

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Колесниченко Ильи Владимировича «Фундаментальные аспекты магнитной гидродинамики жидких металлов в области значений параметров, характерных для технологических приложений», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация, представленная Колесниченко Ильей Владимировичем, посвящена актуальному исследованию в области магнитной гидродинамики, а именно – разработке единого подхода для решения практических задач, в которых необходимо прогнозировать поведение течений жидкого металла. Практический интерес к этим исследованиям обусловлен задачами из металлургии и энергетики. Автор делает обобщение существующих технологических установок с помощью использования теории подобия. Результаты поведения крупномасштабных полоидальных и азимутальных течений в цилиндрических ячейках представляют особый интерес в металлургической промышленности, например, при проектировании установок для отливки современных сплавов. Впервые показаны обобщенные результаты влияния совместного воздействия бегущего (БМП) и вращающегося (ВМП) магнитных полей на поведение проводящей жидкости.

Научная новизна работы подтверждается впервые полученными результатами, а именно:

- Объяснены причины потери интенсивности крупномасштабного полоидального течения во внешнем магнитном поле.
- Показана возможность определения с помощью кросс-корреляционного вейвлет-анализа достоверной части турбулентных спектров течений, созданных бегущими или вращающимися магнитными полями, а также возможность создания развитого в объеме ячейки течения путем чередования направления вращающегося поля по высоте.
- Исследовано, что использование совокупности бегущего и вращающегося магнитных полей существенно улучшает и гомогенизирует распределение свойств цилиндрических слитков, а управление характеристиками полей позволяет влиять на поведение границы между твердой и жидкой фазами кристаллизующегося слитка.
- Обнаружено наличие интенсивных колебаний крупномасштабной конвективной циркуляции в коротком канале при углах наклона его оси относительно вертикали вплоть до 40 градусов.
- Получены зависимости характеристик турбулентного конвективного теплообмена в цилиндрических каналах с различным аспектным соотношением от угла их наклона относительно вертикали и осевого перепада температуры.
- Определены характеристики пульсаций течения, возникающих при обтекании магнитного препятствия в цилиндрическом канале, а также предложена методика контроля электропроводности среды.
- Получены экспериментальные характеристики процесса смещения разнотемпературных потоков натрия с оценкой частоты пульсации температуры на наружной поверхности канала.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в получении систематических теоретических и экспериментальных знаний, необходимых для понимания эволюции крупномасштабных течений жидкого металла, а также влияния этих течений на процессы кристаллизации, теплопереноса и генерации перепада давления. Значимость в плане методов и подходов состоит в разработке и создании комплексных верифицированных математических моделей и экспериментальных установок для изучения этих процессов. Практическая значимость результатов работы состоит в совершенствовании существующих технологий и создании заделов для перехода к технологиям следующего поколения в энергетической и металлургической промышленности.

Достоверность полученных результатов обусловлена корректным применением численных методов исследования с использованием коммерческих программ численного моделирования, а также качественным и количественным согласованием результатов численного моделирования с результатами экспериментальных исследований, проведенных с использованием современной измерительной аппаратуры.

