

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Гумеров И.И. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Холодова С.Е.
(ИТМО)

Введение. Исследование динамических процессов во вращающихся электропроводящих жидкостях представляет значительный научный и практический интерес в геофизике, астрофизике и технических системах. Актуальность обусловлена необходимостью изучения генерации магнитных полей в жидком ядре Земли, а также управлением потоками жидких металлов в ядерных реакторах. Существующие подходы, такие как кинематические модели динамо [1], ограничены невозможностью учета полной системы магнитогидродинамических (МГД) уравнений и диссипативных эффектов. Численные методы сталкиваются с трудностями при больших значениях магнитного числа Рейнольдса и малых числах Экмана, что требует разработки гибридных методов [2].

Основная часть. В работе предложена математическая модель, учитывающая полную систему МГД-уравнений для вращающегося слоя идеальной несжимаемой электропроводящей жидкости с учетом диффузии магнитного поля, силы Кориолиса и топографических границ [3]. Посредством интегро-дифференциальных преобразований исходная система сводится к одному уравнению относительно модифицированной функции возмущения свободной поверхности. Через эту функцию выражаются все неизвестные величины исходной системы: компоненты скорости, магнитной индукции и давления. Решение уравнения ищется в виде гармонической волны, что позволяет выделить ключевые параметры динамических процессов — амплитуду, частоту и волновое число. Для определения зависимости между основополагающими параметрами решается дисперсионное соотношение, связывающее частоту волны с физическими характеристиками среды. Ввиду нелинейности и сложности граничных условий аналитическое решение возможно только для частных случаев. Для общего случая применяется комбинированный подход, сочетающий в себе аналитические преобразования и различные численные методы.

Выводы. В рамках проведенного исследования получены аналитические представления неизвестных функций исходной системы МГД-уравнений, выраженные через модифицированную функцию возмущения свободной поверхности. Показано, что редуцирование исходной системы к скалярному уравнению позволяет упростить анализ динамических процессов, сохранив при этом ключевые физические закономерности. Установлено, что решение в форме гармонической волны и соответствующее дисперсионное соотношение согласуются с результатами предыдущих работ, описывающих взаимодействие волновых возмущений и магнитного поля в условиях вращения в случае магнитного поля, замороженного в жидкую среду, что соответствует бесконечному значению магнитного числа Рейнольдса. Результаты исследования расширяют возможности математического моделирования МГД-процессов, включая генерацию и инверсию магнитных полей, и могут служить основой для дальнейших работ в области динамики сплошных сред.

Список использованных источников:

1. Андреасян Р. Р., Михайлов Е. А., Андреасян А. Р. Структура и особенности формирования инверсий галактического магнитного поля // *Астрономический журнал*. 2020. Т. 97. No 3. 179-189.

2. Peregudin Sergey Ivanovich ,Peregudina E. S., Kholodova S. E. On integration of the system of MHD equations modeling wave processes in a rotating liquid with arbitrary magnetic Reynolds number Journal of Physics: Conference Series. 2020. №1268. pp. 257-272. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36661193200>
3. S. E. Kholodova, “Dynamics of a rotating layer of an ideal electrically conducting incompressible fluid”, Zh. Vychisl. Mat. Mat. Fiz., 48:5 (2008), 882–898; Comput. Math. Math. Phys., 48:5 (2008), 834–849