

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

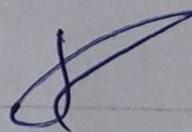
**Дискретная модель формирования волновых пучков МСВ заданными
источниками**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 411 группы
направления 03.03.01 Прикладные математика и физика
факультета нелинейных процессов
Александровой Юлии Владимировны

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент



Е.Н. Бегинин

Зав. кафедрой нелинейной физики

к.ф.-м.н., доцент



Е.Н. Бегинин

Саратов 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

**Дискретная модель формирования волновых пучков МСВ заданными
источниками**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 411 группы
направления 03.03.01 Прикладные математика и физика
факультета нелинейных процессов
Александровой Юлии Владимировны

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент _____

Е.Н. Бегинин

Зав. кафедрой нелинейной физики

к.ф.-м.н., доцент _____

Е.Н. Бегинин

Саратов 2018 г.

Введение

Спиновые волны (СВ), распространяющиеся в ферромагнитных пленках, ферритах и слоистых структурах на их основе, уже многие годы успешно используются для построения различных приборов в диапазоне сверхвысоких частот. Причиной глубокого исследования ферромагнитных пленок и ферритов является их специфичность, а зачастую уникальность, их магнитных и некоторых других физических свойств. Часто в качестве материала, в котором распространяются спиновые волны, используют пленки железоиттриевого граната (ЖИГ).

При распространении СВЧ спиновых волн в тонких ферромагнитных пленках возникают различные линейные и нелинейные эффекты, представляющие интерес как с фундаментальных, так и с прикладных позиций. При проведении фундаментальных исследований ферромагнитные пленки можно использовать как объект для моделирования волновых явлений в нелинейных диспергирующих средах. С позиций техники ферромагнитные пленки являются весьма удобным материалом для создания широкого класса приборов, принцип действия которых основан на возбуждении, распространении и приеме спиновых волн.

В настоящее время интенсивно развивается научно-техническое направление, связанное с исследованием и использованием материалов с нелинейными свойствами. На основе этих материалов возможна разработка новых управляемых СВЧ устройств электроники, благодаря тому, что свойства этих материалов изменяются под воздействием электромагнитных полей.

Одной из существенных особенностей спин-волновых устройств по сравнению со многими другими устройствами микроэлектроники является возможность электрического управления их рабочими характеристиками, в частности, как центральной частотой, так и диапазоном рабочих частот. Эта

технически важная особенность реализуется путем изменения поля подмагничивания, что приводит к изменению дисперсионных характеристик распространяющихся спиновых волн. Необходимо отметить, что такое изменение легко осуществляется как на всем пути распространения волн, так и локально. Устройства спин-волновой электроники отличаются возможностью обработки широкополосных сигналов в диапазоне СВЧ, высоким быстродействием, работой в реальном масштабе времени.

Одним из основных физических процессов, определяющих рабочие характеристики таких устройств, являются процессы генерации и приема распространяющихся спиновых волн (СВ) в ферромагнитных пленках.

Целью бакалаврской работы является теоретическое исследование закономерностей формирования и распространения волновых пучков магнитостатических волн, создаваемых источниками с заданной пространственной геометрией.

Основное содержание работы

В первой главе при рассмотрении ферритовой пленки (рис. 1), расположенной в свободном пространстве и намагниченной до насыщения касательно к плоскости пленки однородным полем \vec{H}_0 . Были получены дисперсионные соотношения для ПМСВ (1.1) и ООМСВ (1.2), (1.3). Построены дисперсионные характеристики рис.2.

