

## **Отзыв**

официального оппонента 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»

### **Актуальность темы диссертации**

Одной из проблем современности является непрерывное увеличение количества промышленных и бытовых отходов. Во многом, этому способствует развитие науки и, как следствие, совершенствование технологий. Все это приводит к быстрому моральному устареванию техники.

Современные аспекты производства таковы, что производителям выгоднее изготовить изделие заново, нежели применять дополнительные инвестиции в разработку технологий переработки отходов. Все это приводит к тому, что на свалку отправляется бытовая электроника, содержащая дорогостоящие полупроводники, черный металлолом и лом цветных металлов.

В России принята стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года утвержденная №84-р от 25.01.2018. Так, согласно этому документу, одним из приоритетных направлений является развитие научно-исследовательских организаций и опытно-конструкторской деятельности в сфере разработки инновационных технологий утилизации отходов.

Перспективным направлением сортировки лома является применение электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов. Электромагнитная магнитожидкостная сепарация позволяют разделять немагнитные материалы из смеси немагнитных частиц на фракции по плотности. Такие сепараторы представляют интерес для организаций, занимающихся обогащением природных ископаемых, драгоценных материалов, в переработке отходов бытовой техники и промышленных отходов, утилизируемых автомобилей, электронных приборов с целью извлечения цветных металлов.

В отечественной науке и технике, к настоящему моменту вопросы разработки электромагнитных магнитожидкостных сепараторов изучены не в полной мере.

Поэтому, считаю, что диссертационная работа Филиппова В.А., посвященная уточнению математических моделей и совершенствованию методик расчета электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов является актуальной.

### **Структура диссертации и основные результаты**

Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела, заключение, список использованных источников из 124 наименований и приложения. Основная часть содержит 128 страниц печатного текста, 73 рисунка и 14 таблиц. Диссертация имеет внутреннее единство, написана с использованием принятых в данной области исследований технических терминов.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования. Сформулирована цель исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна. Приведены основные результаты работы, их теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** анализируется влияние проблемы переработки отходов на загрязнение окружающей среды. Отмечается, что в новых экономических условиях, когда ресурсы общества ограничены, а политическая конъюнктура диктует рынку условия, встает понимание важности переработки отходов как нового источника сырья.

Рассматриваются разные способы сепарации немагнитных материалов: механические, гидро- и аэродинамические сепараторы, электродинамические, электромагнитные и т.д. Причем, магнитная сепарация выделяется автором как перспективная, поскольку позволяет разделять магнитные и немагнитные включения.

Анализируются особенности конструкций, физические основы работы, преимущества и недостатки аэро- и гидро-, электродинамической сепараций.

Рассмотрены принципы электромагнитного сепаратора на основе магнитной жидкости. Дано описание эффекта выталкивания немагнитных тел из магнитной жидкости, а также приведена оригинальная конструкция разработанного электромагнитного сепаратора. Поясняется физическая сущность работы разработанного электромагнитного сепаратора. Дано описание его функциональных возможностей по разделению.

Рассмотрены промышленные образцы сепараторов и представлены их основные технические характеристики.

Сравнением характеристик рассмотренных способов сепарации выявляются преимущества электромагнитной сепарации на основе магнитной жидкости.

Представлены выводы по первой главе и задачи исследования. Отмечается связь работы с проведенными, в рамках грантов РФФИ, исследований.

**Во второй главе** разработаны математические модели сил, действующих на немагнитное тело в магнитожидкостном сепараторе.

Проведен силовой анализ воздействия на немагнитную частицу в неоднородном магнитном поле полюсов. Выявлены зависимости глубины погружения немагнитной частицы от ее геометрических размеров частицы (диаметра) и физических свойства (плотности), а также высоты сортировочного лотка.

Получены математические модели траектории движения немагнитной частицы в рабочем зазоре электромагнитного магнитожидкостного сепаратора учитывающие длину и угла наклона полюсных наконечников, высоты столба магнитной жидкости. По полученным моделям разработана патентозащищенная компьютерная программа для исследования траекторий движения немагнитных частиц в магнитной сепараторе.

Для указанных в работе исходных данных рассчитаны зависимости производительности сепаратора от диаметра частиц, их плотности и разных высот лотка, которые рекомендованы автором при технической реализации магнитожидкостного сепаратора.

Изучено влияние формы поверхностей полюсных наконечников магнитожидкостного сепаратора на распределение сепарирующей силы в сортировочном пространстве.

