математических моделей и методик расчета ЛИМ, расчета боковых электромагнитных усилий возникающих при входе и выходе частицы в магнитное поле ЛИМ в поперечном к направлению магнитного поля.

Расчеты боковых сил дополнены данными экспериментальных исследований. Полученные результаты применимы для практического применения. Устанавливается, что помимо боковых сил на результаты сепарации могут влиять нормальные электромагнитные силы.

В третьей главе описывается математическая модель и методика расчета электродинамического сепаратора, как электромеханической системы при действии на движущиеся проводящие частицы электромагнитных сил, сил гравитации и трения. Расчетная модель сепаратора на базе ЛИМ приводит к системе нелинейных уравнений, для решения которой предлагается кусочно-линейная аппроксимация реальной траектории движения частиц. Для оценки достоверности моделей и методик расчета проведены сравнения с экспериментальными данными.

В четвертой главе приводятся результаты исследования влияния различных факторов на характеристики сепараторов для индукционной сортировки лома цветных металлов (частота поля, размеры частиц, полюсное деление ЛИМ). Для сравнительной оценки качества сортировки введен коэффициент $K_{\text{ссл}}$, который выступает и как ограничитель в выборе вариантов сепаратора с точки зрения минимума энергопотребления. Второй технологической задачей, для решения которой выполнялись исследования это сортировка электронного лома. В работе приведены рекомендации для практического применения сепаратора для решения этой задачи.

В пятой главе предоставлены описание опытных установок электродинамической сепарации, результаты экспериментальных исследований, результаты апробации ряда технологических задач. Приведены данные оценки технико-экономической эффективности оборудования для дробления и сортировки лома. Полученные результаты позволяют взять лабораторные сепараторы в качестве прототипов промышленных установок.

5. Значимость для науки и практики полученных результатов

Значимость проведенных исследований для науки и практики заключается в следующем:

- раскрыты особенности физических процессов ЛИМ с ВЭ малых размеров и электродинамических сепараторах на их основе;

- разработаны методики и программы расчета тяговых и боковых электромагнитных сил с учетом специфики ЛИМ с ВЭ малых размеров;

- разработаны методика и программа расчета траекторий движения сепарируемых частиц в сепараторе на основе ЛИМ, предполагающие переход от решения нелинейных уравнений к решению линейных алгебраических уравнений за счет разбиения расчетных зон модели на участки малой длины, в пределах которых коэффициенты уравнений остаются постоянными;

- выявлены факторы, влияющие на эффективность сепарации. Получены рекомендации по выбору параметров ЛИМ и механической части установок;

- экспериментально подтверждены возможности индукционной сортировки сплавов цветных металлов и электронного лома;

- созданы опытные установки электродинамической сепарации.

Результаты различных исследований внедрены в качестве рекомендаций на предприятиях ЗАО «НПФ «Металл-Комплект»» (г. Каменск-Уральский) и ЗАО «Южно-Уральский специализированный центр утилизации» (г. Миасс). Используются в учебном процессе УрФУ на кафедрах «Электрические машины» и «Электротехника и электротехнологические системы».

6. Полнота публикаций научных результатов

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на 11 международных и всероссийских научных конференциях в 2011-2016 гг. Основные результаты исследований по теме диссертационной работы опубликованы в 18 научных работах, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах рекомендованных ВАК.

7. Замечания и вопросы по диссертационной работе:

1. Одна из задач работы сформулирована как «разработка рекомендаций по проектированию сепараторов». Однако в явном виде такие рекомендации в диссертации отсутствуют.

2. Следовало бы более детально обосновать переход от трехмерной модели ЛИМ к двумерным. Например, как в двумерных моделях учитывается трехмерность магнитного поля?

3. При описании установки электродинамической сепарации для сортировки электронного лома, переданной заказчику, приведены технологические показатели сепаратора: степень извлечения и содержание алюминия в концентрате. Однако в ходе исследований такие показатели не рассматривались.

4. В работе отсутствуют результаты оценки погрешности измерений и метода их обработки, нет оценочного сопоставления теоретических и экспериментальных зависимостей. Не приведены данные по классам точности измерительным приборам (лабораторные динамометры), отсутствует информация по поверке измерительных приборов (К-50 и другие).

5. В работе имеются неточности. Например, стр. 41: V_m – амплитуда бегущего магнитного поля; стр. 112: рис. 4.17 отличается название рисунка от ссылки в тексте; ВПО вместо ВО и другие.

8. Заключение

В целом диссертация Багина Д. Н. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, решает важную научно-практическую задачу, связанную с разработкой электродинамических сепараторов для сортировки мелких фракций лома цветных металлов, выполнена автором самостоятельно. В работе приведены результаты, позволяющие их квалифициро-

вать как существенный вклад в развитие технологий электродинамической сепарации на основе линейных индукционных машин. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана доступным, достаточно грамотным языком, аккуратно оформлена. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.09.01-Электромеханика и электрические аппараты, отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а её автор, Багин Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01-Электромеханика и электрические аппараты.

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электрические
машины и электрооборудование»
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный
аграрный университет»

Рустам Сагитович Аипов
26.09.16

Подпись Р.С. Аипова заверяю

Юридический адрес организации: 450001, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. 50-летия октября, 34.
Телефон: 8 (347) 228-36-55
e-mail: aipovrs@mail.ru