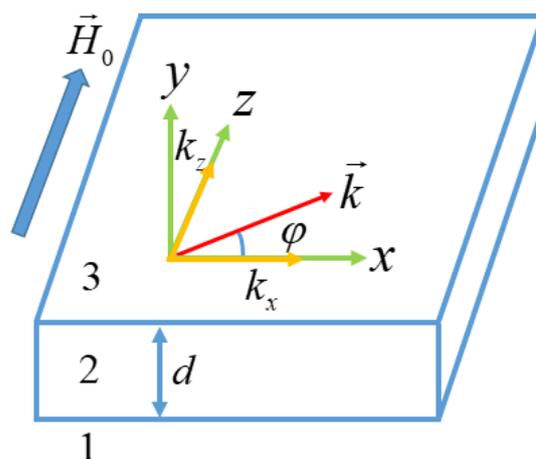


Рис. 1. Геометрия ферритовой пленки, ориентация внешнего магнитного поля и волновых векторов относительно заданной системы координат.

$$\omega^2 = \left(\omega_H + \frac{\omega_M}{2} \right)^2 - \frac{\omega_M^2}{4} e^{-2kd}. \quad (1.1)$$

$$k(\omega) = \frac{2\sqrt{-\mu}}{d} \left(n\pi - \arctg \frac{1}{\sqrt{-\mu}} \right), \quad n = 1, 2, \dots \quad (1.2)$$

$$k(\omega) = \frac{2\sqrt{-\mu}}{d} \left(m\pi - \arctg \sqrt{-\mu} \right), \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (1.3)$$

Спектр ООМСВ носит многомодовый характер и на каждой частоте ω возможно распространение в пленке бесконечного числа волноводных мод.

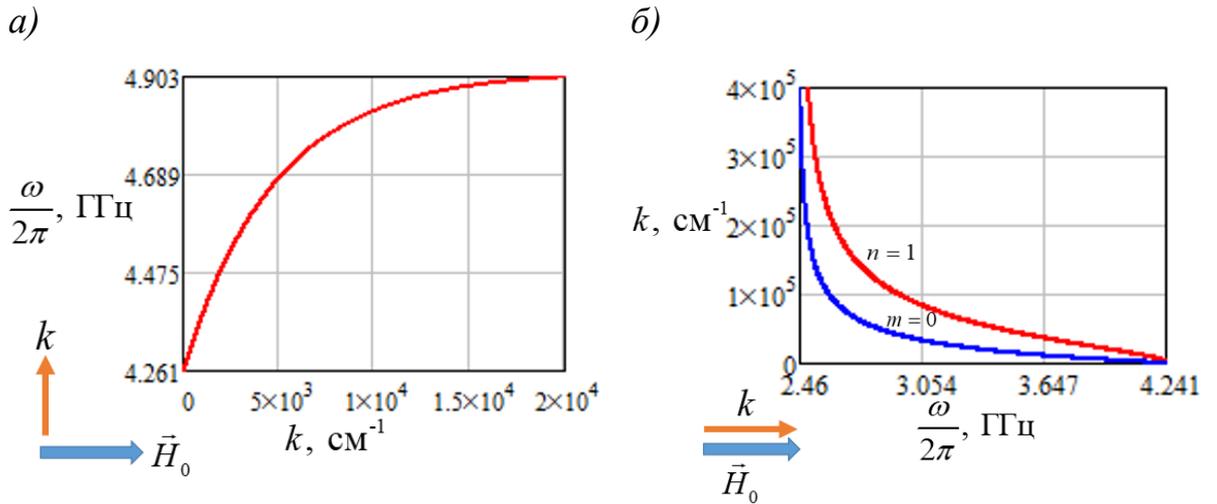


Рис. 2. Дисперсионные характеристики: а) ПМСВ, б) ООМСВ для нескольких мод: нижней антисимметричной $m=0$ и первой симметричной $n=1$.

