

ОТЗЫВ

официального оппонента Скригана Ильи Николаевича на диссертацию соискателя Смольянова Ивана Александровича на тему «Численное моделирование неустойчивых течений жидкости под воздействием магнитного поля», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2. 4. 4. Электротехнология и электрофизика.

Актуальность темы диссертации

Современная промышленность нуждается в новых качественных сплавах и сверхчистых металлах для реализации новой технической продукции. Развитие ядерной энергетики привело к возможности создавать новые ядерные реакторы с большим значением вырабатываемой энергии. Эти ядерные реакторы требуют особого внимания при проектировании и эксплуатации системы их охлаждения. Ключевым элементов в этих охладительных системах является устройство для перекачки жидкометаллического теплоносителя – электромагнитный насос. Новые технологические процессы нуждаются в высокой точности управления параметрами системы. Решение таких задач требует абсолютно новых подходов к изучению физических процессов, протекающих в этих установках и проектированию магнитогидродинамических установок. В представленной работе исследуется влияние неустойчивых течений на поведение потока и, как следствие, на основные характеристики магнитогидродинамических установок. В виду того, что указанные процессы не до конца изучены даже с фундаментальной точки зрения, представленная работа имеет особую актуальность как с практической точки зрения, так и теоретической.

Целью данной работы является изучение механизмов возникновения турбулентных потоков в проводящей жидкости под воздействием магнитного поля.

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 150 страниц, включая 79 рисунков и 3 таблицы, Список литературы содержит 202 наименования.

Новизна и достоверность основных выводов и результатов работы

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Разработаны алгоритмы для расчета численных моделей в программах с открытой лицензией OpenFOAM, Elmer и при помощи библиотеки EOF-library. Эти алгоритмы позволяют проводить численные расчеты систем с проводящими сжимаемыми или несжимаемыми

жидкостями под воздействием гармонических магнитных полей с учетом фазового перехода одно- и двухкомпонентных сплавов.

2. Разработан Python код (библиотека) для автоматизации работы с численными моделями, реализованных в OpenFOAM и Elmer.

3. Разработана численная модель для расчета потоков жидкости в прямоугольном канале под воздействием внешнего магнитного поля с возможностью исключать из расчетов электромагнитные эффекты.

4. Проведены численные исследования по оценке поперечного и продольного краевых эффектов по отдельности друг от друга на поведение потока.

5. Представлен новый критерий оценки поведения потока в прямоугольных каналах с учетом аспектного соотношения ширины и высоты канала. На основе этого критерия было показано, что увеличение ширины канала ослабляет влияние электромагнитных эффектов в областях между активной и краевыми зонами. Образование вихрей из-за продольного краевого эффекта сильно зависит не только от параметров магнитной системы, но и от гидродинамических параметров.

6. Показаны механизмы возникновения турбулентных течений проводящей жидкости в прямоугольных каналах под воздействием внешнего магнитного поля в диапазоне чисел Гартмана от 0 до 8000, Стюарта от 0 до 100, Рейнольдса от 100 до 55 000, магнитного числа Рейнольдса от $4\pi 10^{-7}$ до 10.

7. Проведена классификация пространственных структур вихрей, образующихся в связи с воздействием бегущего магнитного поля на поток жидкости в прямоугольном канале. На основании этой классификации построена карта возникновения вихревых течений в диапазоне магнитного числа Рейнольдса от $4\pi 10^{-7}$ до 10 и числа Гартмана от 100 до 2000.

8. Проведено исследование влияния термогравитационных эффектов на поведение потока при разной интенсивности внешнего магнитного поля. На основании результатов этого исследования выведены количественные зависимости влияния джоулева тепла на поля скорости, давления и температуры жидкости. На основании этих зависимостей в будущих исследованиях можно оценивать важность учета этих термических эффектов в расчётах.

