

ПРОГРАММА СПЕЦКУРСА

«Силы в намагничивающихся средах»

(Forces in magnetizable media)

по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

полугодовой спецкурс

АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются взаимодействия тел из намагничивающихся материалов, в частности объемов магнитной жидкости, с магнитным полем. В курсе дается краткий вывод уравнений, описывающих течение равномерно намагничивающихся изотропных и анизотропных сред в магнитных полях. Приведены решения ряда задач о силах, действующих на тела, погруженные в намагничивающуюся жидкость. В качестве тел рассмотрены магниты, деформируемые и недеформируемые твердые намагничивающиеся тела и объемы магнитной жидкости. Показано качественное отличие сил в данных задачах при наличии/отсутствии границ окружающей жидкости, а также при наличии/отсутствии градиента приложенного магнитного поля.

Программа курса.

Лекция 1. Уравнения Максвелла в приближении феррогидродинамики. Термодинамика равномерно намагниченных магнитных жидкостей.

Лекция 2. Уравнения, описывающие поведение равномерно намагничивающихся жидкостей в магнитных полях (модель Розенцвейга). Соотношения на сильном разрыве.

Лекция 3. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа для магнитных жидкостей.

Лекция 4. Модель изотропного намагничивающегося материала. Форма свободной поверхности магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле линейного проводника с током.

Лекция 5. Силы, действующие на тела в магнитном поле. Общие формулы.

Лекция 6. Силы, действующие на недеформируемые тела из изотропного намагничивающегося материала, в неограниченной однородной среде в неоднородном магнитном поле. Случай малых и больших магнитных полей. Принцип работы магнитожидкостного сепаратора.

Лекция 7. Силы и моменты сил, действующие на недеформируемые тела из анизотропного намагничивающегося материала, в неограниченной однородной среде в магнитном поле.

Лекция 8. Силы, действующие на деформируемые тела из изотропного намагничивающегося материала, в неограниченной однородной среде в неоднородном магнитном поле (сила, действующая на каплю магнитной жидкости).

Лекция 9. Силы, действующие на недеформируемые тела из изотропного намагничивающегося материала, в неограниченной среде с неоднородной магнитной проницаемостью в однородном магнитном поле. Термомагнитная сила.

Аналитическая формула для термомагнитной силы, действующей на сферическое тело, в неоднородно нагретой магнитной жидкости в приложенном однородном магнитном поле.

Аналитическая формула для термомагнитной силы, действующей на эллипсоидальное тело, в неоднородно нагретой магнитной жидкости в приложенном однородном магнитном поле.

Лекция 10. Силы и моменты сил, действующие на магниты или на недеформируемые тела из изотропного материала в однородном магнитном поле, в ограниченной однородной намагничивающейся среде.

Аналогия между силами, действующими на магнит и на тело в однородном магнитном поле в сосудах специальной формы, заполненных однородной магнитной жидкостью.

Аналитические формулы для сил, действующих на тела и магниты сферической формы в сферических сосудах с магнитной жидкостью в различных приближениях. Моменты сил.

Лекция 11. Силы и моменты сил, действующие на магниты и тела из намагничивающегося материала в приложенном однородном магнитном поле, частично погруженные в магнитную жидкость на горизонтальной подложке.

Левитация тел и магнитов в конечном объеме магнитной жидкости на горизонтальной подложке.

Лекция 12. Движение тел и магнитов вдоль слоя магнитной жидкости. Магнитная сила, действующая на тела в однородном магнитном поле и магниты со стороны слоя магнитной жидкости.

Список литературы

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1983. Т. 1,2.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1992.
3. R.E. Rosensweig, *Ferrohydrodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
4. Налетова В.А. Лекции по феррогидродинамике. – М.: Изд ЦПИ при мех-мат. фак. МГУ, 2005.
5. E. Y. Blums, A. O. Sebers, M. M. Maiorov. *Magnetic Fluids* Walter de Gruyter, 1997 . pp. 416.
6. R. E. Rosensweig, Buoyancy and stable levitation of a magnetic body immersed in a magnetizable fluid // *Nature* 210, 613 (1966).
7. M. I. Shliomis, *Magnetic fluids* // *Sov. Phys. Usp.* 17, 153 (1974).
8. Барков Ю.Д., Фертман В.Е. Экспериментальное исследование плавания магнитных тел в намагничивающейся жидкости // *Магнитная гидродинамика*, 1978. с. 23-26.
9. Пшеничников А.Ф., Буркова Е.Н. О силах, действующих на постоянный магнит, помещенный в прямоугольную полость с магнитной жидкостью // *Выч. механика сплошных сред*, 2014. с. 5-14.
10. A. S. Ivanov, A. F. Pshenichnikov, C. A. Khokhryakova, Floating of solid non-magnetic bodies in magnetic fluids // *Phys. Fluids* 32, 112007 (2020).
11. D. Pelevina, M. Kobzev, S. Kalmykov, D. Merkulov, and V. Naletova, Levitation and motion of a magnet partially immersed into a magnetic fluid // *EPJ Web Conf.* 185, 09008 (2018).
7. Квитанцев А.С., Налетова В.А., Турков В.А., Левитация магнитов и тел из магнитомягких материалов в сосудах, заполненных магнитной жидкостью // *Механика жидкости и газа*, 2002. No3. с. 12-20.
8. O. A. Sharova, D. I. Merkulov, D. A. Pelevina, A.S. Vinogradova, V.A. Naletova. Motion of a spherical magnetizable body along a layer of magnetic fluid in a uniform magnetic field // *Physics of Fluids*. 2021. - 087107.
9. Naletova V.A., Kvantantsev A.S., Thermomagnetic force acting on a spheroidal body in a magnetic fluid // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2005, том 289, с. 250-252.
10. Налетова В.А., Тимонин Г.А., Шкель И.А., О силе, действующей на тело в неоднородно нагретой намагничивающейся жидкости // *Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа*, 1989, том 26, № 2, с. 76-76.