Во второй главе на основе дисперсионного уравнения полученного

$$[6] \quad k_x^2 + k_z^2 + 2\sqrt{k_x^2 + k_z^2} \mu \sqrt{k_x^2 + \frac{k_z^2}{\mu}} \coth(d\sqrt{k_x^2 + \frac{k_z^2}{\mu}}) + \mu^2(k_x^2 + \frac{k_z^2}{\mu}) - \mu_a^2 k_x^2 = 0$$

были построены изочастотные кривые рис. 3 ПМСВ и ООМСВ для параметров ферритового слоя на основе пленки ЖИГ: $H_0 = 875$ Э, $4\pi M_0 = 1759$ Гс и $d = 1$ мкм. На рис. 3 показан максимальный угол

распространения для ПМСВ $\varphi_{\max} = \arctg \sqrt{\frac{\omega_M}{\omega_H}}$ и ООМСВ

$\varphi_{\max} = \pi - \arctg \sqrt{\frac{\omega_M}{\omega_H}}$ отсчитываемый от положительного направления оси x ,

против часовой стрелки.

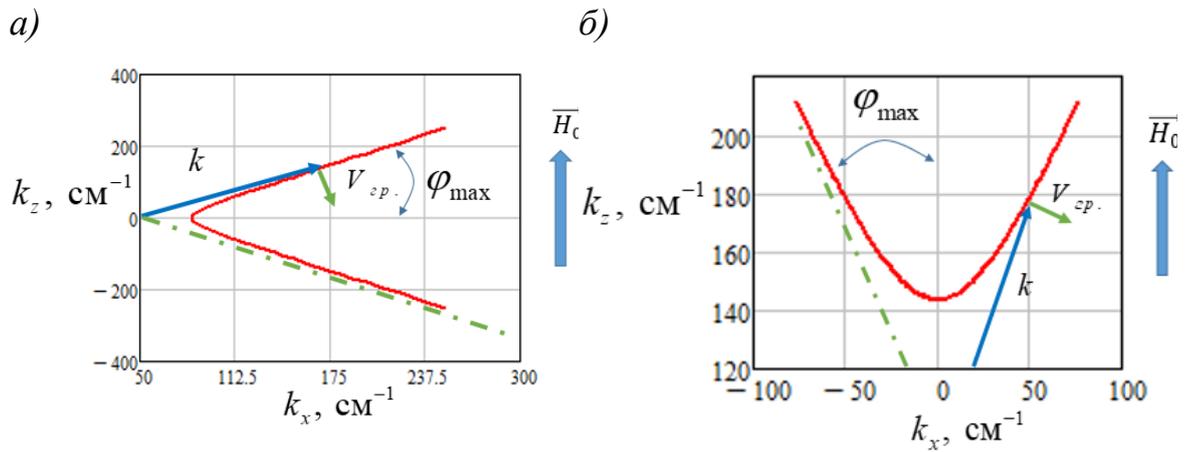


Рис. 3. Изочастотные зависимости в анизотропной среде: а) ПМСВ при $f = 4.263$ ГГц, б) ООМСВ при $f = 4.241$ ГГц.

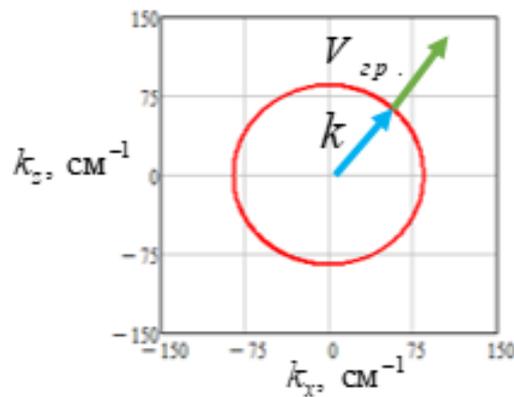
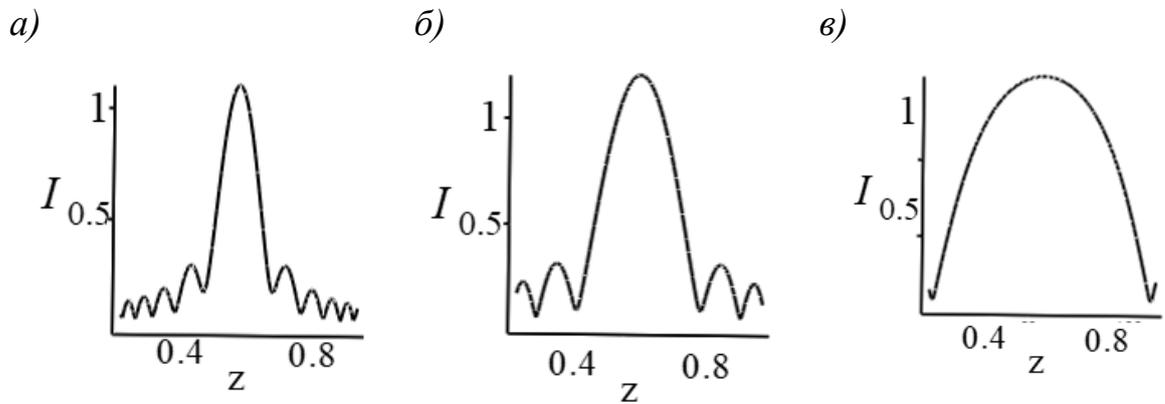


