

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
Федерального Государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»),



Д-р техн. наук, профессор

В.К. Драгунов

30» ноября 2020 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

Федерального Государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»)

на диссертационную работу **Филиппова Василия Александровича**

«Повышение эффективности электромагнитных магнитожидкостных  
сепараторов немагнитных материалов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

### 1. Структура и объем диссертационной работы

Структура диссертационной работы общепринятая, имеет четкое логическое построение. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка (124 наименования), приложений. Диссертация изложена на 128 страницах основного текста, иллюстрирована 73 рисунками и 14 таблицами. По диссертационной работе сделаны выводы, представляющие результаты работы, рекомендации их практического применения и перспективы развития. Диссертационная работа изложена логичным, аргументированным и ясным языком, технически корректно оформлена. Во всех разделах диссертации автор использует доказательный стиль изложения.

## 2. Актуальность темы

Эффективная обработка и обогащение природных ископаемых, переработка отходов бытовой техники, автомобилей, электронных приборов снижают загрязнение окружающей среды, возвращают в производство цветные металлы и драгоценные материалы, сохраняет природные ресурсы.

Для сепарации немагнитных материалов перспективны электромагнитные магнитожидкостные сепараторы (ЭМЖС) с использованием нанодисперсной магнитной жидкости (МЖ), которая располагается в зазоре между полюсными наконечниками электромагнита ЭМЖС, создающих градиентное магнитное поле. ЭМЖС позволяют разделять немагнитные материалы из смеси немагнитных частиц на фракции по плотности и относятся к классу электромагнитных аппаратов. В них можно внешним электромагнитным воздействием (изменением градиента магнитной индукции в магнитной жидкости) менять силу сепарации и границу плотностей частиц при сепарации, электромагнитным образом управлять процессом сепарации. Такие сепараторы находят применение в организациях, занимающихся обогащением природных ископаемых, драгоценных материалов, в переработке промышленных отходов с целью извлечения цветных металлов.

Актуальность темы обусловлена недостаточной точностью разделения материалов в существующих ЭМЖС, их невысокой функциональностью и эффективностью, что объясняется использованием несовершенных конструкций ЭМЖС, упрощенных математических моделей и методик расчетов процессов сепарации, разработки сепараторов.

В связи с этим диссертация Филиппова Василия Александровича, посвященная повышению эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов на основе расширения функциональности и точности разделения немагнитных материалов путем совершенствования конструкции, разработки и применения уточненных моделей, методик расчетов и проектирования, безусловно, актуальна и соответствует специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты.

### 3. Научная новизна исследований и полученных результатов:

Научная новизна исследований заключается в: методиках анализа ЭМЖС, устанавливающих зависимость сил сепарации от параметров магнитного поля с учётом численных результатов моделирования распределений неоднородных магнитного поля и поля избыточного давления в сепараторе; методиках моделирования регулируемого электромагнитным способом процесса разделения немагнитных частиц в ЭМЖС с учетом плотности, размеров и формы сепарируемых частиц; методике расчета траектории частиц с учетом вязкости МЖ, начальной скорости и плотности частиц; методиках расчета и проектирования ЭМЖС с уточненным расчетом конфигурации полюсов и рабочего зазора сепаратора, учетом изменения формы поверхности МЖ, влияния перераспределения магнитного поля вследствие заполнения рабочего зазора сепарируемыми немагнитными частицами.

Научная новизна полученных результатов заключается в: результатах уточненного моделирования распределений неоднородного магнитного поля ЭМЖС, позволивших учесть конфигурацию рабочей зоны, нелинейность магнитных свойств материалов и магнитной жидкости; впервые полученных результатах моделирования распределения неоднородного поля избыточного давления в ЭМЖС; результатах уточненных расчетов силы сепарации, действующей на немагнитные частицы в неоднородном магнитном поле ЭМЖС; новых результатах расчетов движения немагнитных частиц в рабочей зоне ЭМЖС с учетом распределения магнитного поля, дисперсности, формы и плотности частиц; результатах уточненного исследования влияния степени заполнения рабочей зоны ЭМЖС немагнитными частицами и их формы на распределение магнитного поля, давлений и сил сепарации; результатах математического формирования необходимого распределения магнитного поля в ЭМЖС, расчета размеров активной зоны с учетом плотности немагнитных частиц, размеров, производительности ЭМЖС по легкой и тяжелой фракциям.

#### **4. Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов обоснована корректным использованием теории электромеханического преобразования энергии, математических методов моделирования электромагнитных и феррогидродинамических процессов, численных методов расчетов физических полей на основе метода конечных элементов с использованием известных компьютерных систем моделирования. Проведенные теоретические исследования и расчеты на основе разработанных математических моделей, методик и программ подтверждены удовлетворительным совпадением расчетных и опытных данных.