Ценность для науки и практики

Ряд полученных результатов в представленной диссертационной работе могут позволить приблизиться к решению задачи разработки прототипов конструкций индукционных насосов, работающих с высоким

расходом жидкости и при высоких давлениях. Проведенный сравнительный анализ влияния краевых эффектов на поведение потока позволил понять, какие особенности необходимо учитывать в математических моделях для инженерной практики. Разработанные карты состояний потока жидкости позволят избежать нежелательных режимов работы магнитогидродинамических устройств без проведения дополнительных исследований и расчетов. Проведенное исследование по влиянию аспектного соотношения ширины и высоты канала структуры вихрей позволит упростить процесс проектирования. С практической точки зрения, важным является понимание как изменяются технические характеристики установки в зависимости от условий эксплуатации. Результаты о влиянии термических эффектов на поведение потока могут упростить проведение оценки условий эксплуатации на характеристики установки. Предлагаемые подходы могут быть применены для решения большого спектра практических задач. Алгоритмы для расчета численных моделей могут быть использованы как в инженерной практике, так и в научных исследованиях. Разработанные в диссертационной работе рекомендации по настройке численных моделей для расчета задач течения проводящей жидкости под воздействием магнитного поля позволяют снизить требования к вычислительной технике. Выработанные критерии для оценки масштаба сетки позволят будущим исследователям разрабатывать оптимальные численные модели с точки зрения вычислительных ресурсов персонального компьютера. Разработанная библиотека «PyRunOF» позволяет проводить параметрические исследования, автоматизировать процедуры обработки результатов и настройки модели, что существенно сокращает время на осуществление рутинных процедур.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Смольянова Ивана Александровича «Численное моделирование неустойчивых течений жидкости под воздействием магнитного поля» выполнена на высоком уровне и актуальную тему, которая делает попытки связать теоретические знания о природе магнитной гидродинамики с прикладной ее частью в электротехнологии.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующие:

1. В пункте 2.4 диссертационной работы автор указывает на нетривиальность задачи выбора измерительной техники для получения распределения скорости потока жидкости. Сразу после этого приводятся результаты верификации экспериментальных данных с данными, полученными с использованием численной модели. В таком случае не

- лишним было бы указать тип и характеристики измерительного прибора, который использовался в эксперименте.
2. В заключении пункта 4.2 работы делается вывод об адекватности применения расчетных процедур для решения задач естественной конвекции при протекании жидкости под действием магнитного поля. Данное заключение кажется преждевременным. Для того чтобы такое заключение было обоснованным, требуется решить задачу течения жидкости при одновременном действии как естественной термогравитационной конвекции, так и вынужденной при действии электромагнитных сил.
 3. В тексте работы, в частности на страницах 113 и 114, делается акцент на важности правильного выбора модели турбулентности, однако не описаны критерии, в соответствии с которыми та или иная модель турбулентности может быть выбрана.
 4. В пункте 4.3 делается вывод, что джоулев нагрев слабо влияет на температурное поле (менее 0,01 %). Стоит отметить, что такое заключение относится исключительно к рассматриваемой магнитогидродинамической системе и не может являться обобщающим. Во многих физических процессах, например, индукционная тигельная плавка оксидных материалов и стекол, плавка металлов в индукционных канальных печах, плавка металлов в дуговых сталеплавильных печах и тд., распределение источников тепла в расплаве играет ключевую роль в формировании температурного поля.
 5. В тексте диссертации присутствует большое количество опечаток, что в некоторой степени портит общее положительное впечатление от проделанной работы.

Заключение

В диссертационной работе Смольянова Ивана Александровича имеются новые научные знания, которые будут актуальны на практике и могут найти развитие в будущих научных работах.


Диссертационная работа Смольянова Ивана Александровича «Численное моделирование неустойчивых течений жидкости под воздействием магнитного поля» удовлетворяет всем требованиям, установленным в пункте 9 Положения о присуждении ученых степеней во ФГАОУ ВО «УрФУ» к кандидатским диссертациям. Представленная работа соответствует специальности 2. 4. 4. Электротехнология и электрофизика.

Автор диссертационного исследования «Численное моделирование неустойчивых течений жидкости под воздействием магнитного поля»,

Смольянов Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2. 4. 4. Электротехнология и электрофизика.

Официальный оппонент, к.т.н.
ассистент кафедры электротехнологической
и преобразовательной техники,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

Скриган Илья Николаевич



20 мая 2022 г.

197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5 литера Ф,
тел. моб. +79818472513, e-mail: ilya.skrigan@yandex.ru

Подпись Скригана Илья Николаевича
заверяю. Начальник отдела
диссертационных советов СПбЭТУ
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), к.т.н.
Русяева Т.Л.