Рис. 4. Изочастотная зависимость в изотропной среде при $f = 4.263$ ГГц.

В анизотропной среде изочастотные зависимости ПМСВ и ООМСВ подобны параболе (рис. 3), причем векторы \vec{k} и \vec{V}_{zp} не коллинеарны. В изотропной среде изочастотная зависимость представляет собой окружность радиуса k (рис. 4), причем векторы \vec{k} и \vec{V}_{zp} коллинеарны

В третьей главе была рассмотрена простая, но очень важная для практики задача формирования пучков МСВ антенной конечной длины. Были описаны методы экспериментального и компьютерного моделирования волновых пучков МСВ.

Были рассмотрены профили волновых пучков на расстоянии 0.78 см от антенны, для одной частоты $f = 4.263$ ГГц при разных значениях длины антенны.



На рис. 5. Профили волновых пучков на расстоянии 0.78 см от антенны, при $f = 4.263$ ГГц и различных длинах антенны: а) $L = 0.1$ см , б) $L = 0.05$ см, в) $L = 0.015$ см.

Из рис. 5 видно, что узкая антенна способна возбуждать широкий спектр волновых чисел. Излучаемая энергия сосредоточена в основном лепестке, ширина которого зависит от длины антенны. С увеличением длины антенны происходит уменьшение ширины основного лепестка.

При анализе распределения реальной части магнитостатического потенциала ПМСВ и ООМСВ в анизотропной и изотропной средах видно, что при увеличении длины антенны L ширина волнового пучка H становится порядка длины антенны L .

Из анализа зависимостей углов полураскрыва ξ от L/λ ПМСВ и ООМСВ в анизотропной и изотропной средах при $L/\lambda \approx 0$ ведут себя по разному т.к. существуют предельные углы распространения φ_{\max} ограничивающие ширину пучка. При $L/\lambda > 1$ углы полураскрыва пучков совпадают и стремятся к нулю. При $L/\lambda \approx 1$ угол расходимости волнового пучка для ПМСВ больше в анизотропной среде, чем в изотропной среде,

следовательно в анизотропной среде пучок сильнее дифрагирует, для ООМСВ наоборот.

Было рассмотрено пространственное управление положением пучка ПМСВ и ООМСВ, в анизотропной и изотропной средах, с помощью задания фазы φ_m . Можно было вычислить угол отклонения β волнового пучка при заданной фазе φ_m , как отклонение максимума интенсивности пучка от нормали к поверхности антенны.

Угол отклонения β для ПМСВ и ООМСВ в анизотропной среде отличается при $L/\lambda \approx 1$, это связано с тем, что угол полураскрытия волнового пучка ООМСВ меньше, чем ПМСВ. При $L/\lambda \approx 0$ угол отклонения β для ПМСВ и ООМСВ в анизотропной среде отличается, из-за предельных углов распределения φ_{\max} ограничивающие ширину пучка.

