МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательноеучреждение высшего образования

«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УДК 532.59; 533.9.01

Сдано на кафедру

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

Заведующий кафедрой

доктор физ.-мат. наук, профессор

И.А.Кузнецова

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МАГНИТНЫЕ ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника,

профиль «Интегральная электроника и наноэлектроника»

Научный руководитель

д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_\_ Д. Ф. Белоножко

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

Студент группы ЭН-21МО

\_\_\_\_\_\_ Д. Д. Кондакова

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

Ярославль 2021 г.

РЕФЕРАТ

Отчёт 10 с., 4 разд., 14 рис., 4 табл., 23 источн.

МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ, НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ, СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ, ОРТОГОНАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, КРИТЕРИЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ.

Объектом исследования является магнитная жидкость в плоской и цилиндрической конфигурациях.

Цель работы – построить модель влияния магнитного поля на устойчивость поверхности магнитной жидкости.

Рассмотрены методики получения дисперсионных уравнений для волновых возмущений на поверхности магнитной жидкости плоской и цилиндрической конфигурации в ортогональном и параллельном поверхности магнитном поле соответственно. На основе результатов анализа полученных дисперсионных уравнений предложена теоретическая модель взаимодействия магнитного поля с поверхностью магнитной жидкости, базирующаяся на эффектах отталкивания и натяжения линий напряжённости магнитного поля.

Представленная модель может быть обощена на любую конфигурацию магнитной жидкости и направления магнитного поля относительно её поверхности.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ1

1 Движение гравитационных волн на плоской поверхности идеальной несжимаемой жидкости2

1.1 Постановка задачи3

1.2 Математическая формулировка задачи4

1.3 Приближение безвихревого движения жидкости6

1.4 Линеаризация математической формулировки задачи6

1.5 Решение задачи и получение дисперсионного уравнения 6

1.6 Выводы из решения задачи6

2 Исследование неустойчивости поверхности магнитной жидкости во внешнем однородном ортогональном магнитном поле2

2.1 Постановка задачи3

2.2 Потенциал магнитного поля4

2.3 Давление магнитного поля на поверхность магнитной жидкости6

2.4 Поверхностное давление жидкости6

2.5 Математическая формулировка задачи6

2.6 Решение задачи и получение дисперсионного уравнения 6

2.7 Исследование неустойчивости поверхности6

2.8 Выводы из решения задачи6

3 Движение капиллярных волн на поверхности цилиндрической струи идеальной несжимаемой жидкости2

3.1 Постановка задачи3

3.2 Поверхностное давление жидкости4

3.3 Математическая формулировка задачи6

3.4 Решение задачи и получение дисперсионного уравнения6

3.5 Выводы из решения задачи6

4 Исследование неустойчивости поверхности цилиндрической струи магнитной жидкости во внешнем однородном параллельном магнитном поле2

4.1 Постановка задачи3

4.2 Давление магнитного поля на цилиндрическую поверхность магнитной жидкости4

4.3 Математическая формулировка задачи6

4.4 Решение задачи и получение дисперсионного уравнения6

4.5 Исследование неустойчивости поверхности 6

4.6 Выводы из решения задачи6

ВВЕДЕНИЕ

С момента первого получения стабильных магнитных жидкостей они очень быстро нашли применение во множестве областей науки и техники и до сих пор являются перспективным материалом. На данный момент магнитные жидкости применяются в устройствах, требующих динамическое уплотнение вращающихся валов; в шаговых двигателях и акустических приборах в качестве инерционного вязкостного демпфера; в подвесках автомобилей с регулируемой жёсткостью; в феррожидкостных акселерометрах, в магнитных сепараторах металлических частиц; выступают в качестве удерживаемого магнитным полем теплопроводящего материала и т. д. [1, 2]. Магнитные жидкости также являются перспективным материалом в медицине, где с использованием магнитных жидкостей развивается и уже практикуется нацеленная доставка лекарственных препаратов в определённые ткани; проводится процедура гипертермии (MFH); создаются контрастные вещества для магнитно-резонансной томографии [3]. Магнитные жидкости также нашли свое применение в исследовании и производстве материалов, например, в создании эффективных радиоотражающих покрытий; покрытий, обладающих магнитозависимой прозрачностью; в легировании лиотропных жидких кристаллов и т. д. [3, 4].

Практически во всех представленных выше применениях управление магнитной жидкостью осуществляется посредством внешнего магнитного поля. Поэтому в каждом случае необходимо знать, каким образом поведёт себя намагничивающаяся жидкость под его воздействием, чтобы добиться нужного эффекта или наоборот, избежать нежелательного.

Одним из таких эффектов является неустойчивость магнитной жидкости, проявляющаяся в появлении конусообразных выступов на границе раздела сред под воздействием внешнего магнитного поля. Существует множество теоретических работ, например, [1, 5, 6], где доказывается, что устойчивость поверхности определяется характером распределения действующих на неё давлений. Было выяснено, что среда с большей величиной магнитной проницаемости оказывает большее давление на границу, чем среда с меньшей магнитной проницаемостью, причём независимо от направления воздействующего магнитного поля. Однако при этом, в случае перпендкулярного границе раздела сред поля, оно оказывает дестабилизирующее влияние, а в случае параллельного, наоборот, стабилизирующее. Существуют также экспериментальные доказательства этих результатов [7, 5]. Но, как правило, авторы не приводят конкретного физического объяснения данного явления, в результате чего возникают подобные противоречия. Кроме этого, понимание физики процесса позволяет без дополнительных сложных расчётов определить то, каким образом будет взаимодействовать магнитное поле с поверхностью намагничивающейся жидкости в зависимости от его направления, что является дополнительным преимуществом при анализе задач более сложной конфигурации.

Цель данной работы – построить модель влияния магнитного поля на устойчивость поверхности магнитной жидкости.

В соотвтетствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

1. Изучить методику расчёта дисперсионного уравнения в случаях плоской и цилиндрической поверхностей жидкости.
2. Получить дисперсионные уравнения для волн на поверхности магнитной жидкости в случае плоской поверхности и ортогонального ей магнитного поля, а также в случае цилидрической струи и параллельного ей магнитного поля.
3. Проанализировать условия возникновения неустойчивости в каждом из рассматриваемых случаев и дать физическое объяснение полученным результатам.

В качестве объекта исследования выступает магнитная жидкость в плоской и цилиндрической конфигурациях. Предметом исследования служит явление неустойчивости поверхности магнитной жидкости во внешнем магнитном поле.

Данная работа представляет собой теоретическое исследование, где задействованы: метод идеализации с целью упрощения задачи и обеспечения возможности её аналитического решения; сравнительный метод для выявления сходств и различий в эффектах, получаемых воздйствием магнитного поля различной направленности на поверхности магнитной жидкости в двух конфигурациях; анализ условий возникновения неустойчивости; а также индуктивный метод при формулировке выводов исследования.