В ходе ознакомления с содержанием работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. Заявленной автором целью исследования является разработка единого магнитогидродинамического подхода, что подразумевает создание универсального метода изучения таких процессов. В работе подробно описаны экспериментальные методы, которые могут быть применены в широком спектре установок. Однако используемые математические модели, основанные на электродинамическом приближении и безындукционной постановке, не могут считаться универсальными. Кроме того, в заключении не сформулирован разработанный единый подход, основанный на полученных результатах.
2. В первой главе автореферата на странице 9 используется выражение «неоднородность растекания электрического тока» для описания появления завихренности электромагнитных сил. Это выражение не позволяет понять физический механизм появления завихренности электромагнитных сил. Растекание изначально предполагает наличие неравномерности в пространстве какой-либо физической величины. Математическим языком растекание можно выразить неравенством дивергенции вектора этой величины для определенного участка пространства. В связи с этим возникает вопрос – что автор понимает под «неоднородностью растекания?» Предполагается ли это, что компоненты вектора тока анизотропны в пространстве?
3. Во втором разделе первой главы автор исследует появления «пороговой неустойчивости» от интенсивности силового воздействия. Традиционно явление неустойчивости жидкости характеризуется появлением турбулентных течений. Какая модель турбулентности использовалась автором в работе? Как автор получил результаты колебания скорости с использованием выбранной им модели турбулентности? Как в параграфе 2.3 оценивался масштаб вихрей? Необходимо пояснить, разрешались ли эти вихри явно или использовались численные модели турбулентности?
4. Появление неустойчивости сложно оценить из Рис. 1б, потому что кривые числа Рейнольдса, описываемые через максимальную среднюю скорости вдоль луча ультразвукового доплеровского анемометра (УДА), изменяются линейно на всем рассматриваемом диапазоне интенсивности силового воздействия. Предполагается, что при наличии появления неустойчивости значения чисел подобия должны резко изменяться. В связи с этим возникает вопрос о том, как автор определил появление неустойчивости и какие критические значения у этих чисел Рейнольдса? Предпринимались ли автором попытки обобщения полученных результатов по пороговым значениям чисел подобия на другие подобные объекты с выводом аналитических зависимостей?
5. Автору необходимо пояснить более детально, что понимается под математической моделью основанной на уравнениях магнитной гидродинамики в электродинамическом приближении. Так, например, Верте Л.А. в книге «Магнитная гидродинамика в металлургии» объясняет электродинамическое приближение, как упрощение физической модели, согласно которому жидкости приписываются свойства твердого тела. Такой подход скорее всего не применим для решения рассматриваемых автором задач.
6. Автор использует в подавляющем большинстве исследований численные модели на основе безындукционного приближения для моделирования силового воздействия от БМП и ВМП. Сущность возникновения электромагнитных сил в проводящей среде под влиянием такого рода электромагнитных полей обуславливается именно за счет появления вихревых токов. Автору необходимо более детально объяснить, каким образом используется безындукционная модель для анализа такого типа полей и дать формальное обоснование ее применимости для такого типа задач.
7. Организация встречных направлений электромагнитных сил в разных слоях жидкости по высоте цилиндра предполагает встречное движение жидкости в соседних слоях. Автор, анализируя поведения потоков жидкости в автореферате пишет о том, что сначала появляются вихри, масштаб которых соответствует размеру каждого из колец индуктора ВМП, а только потом возникают колебательные турбулентные течения. Такая задача о движении встречных течений похожа на задачу неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, в которой сначала возникают колебательные течения и перерастают в более крупные вихри. Можно ли с точки зрения гидродинамики рассматривать механизмы возникновения неустойчивости в

рассматриваемой автором задаче так, как это делается при моделировании неустойчивости Кельвина-Гельмгольца?

8. В параграфе 2.4 автор делает выводы о возможности управления пристеночной турбулентностью на основе полученных им результатов. Но из текста автореферата не совсем понятно, что понимается под пристеночной турбулентностью и какая практическая значимость в появлении возможности управления ею.

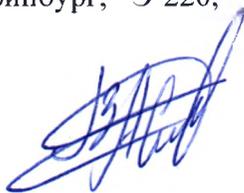
Диссертационная работа Колесниченко Ильи Владимировича выполнена на высоком научном уровне, ее результаты представляют значительный интерес в области магнитной гидродинамики. Сделанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа на тему «Фундаментальные аспекты магнитной гидродинамики жидких металлов в области значений параметров, характерных для технологических приложений» полностью соответствует требованиям пункта п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 N 335, от 02.08.2016 N 748, от 29.05.2017 N 650, от 28.08.2017 N 1024), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Колесниченко Илья Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Профессор кафедры «Электротехника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор технических наук (научная специальность 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты, по действующему классификатору научных специальностей – 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы), профессор, (РФ, г. 620002, Екатеринбург, Э-515, ул. Мира, 19, +7 (343) 3754751, sarapulovfn@yandex.ru)

 Сарпулов Федор Никитич

Доцент кафедры «Электротехника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кандидат технических наук (научная специальность 2.4.4 – Электротехнология и электрофизика), (РФ, г. 620002, Екатеринбург, Э-220, ул. Мира, 19, +7 (343) 3754751, i.a.smolyanov@urfu.ru)

 Смольянов Иван Александрович
10 октября 2024 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
РФ, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
+7 (343) 375-47-51
sarapulovfn@yandex.ru

«Я, Сарпулов Федор Никитич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку».

 Сарпулов Ф.Н.

«Я, Смольянов Иван Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку».

 Смольянов И.А.

Подпись
заверяю