Заключение

Данная выпускная бакалаврская работа посвящена актуальной теме исследование формирования волновых пучков МСВ заданными источниками, на основе дискретной модели. К основным результатам работы может быть отнесено следующее:

1. Были разработаны программы расчетов, позволяющие строить: дисперсионные характеристики, изочастотные зависимости и формирование волновых пучков магнитостатических волн, возбуждаемых антенной в ферритовой пленке.
2. Из построения изочастотных характеристик ООМСВ и ПМСВ видно, что все ветви изочастотных характеристик стремятся к предельным углам и групповые скорости направлены по нормали к изочастотным характеристикам.
3. Из построения профилей волнового пучка на расстоянии 0.78 см от антенны, при $f = 4.263$ ГГц видно, что антенна способна возбуждать широкий спектр волновых чисел. Излучаемая энергия сосредоточена в основном лепестке, ширина которого зависит от длины антенны. С увеличением длины антенны происходит уменьшение ширины основного лепестка.
4. Из анализа распределения реальной части магнитостатического потенциала ПМСВ и ООМСВ в анизотропной и изотропной средах видно, что при увеличении длины антенны L ширина волнового пучка H становится порядка длины антенны L .
5. Из анализа зависимостей углов полураскрыва ξ от L/λ ПМСВ и ООМСВ в анизотропной и изотропной средах при $L/\lambda \approx 0$ ведут себя по разному т.к. существуют предельные углы распространения φ_{\max} ограничивающие ширину пучка. При $L/\lambda > 1$ углы полураскрыва пучков совпадают и стремятся к нулю. При $L/\lambda \approx 1$ угол расходимости волнового пучка для ПМСВ больше в

анизотропной среде, чем в изотропной среде, следовательно в анизотропной среде пучок сильнее дифрагирует, для ООМСВ наоборот.

б. Угол отклонения β для ПМСВ и ООМСВ в анизотропной среде отличается при $L/\lambda \approx 1$, это связано с тем, что угол полураскрыва волнового пучка ООМСВ меньше, чем ПМСВ. При $L/\lambda \approx 0$ угол отклонения β для ПМСВ и ООМСВ в анизотропной среде отличается, из-за предельных углов распределения φ_{\max} ограничивающие ширину пучка.

Список используемых источников

1. Гуревич А. Г., Мелков Г. А. Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994. 464 с.
2. Damon R. W., Eshbach J. R. Magnetostatic modes of a ferromagnet slab. J. Phys. Chem. Solids, 1961, vol. 19, P.308-320.
3. Зависляк И. В., Тычинский А. В. Физические основы фундаментальной микроэлектроники. Киев: УМК ВО, 1989, с.105
4. Daniel D. S. Spin waves / Daniel D. S. – N. Y. Springer Science+Business Media. 2009. – P. 355.
5. Soldha M. S., Srivastava N. C. Microwave propagation in ferrimagnetics / Soldha M. S., Srivastava N. C. – N. Y. Springer Science+Business Media. 1932. –P. 403.
6. Стальмахов В. С., Игнатъев А. А. лекции по спиновым волнам. Саратов, 1983
7. Вашковский А. В., Стальмахов В. С., Шараевский Ю. П. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: Изд. Саратовского ун-та, 1993. - 312 с.
8. Гуревич А. Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973, 407 с.
9. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухорукова А. П. Теория волн. М.: Наука, 1979. 384с.
10. Вашковский А. В., Локк Э. Г. Свойства обратных электромагнитных волн и возникновение отрицательного отражения в ферритовых пленках. УФН, 2006, том 176, №4, с.403-414
11. Локк Э. Г. Свойства изочастотных зависимостей и законы геометрической оптики. УФН, 2008, том 178, №4, с.397-417
12. Анненко А. Ю., Герус С. В. Исследование распределения поверхностных магнитостатических волн путем сканирования поверхности ферритовой пластины. Радиофизика и электроника, 2012, том 57, №5, с.572-57