

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента Бегалова Владимира Анатольевича на диссертационную работу Багина Дмитрия Николаевича «Электродинамические сепараторы на основе линейных индукционных машин для обработки мелких фракций лома цветных металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 09.01 – электромеханика и электрические аппараты

Совершенствование технологий сбора и обработки лома и отходов вторичных цветных металлов является одним из путей развития вторичной цветной металлургии. В таких технологиях широкое применение имеют электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем на основе линейных индукционных машин. Наиболее сложными и в то же время наиболее эффективными являются процессы электродинамической сепарации дробленого лома цветных металлов (лом электро- и радиотехнических устройств, автомобильный лом и др.). В этих случаях частицы цветных металлов, играющие роль вторичного элемента линейных индукционных машин, имеют размеры, существенно меньшие, чем полюсное деление индуктора. Это приводит к значительному уменьшению электромагнитного усилия сепарации и снижению эффективности сепараторов. Поэтому тема диссертационной работы Багина Д.Н., связанная с исследованием и разработкой электродинамических сепараторов на основе линейных индукторов для обработки мелких фракций лома цветных металлов, **является актуальной.**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, охватывает весь цикл НИОКР от моделирования и расчетов линейных индукционных машин и электродинамических сепараторов в целом до создания опытных образцов и внедрения их в реальное производство. В этом смысле диссертационная работа **обладает внутренним единством.**

На основе анализа литературных источников (109 наименований, в том числе 14 иностранных) автором представлено современное состояние разработки технологий и устройств электродинамической сепарации в бегущем магнитном поле, обоснована необходимость исследования сепараторов для обработки мелких фракций лома цветных металлов. Проанализированы варианты конструкций элек-

тродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем. Показано, что для решаемых технологических задач целесообразно использовать электродинамический сепаратор на основе линейных индукторов с подачей сепарируемых материалов по наклонной плоскости. Такой сепаратор и выбран в качестве **объекта исследования**.

В теоретической части диссертации можно выделить две части: первая посвящена моделированию линейной индукционной машины со вторичным элементом малых размеров, вторая – моделированию сепаратора в целом. Проанализированы особенности физических процессов в рассматриваемых линейных индукционных машинах и сепараторах. Наиболее значимыми особенностями признаны: особый характер распределения вторичных токов в проводящих частицах малых размеров, необходимость учета неравномерности распределения магнитного поля в активной зоне машины, необходимость учета боковых электромагнитных сил и соизмеримость электромагнитных и механических сил, действующих на извлекаемые частицы металлов. Показана необходимость совершенствования математических моделей линейных индукционных машин, применяемых при расчетах сепараторов, с учетом указанных особенностей. Предложены алгоритмы и методики расчета рассматриваемых линейных индукционных машин, в основу которых положены двухмерная аналитическая модель машины, разработанная на кафедре «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ, а также модель машины в математическом пакете Elcut. На основе тестирования методик показано хорошее совпадение результатов расчетов по двум вариантам методик в случаях, когда размер вторичного элемента не превышает половины полюсного деления, и нарастание погрешностей расчета при относительном увеличении размеров вторичного элемента. Это означает, что предложенные методики предназначены для расчета линейных индукционных машин со вторичными элементами малых размеров в случаях, когда характер распределения вторичных токов является преимущественно одноконтурным. При таком же допущении об одноконтурном распределении вторичных токов разработана оригинальная математическая модель для расчета боковых электромагнитных усилий. Вторая часть теоретиче-

ских исследований посвящена моделированию электродинамического сепаратора в целом с учетом совместного действия на проводящие частицы электромагнитных и механических сил. Показано, что в этом случае электромеханические процессы в сепараторе описываются системой нелинейных уравнений. Предложено разделение зоны сепарации на участки малой длины, в пределах которых коэффициенты уравнений остаются постоянными. Такой подход уменьшил трудоемкость решения уравнений и позволяет выполнять итерационные расчеты траекторий движения извлекаемых частиц металла с уточнением параметров модели на каждом шаге. В целом предложенные математические модели и методики расчета **достаточно обоснованы и обладают научной новизной.**