По полученным данным разработаны:

-методика проектирования электромагнитных магнитожидкостных сепараторов учитывающая требования к распределению магнитного поля в рабочем зазоре и свойству используемой магнитной жидкости;

-методика расчета производительности магнитожидкостного сепаратора;

-методика теплового расчета обмотки возбуждения электромагнитного сепаратора.

Сформулированы выводы по главе.

**В третьей главе** исследованы особенности, которые следует принимать во внимание при моделировании электромагнитного сепаратора с учетом нелинейности магнитных свойств магнитной жидкости.

Исследовано распределение магнитных полей в межполюсном пространстве, сил и давлений в электромагнитном сепараторе немагнитных материалов с помощью конечно-элементной модели, разработанной в программах ELCUT

и *Ansoft Maxwell*.

Установлено, что при увеличении коэффициента заполнения зазора, либо при отклонении формы тела от сферической наблюдается снижение выталкивающей силы, действующей на немагнитное тело.

Получены зависимости удельной магнитной силы, действующей на немагнитное тело от его геометрических размеров.

Сформулированы выводы по главе.

**Четвёртая глава** посвящена экспериментальному исследованию процесса сепарации немагнитных материалов в разработанном электромагнитном магнитожидкостном сепараторе. Дано описание разработанной экспериментальной установки для сепарации немагнитных частиц и марке используемой магнитной жидкости.

Проведены исследования влияния параметров разделяемых частиц и тока в электромагнитах сепаратора на процесс сепарации. Сопоставлением результатов экспериментального исследования с расчетными данными, полученными по результатам конечно-элементного моделирования, сделан вывод об их согласованности. Отклонение экспериментальных данных от расчетных составило не более 8%.

Предложена патентозащищенная усовершенствованная конструкция электромагнитожидкостного сепаратора, позволяющая повысить эффективность и производительность сепарации за счет увеличения числа разделяемых фракций.

Сформулированы выводы по главе.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Автореферат и опубликованные автором работы достаточно полно отражают содержание диссертации, научную и практическую значимость. В автореферате представлены основные научные идеи диссертации, положения, представленные к защите. В автореферате указан личный вклад автора в полученных научных результатах.

### **Новизна исследований и полученных результатов**

Научная новизна исследования заключается в изучении процессов сепарации немагнитных материалов в магнитожидкостном сепараторе с учетом распределения магнитного поля в рабочем зазоре; создаваемого избыточного давления на немагнитную частицу; начальной скорости, плотности, размеров и формы сепарируемых частиц; вязкости МЖ; влияния на магнитное поле полю-

сов степени заполнения сепарируемыми немагнитными частицами.

К наиболее существенным новым научным результатам, полученным в работе, следует отнести:

1. математические модели процесса сепарации немагнитных материалов, отличающиеся учетом влияния геометрических размеров на глубину погружения частицы;
2. математические модели и результаты численного моделирования траектории движения сепарируемой частицы, учитывающие ее плотность, диаметр частицы, начальное положение, а также свойства магнитной жидкости, геометрию полюсов и форму рабочего зазора сепаратора;
3. математические модели и результаты численного моделирования геометрии рабочего зазора, с учетом свойств сепарируемой немагнитной частицы и свойств магнитной жидкости;
4. Результаты экспериментального исследования влияния размера, формы и количества немагнитных частиц на силу сепарации на разработанной установке.

#### **Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, обоснованы системным анализом работ в области современного состояния, развития и совершенствования электромагнитных магнитожидкостных сепараторов. В работе рассмотрены основные существующие модели физических процессов в электромагнитном магнитожидкостном сепараторе, их преимущества и недостатки. Экспериментальные исследования выполнены на разработанной установке, включающей в себя блоки промышленно выпускаемого измерительного оборудования. С удовлетворительным расхождением (не более 8%) экспериментальных значений от теоретических, подтверждены результаты расчетов по разработанным математическим моделям.

Таким образом, предложенные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации, вполне обоснованы.

#### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных результатов исследования определяется корректным использованием соответствующего математического аппарата, подробной оценкой и научным обоснованием принятых допущений и подтверждена сравнением расчетных данных с результатами экспериментального исследования.

## **Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций**

В диссертационной работе научный интерес представляют разработанные математические модели; результаты имитационного моделирования; результаты экспериментального исследования.

