

ОТЗЫВ

официального оппонента,

на диссертационную работу Кижаева Ивана Владимировича на тему: «Индукционный МГД-насос для перекачивания расплавов алюминия и сплавов на его основе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность темы диссертации.

С 1950 года активно развивается подход к применению магнитогидродинамических (МГД) насосов в атомных энергетических установках для транспортировки жидкометаллических теплоносителей. Важным преимуществом индукционных МГД-насосов является бесконтактное силовое воздействие на жидкий металл в металлотракте, что обеспечивает увеличение надежности и ресурса работы насосов. В металлургической промышленности также существует проблема транспортировки расплава между различными агрегатами, которая может быть решена с помощью МГД-насосов. Использование традиционных технологий транспортировки с помощью металлургических ковшей или самотеком за счет перепада высот между агрегатами сопряжено со значительными потерями энергии, а также снижает общий уровень надежности технологического комплекса и безопасности работы. Внедрение МГД-насосов в различные металлургические технологии позволяет как снизить энергозатраты на производство конечного продукта, так и повысить уровень безопасности производства при транспортировке металла по закрытым металлотрактам. Транспортировка металлов с использованием МГД-насосов актуальна, например, при производстве таких металлов, как цинк, алюминий, магний, свинец и ряда других металлов и сплавов на их основе с относительно невысокой температурой плавления. В рецензируемой работе исследуется МГД-насос для перекачивания жидкого алюминия.

Использование МГД-насосов при производстве алюминия предполагает увеличение производительности технологического процесса транспортировки, обеспечивает плавность регулирования подачи жидкого металла, а также позволяет решить проблемы, связанные с невозможностью перекачивания жидкого металла из плавильной печи в миксер в связи с отсутствием перепада высот между ними.

На основании вышеизложенного считаю, что исследования в области применения МГД-насосов в алюминиевой промышленности, анализ влияния на производительность технологических процессов представляют научный и практический интерес.

Актуальность темы диссертации определяется наличием научно-хозяйственной проблемы транспортировки расплавов в металлургической отрасли и вытекающей из нее научной проблемы разработки алгоритмов и методик анализа физических процессов в МГД-насосах для перекачивания расплавленного алюминия и синтеза их конструкций. Поставленная диссертантом цель и задачи исследования актуальны.

Оценка научной новизны полученных результатов.

Основная идея диссертации заключается в разработке верифицированных с помощью натурального эксперимента методик расчета и математических моделей МГД-насосов, позволяющих за короткое время проводить разработку этих устройств.

Соискателем в достаточной мере проведен обзор типов устройств и математических моделей МГД-насосов с описанием основных достоинств и недостатков. Даны обоснования выбора конструкции плоского линейного индукционного МГД-насоса для перекачивания алюминиевых сплавов.

Автором описаны математические модели исследуемого МГД-насоса. Кижаяев И. В. приводит решение электромагнитной задачи в двухмерной постановке аналитическим методом, учитывающим дискретность распределения токовой нагрузки, с помощью которого им были получены аналитические выражения, позволяющие проанализировать электромагнитные характеристики устройства. Адекватность полученных выражений автор обосновывает получением достаточной точности при сравнении электромагнитных зависимостей, полученных из численного двухмерного решения.

В своей работе соискатель описывает разработанную им трехмерную численную математическую модель, которая используется для проведения электромагнитного и термогидродинамического расчета. Кижаяевым И. В. определены безразмерные коэффициенты для предварительной оценки электромагнитных и гидродинамических процессов. В работе представлены результаты решения электромагнитной задачи с обоснованием адекватности геометрических и электромагнитных параметров. В работе описаны результаты решения электромагнитной и термогидродинамической задач с получением распределений электромагнитного поля, а также полей температур и векторного распределения скорости.

Автором были проведены экспериментальные исследования на физической модели МГД-насоса. Дано описание конструктивных особенностей, используемых материалов и масштаба изготовленной модели с учетом критериев подобия. Кижаяевым И.В. проведен процесс верификации математических моделей с помощью результатов натурного эксперимента через измерение энергетических, гидродинамических и тепловых характеристик.

Таким образом, научная новизна исследования согласуется с поставленными в диссертационной работе задачами и обусловлена необходимостью использования МГД-насосов в металлургии.

Наиболее значимыми результатами диссертации можно признать:

1. Аналитическую математическую модель, позволяющую учитывать дискретное распределение токовой нагрузки, несимметрию сопротивления фаз и влияние продольного краевого эффекта на работу МГД-насоса.

2. Численные математические модели, позволяющие определить характеристики исследуемых электромагнитных и термогидродинамических процессов в МГД-насосе.

3. Алгоритмы и программы моделирования и расчета электромагнитных, тепловых и гидродинамических процессов в МГД-насосе, позволяющие получить зависимости интегральных и дифференциальных электромагнитных характеристик, и распределения температурных и скоростных полей в МГД-насосе.

Практическую ценность представляют следующие результаты работы

1. Рекомендации по конструкции индукционных МГД-насосов для перекачивания алюминиевых расплавов.

2. Физическая модель системы перелива расплава из плавильной печи в миксер по транспортировочному желобу с индукционным МГД-насосом, которая предназначена для научных исследований и учебных занятий в лаборатории математического и физического моделирования.

Практическая значимость диссертации заключается также в создании алгоритмов и программ моделирования, которые могут использоваться для проектирования опытно-промышленных образцов для использования их в алюминиевой промышленности. Результаты диссертационной работы были использованы техническими специалистами

ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» при исследовании возможности использования МГД-насоса для перекачивания алюминиевых расплавов.

Новыми научными результатами, полученными автором, являются двумерная аналитическая модель МГД-насоса, учитывающая дискретность распределения токовой нагрузки, а также его трехмерная численная модель, учитывающая термогравитационные явления в расплаве, находящимся в канале МГД-насоса для транспортировки алюминия.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений.