#### **5. Научная и практическая значимость результатов диссертации**

Научная значимость результатов диссертации заключается в разработанных математических моделях, методиках расчета и программах, позволяющих проводить уточненное моделирование процессов сепарации в ЭМЖС.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в: повышении точности расчета показателей сепарации немагнитных материалов в ЭМЖС; оценке влияния конструктивных и режимных факторов на эффективность регулируемого электромагнитным образом процесса сепарации; возможности разработки усовершенствованных ЭМЖС немагнитных материалов; использовании результатов теоретических и экспериментальных исследований ЭМЖС в учебном процессе ВУЗов; конструкции усовершенствованного ЭМЖС, обладающего функциональными преимуществами при сепарации многокомпонентных смесей.

Практическая ценность результатов диссертации подтверждается патентом на изобретение, в котором предложена конструкция усовершенствованного ЭМЖС немагнитных материалов, и свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ по моделированию процессов сепарации в ЭМЖС. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе ИГЭУ по профилю подготовки «Электромеханика» в дисциплине «Электромеханические магнито-

жидкостные устройства», а также приняты к использованию в ОАО «Вторцветмет», что подтверждено Актами внедрения.

Все вышеизложенное позволяет утверждать, что поставленная в диссертации цель - повышение эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов на основе расширения функциональности и точности разделения немагнитных материалов путем совершенствования конструкции, разработки и применения уточненных моделей, методик расчетов и проектирования, достигнута.

#### **6. Рекомендации по дальнейшему использованию результатов и выводов**

Полученные в диссертации результаты целесообразны к дальнейшему использованию в научно-исследовательских организациях при разработке новых перспективных ЭМЖС немагнитных материалов, на предприятиях для оценки и выбора конструкций сепараторов при обогащении природных ископаемых и переработке промышленных отходов с целью извлечения цветных металлов, в учебном процессе технических ВУЗов.

#### **7. Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат отражает содержание работы, содержит информацию об основных положениях и выводах диссертации, позволяет сделать заключение о научном и техническом уровне работы.

#### **8. Полнота опубликования основных результатов диссертации**

Основные положения диссертации достаточно полно изложены в печати. Результаты исследований докладывались на Международных и Всероссийских конференциях, опубликовано 22 печатных работы, из которых 4 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в журнале, входящем в базу Scopus, 1 патент на изобретение и 2 свидетельства на программы для ЭВМ. Это позволяет утверждать, что полученные результаты опубликованы с достаточной полнотой.

## 9. Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации недостаточно рассмотрен вопрос выбора магнитной жидкости для обеспечения требуемых характеристик электромагнитного магнито-жидкостного сепаратора. Исследования выполнены для одного типа магнитной жидкости.

2. Вязкость магнитной жидкости зависит от магнитной индукции. В условиях неоднородного магнитного поля в ЭМЖС вязкость МЖ будет непостоянна в разных зонах зазора. Это не учтено при моделировании движения частиц в магнитной жидкости.

3. Моделирование распределений магнитного поля и поля избыточных давлений выполнено только в плоскопараллельной постановке. Насколько это справедливо?

4. Алгоритм определения поверхности полюсов ЭМЖС ориентирован на обеспечение условия постоянства градиента вертикальной составляющей напряженности магнитного поля по высоте зазора на его срединной линии. Поскольку намагниченность зависит от плотности магнитной жидкости, которая также зависит от градиента напряженности магнитного поля, то указанное условие не соответствует постоянной силе сепарации. Влияет ли это на эффективность работы сепаратора?

5. Расчет траектории немагнитных частиц в ЭМЖС основан на аналитических моделях, которые развиты только для сферических частиц. Не выполнено моделирование динамики движения частиц с использованием результатов полевых расчетов.

6. В диссертации имеются отдельные опечатки и неточности.

Указанные замечания имеют частный характер и не снижают общего высокого уровня диссертационной работы.

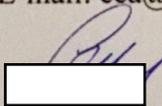
## Заключение

В целом диссертация Филиппова Василия Александровича «Повышение эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов» представляет законченную научно-квалификационную работу. Автором путем совершенствования конструкции, разработки и применения уточненных моделей, методик расчетов и проектирования решена актуальная научно-техническая задача повышения эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов. Научные и практические результаты диссертации обоснованы и достоверны, являются новыми и значимыми, имеют важное значение для электромеханики и электрических аппаратов. Диссертация соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842), предъявляемым к кандидатской диссертации в области технических наук, а Филиппов Василий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Диссертация, автореферат и отзыв рассмотрены и обсуждены на заседании кафедры «Электромеханика, электрические и электронные аппараты», протокол №8 от «26» ноября 2020 г.

Исполняющий обязанности заведующего кафедрой  
«Электромеханика, электрические и электронные аппараты»  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»)  
(111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 13).  
Тел. 8 (495) 362-70-04 E-mail: eea@mpei.ru

к.т.н., доцент



Ширинский Сергей Владимирович

Подпись к.т.н., доцента Ширинского С.В. заверяю  
Ученый секретарь ученого Совета


Дата составления отзыва: «27» ноября 2020 г.