На основе предложенных математических моделей и методик расчета выполнены исследования линейных индукционных машин и сепараторов на их основе, предназначенных для индукционной сортировки лома цветных металлов и для разделения металлов в электронном ломе. Показано влияние на характеристики линейных индукционных машин различных параметров как индуктора (полюсное деление, частота), так и вторичного элемента (размеры, удельная электропроводность). Приведены примеры расчета траекторий движения сепарируемых частиц, дана оценка влияния боковых электромагнитных сил на формирование траекторий. Показано, что такое влияние увеличивается с увеличением скорости подачи материала. Выполнена оценка влияния механических параметров установки электродинамической сепарации (размеры и наклон плоскости подачи, коэффициенты трения, скорость подачи материала) на характеристики сепаратора и показана возможность увеличения итоговых отклонений частиц малых размеров от линии подачи за счет рационального выбора механических параметров. Для оценки качества сортировки сплавов алюминия (либо меди) введено понятие коэффициента селективности. По результатам расчетов получены рекомендации по выбору параметров сепаратора и определены требования к подготовке сепарируемого материала. Расчеты дополнены экспериментальными исследованиями, выполненными на опытных установках, созданных при участии автора. Показано хорошее качественное и количественное совпадение результатов расчетов и

опытных данных, что позволяет считать **результаты исследований вполне достоверными**. На указанных установках выполнялась также апробация реальных технологий с использованием материалов, предоставляемых заинтересованными предприятиями. Результаты исследований, представленные в диссертации, переданы предприятиям – заказчикам. С учетом того, что ранее исследованию электродинамических сепараторов на основе линейных индукторов для обработки мелких фракций дробленого лома цветных металлов не уделялось достаточного внимания, представленные в диссертации результаты безусловно **являются новыми и представляют практическую ценность**.

Результаты исследований, представленные в работе, достаточно полно отражены в 18 публикациях автора, в том числе 5 статьях, опубликованных в изданиях, входящих в Перечень ВАК. Результаты диссертационной работы обсуждались на ряде представительных научных конференций. Содержание автореферата диссертации Д.Н. Багина соответствует основному содержанию работы.

Замечания и вопросы по диссертации:

1. Расчеты электромагнитного усилия извлечения в линейной индукционной машине электродинамического сепаратора базируются на использовании известных математических моделей (раздел 2.2), поэтому следует более чётко выделять вклад автора в развитие моделей и методик.

2. Значение электромагнитного усилия линейных индукционных машин зависит от толщины вторичного элемента, однако при исследовании сепаратора для сортировки электронного лома (раздел 4.2) влияние толщины не учитывается.

3. Очевидно, что при дроблении лома частицы металла будут иметь произвольную форму. Оценивалось ли влияние формы частиц на результаты сепарации?

4. Одним из резервов повышения эффективности сепарации может быть снижение сил сопротивления движению частиц. Рассматривался ли вариант использования в сепараторе эффекта «кипящего слоя»?

5. В тексте диссертации и автореферата имеются неточности и опечатки. Например, в автореферате отсутствует табл. 3, а после рис. 22 следует сразу рис. 25.

Общее заключение

Высказанные замечания не умаляют научной и практической значимости диссертационной работы Д.Н. Багина. Цель работы – разработка электродинамических сепараторов на основе линейных индукционных машин для обработки мелких фракций лома и отходов цветных металлов - достигнута. Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 05.09.01 – электромеханика и электрические аппараты, в ней изложены новые научно-обоснованные методические разработки и технические решения, применение которых может внести значительный вклад в создание специальных электромеханических устройств и в развитие технологий и оборудования для сбора и обработки вторичных цветных металлов. По объему исследований и разработок, их научной и практической значимости диссертация Д.Н. Багина удовлетворяет требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Багин Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.09.01 – электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,
доцент, ведущий инженер отдела
технического обслуживания и
внедрения систем автоматизации
ООО «Тепловодоканал»
(г. Среднеуральск)

Владимир Анатольевич Бегалов
29.09.16

Подпись к.т.н., доцента Бегалова В.А. удостоверяю

29.09.16  *Бегалов Владимир Анатольевич*

Адрес организации:
624070, Свердловская обл., г. Среднеуральск, ул. Уральская, д. 20.

Тел.: (34368) 7-55-50