Обоснованность научных результатов обусловлена использованием в исследовании математического аналитического и численного моделирования совместно с натурными исследованиями на физической модели. Достоверность обеспечивается достаточной точностью совпадения результатов физического эксперимента и математического моделирования.

Апробация диссертации и публикации.

Основные положения и результаты проведенных исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Научные положения, выводы и заключения соискателя по итогам диссертационной работы достаточно полно отражены в опубликованных им научных статьях. Основное содержание и результаты работы докладывались на международной конференции студентов и аспирантов «Перспективы Свободный 2018» (г. Красноярск, 23-27 апреля 2018 г.) и всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (г. Новосибирск, 3-7 декабря 2018 г.).

По результатам проведенных исследований опубликовано 7 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ для публикации диссертационных работ, и 1 в изданиях, индексируемых в международной базе SCOPUS.

Оценка структуры, содержания и оформления диссертации.

Диссертация содержит 97 с. основного текста (без учета списка используемой литературы из 90 наименований), состоит из четырех разделов, введения и заключения. В диссертации имеется 7 таблиц и 57 рисунков. Работа написана в форме, позволяющей получить достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Оформление работы соответствует установленным требованиям. При использовании сторонних источников в диссертации даются необходимые ссылки.

Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям. В диссертации четко определен вклад автора в разработку проблемы в работах, опубликованных коллективно с соавторами.

Тема диссертации соответствует паспорту заявленной научной специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», а именно пунктам:

П. 1 – Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования.

П. 2 – Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов.

Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде таблиц, графиков и структурных схем позволяют объективно оценивать содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований.

Замечания по диссертации.

Следует отметить в диссертационной работе следующие недостатки:

1. В выводах к разделу 2 говорится о том, что «построенная аналитическая модель позволила получить простые аналитические выражения для определения основных геометрических размеров ПЛИН», однако в тексте диссертации эти выражения отсутствуют. Как автор предполагает решать задачу синтеза конструкции рассматриваемой машины?
2. При построении численной модели автором была проведена оценка величины магнитного числа Рейнольдса (3.1). Как при этой оценке были определены такие параметры как характерная скорость и характерная длина? То же относится и к определению числа Гартмана (3.30) (магнитная индукция принята равной 1 Тл) и Рейнольдса (3.31). Причем характерные скорости в выражениях (3.1) и (3.31) отличаются в 2 раза. Почему?
3. На рис. 3.9 приведены зависимости нормальной и тангенциальной составляющих усилия (по-видимому, интегральных) от частоты тока индуктора. Не указано лишь для какой скорости течения металла в канале эти зависимости были получены?
4. При анализе тепловых процессов проводилось сравнение установившихся температур при естественном охлаждении и принудительном обдуве с расходом $7000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Как были определены коэффициенты теплоотдачи с поверхностей катушек и магнитопровода в этих двух случаях. Решалась газодинамическая задача? Постановка этой задачи в работе не приведена.
5. На рис. 3.12 приведена расход-напорная характеристика моделируемого насоса. Изменение расхода предполагает и изменение скорости течения металла в металлотракте. Как при этом изменяется величина магнитного числа Рейнольдса. Насколько достоверна полученная расход-напорная характеристика в области высоких расходов (малого скольжения), если не учитывать влияние скорости течения металла на распределение магнитного поля в канале?
6. В выводах к разделу 3 приводится найденный диапазон соотношения ширины канала к ширине магнитопровода, однако поиск этого соотношения остался за рамками текста диссертации.
7. При разработке физической модели исследуемого насоса были определено соотношение параметров оригинала и модели для частоты тока оригинала 2 Гц, хотя в разделе 3 был получен максимум развиваемого усилия на частоте 50 Гц. Почему здесь использовалась другая частота? Здесь же указана неверная размерность для угловой частоты (Гц вместо с^{-1}).
8. В пункте 4.5 говорится о том, что «немаловажную роль в разности результатов сыграл коэффициент заполнения пазов». Что помешало поправить этот коэффициент в математической модели для того, чтобы она соответствовала физической? Говорится также о том, что «линейная токовая нагрузка в физической модели несколько ниже, чем в математической». Мощность и создаваемое усилие квадратично зависит от линейной плотности тока. Учитывалось ли это при расчете погрешности?

9. В п.1 заключения приведен тезис о том, что конструкция с перекрещивающимися обмотками позволяет выровнять индуктивное сопротивление фаз для улучшения рабочих характеристик МГД-насоса. С чем проводилось подобное сравнение?
10. В диссертационной работе имеется ряд неудачных стилистических формулировок, неточностей, грамматических, пунктуационных ошибок.

В целом, указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления от рецензируемой диссертационной работы.

Общая оценка диссертационной работы.

Диссертация Кижяева И. В. «Индукционный МГД-насос для перекачивания расплава алюминия и сплавов на его основе» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на достойном уровне. Работа автором выполнена самостоятельно, результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертационное исследование базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Написана работа доходчиво, хорошим научным языком и грамотно оформлена. В диссертации Кижяева И.В. содержится решение задачи моделирования связанных электромагнитных, гидродинамических и тепловых процессов в индукционных МГД-насосах для перекачивания алюминия, имеющей значение для развития электромеханики и МГД-техники.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и характеризуют результаты проведенных исследований.

Диссертационная работа соответствует требованиям п 9. «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Кижяев Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Электротехника»

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный

университет имени первого президента

России Б. Н. Ельцина»,

доктор технических наук, доцент


Фризен Василий Эдуардович

« 31 » 08 2023 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина».

Адрес: ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620000

E-Mail: vefrizen@urfu.ru

Подпись
заверяю