Практической значимостью в работе обладают разработанные программы, методики и алгоритмы расчета, позволяющих по исходным данным (тип и размеры сепарируемых немагнитных частиц, применяемой магнитной жидкости) рассчитать эффективную конструкцию электромагнитного магнитожидкостного сепаратора; экспериментальная установка для исследования свойств электромагнитного магнитожидкостного сепаратора; усовершенствованная конструкция магнитного сепаратора для разделения многофракционных смесей; рекомендации по направлениям дальнейшего совершенствованию конструкций.

## **Соответствие диссертации и автореферата требованиям**

### **Положения о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертация имеет внутреннее единство, написана ясным языком с использованием принятой, для данной технической области терминологии. Содержание автореферата в достаточной мере отражает материал диссертации. Рисунки выполнены с соблюдением стандартов. Основные результаты диссертации опубликованы в 22 печатных работах, из них 4 статьи в изданиях по списку ВАК, 1 статья в журнале, входящем в базу Scopus, 1 патент РФ и 2 свидетельства на программы для ЭВМ, 14 работ в других российских и зарубежных изданиях. Содержание диссертации отражено в публикациях автора с требуемой полнотой.

Основные результаты диссертационной работы приняты к использованию в учебном процессе на кафедре «Электромеханика» (ФГБОУ ВО ИГЭУ им. В.И. Ленина, г. Иваново), а также в ОАО «Вторцветмет», что подтверждено соответствующими Актами внедрения.

### **Соответствие диссертации научной специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» по заявляемым пунктам: «... специальность, объединяющая исследования по физическим и техническим принципам создания и совершенствования силовых ... устройств для взаимного преобразования электрической и механической энергии»; в части области исследования: п.1 «Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования ... электромеханических преобразователей и электрических аппара-

тов»; п.3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии»; п.5 «Разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование ... электромеханических преобразователей и электрических аппаратов ...».

### **Замечания по диссертации**

1. Мелкие отступления от требований ГОСТ 7.0.100-2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» при оформлении ссылок на Интернет источники информации.

2. Опытно-конструкторские работы не могут являться основной задачей исследования. Поэтому, в задачах исследования в п.4 фразу «Совершенствование конструкции» следовало бы исключить, а п.5 изложить, например, в виде «экспериментальные исследования усовершенствованного электромагнитного магнитожидкостного сепаратора на разработанной установке».

3. Автор не поясняет, какими характеристиками обладают «легкая» и «тяжелая» частицы.

4. Не даны энергетические оценки магнитожидкостного способа сепарации.

5. Не поясняется, как учитывается вязкость магнитной жидкости от индукции магнитного поля при сепарации.

6. Математическое моделирование траектории движения немагнитной частицы в неоднородном магнитном поле выполнено с учетом магнитной силы сепарации только для частицы сферической формы. Частицы могут быть произвольной формы, что не учитывает разработанная автором методика.

7. В разработанной методике проектирования магнитожидкостных сепараторов требования по выбору магнитной жидкости являются общими. Рекомендуется представить минимальные требования.

8. Исследования проведены для статической постановки задачи сепарации немагнитной частицы, поэтому не учитывают динамический процесс сепарации и траектория движения частиц в неоднородном магнитном поле сепаратора.

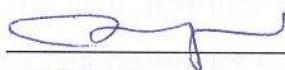
9. Нет экспериментального подтверждения расчетов производительности сепаратора.

### **Заключение**

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научно-практическую значимость работы. В целом диссертация Филиппова Василия Александровича на тему «Повышение эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов» представляет за-

конченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение актуальной научно-технической проблемы повышения эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов, имеющей важное значение для развития отрасли РФ по переработке отходов, что соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 года), предъявляемым ВАК Министерства науки и высшего образования РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Филиппов Василий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент, кандидат технических наук (специальность 05.09.03), доцент, доцент кафедры «Электромеханика и автомобильное электрооборудование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)



Рандин Дмитрий Геннадьевич

Подпись Рандина Дмитрия Геннадьевича заверяю:  
Секретарь ученого совета СамГТУ. д.т.н.



Малиновская Ю.А.

Ф.И.О., представившего отзыв: Рандин Дмитрий Геннадьевич

Почтовый адрес организации: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

Сайт: <http://samgtu.ru>

Адрес электронной почты: [em@samgtu.ru](mailto:em@samgtu.ru)

Наименование организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Электромеханика и автомобильное электрооборудование».

Тел. +7 846 242 37 90 (кафедра), +7 846 278 43 53 (канцелярия).

Дата составления отзыва: « 24 » ноября 2020 г.