

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

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Микромагнитное моделирование дифракции
сверхнаправленного пучка спиновых волн в касательно
намагниченной пленке ЖИГ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 2231 группы
направления 03.04.03 «Радиофизика»
института физики
Куничкина Никиты Викторовича

Научный руководитель

к.ф.-м.н.

А.В. Садовников

Заведующий кафедрой электроники, колебаний и волн

к.ф.-м.н., доцент

С.В. Гришин

Саратов 2021 год

Введение.

В настоящее время подавляющее большинство современных цифровых микросхем основаны на технологии КМОП(комплементарная структура металл-оксид-полупроводник), которая обладает рядом недостатков. На принципах спинтроники возможно реализовать ряд устройств обработки сигналов. На сегодняшний день активно исследуются устройства, использующие в качестве материала железо-иттриевый гранат. Использование сверхнаправленных пучков (лучей) на практике позволит снизить потери за счет расплывания пучка при его распространении от выходного преобразователя к входному преобразователю.

Глава 1.

Для формирования нерасширяющегося луча среда в которой он распространяется, должна быть анизотропной (т.е. волновой вектор k и вектор групповой скорости V волны, неколлинеарны). Угловая ширина дифрагированной поверхности спиновой волны пучка в анизотропной ферритовой пленке может принимать значения больше или меньше λ_0/D , а также может быть равна нулю. Для последнего случая, существует сверхнаправленный (нерасширяющийся) луч поверхностных спиновой волны: размытие энергии пучка вдоль плоскости пленки отсутствует, а длина траектории луча максимальна.

Волновой вектор k приблизительно перпендикулярен линейному преобразователю, и для абсолютной угловой ширины $\Delta\psi$, будет справедлива следующая формула:

$$\Delta\psi = \frac{\lambda_0}{D} \left| \frac{d\psi}{d\varphi}(\varphi) \right| \quad (1)$$

Здесь угол φ_0 - ориентация волнового вектора k относительно к оси y , углы φ и ψ являются ориентациями для произвольного волнового вектора k и вектора групповой скорости V соответственно. В анизотропных средах лучше рассчитывать не величину $\Delta\psi$, а отношение σ абсолютной угловой ширины $\Delta\psi$ (в радианах) к величине $\frac{\lambda_0}{D}$. Можно записать следующую формулу:

$$\sigma = \frac{\Delta\psi}{\lambda/D} \quad (2)$$

σ - является относительной угловой шириной луча. Подставим формулу (1) в формулу (2), и для величины σ можно получить простую формулу:

$$\sigma = \left| \frac{d\psi}{d\varphi}(\varphi) \right| \quad (3)$$

Отсюда можно сделать вывод, что для абсолютной угловой ширины, так и для относительной угловой ширины нужно рассчитать зависимость $\psi(\varphi)$ и соответствующую зависимость $d\psi/d\varphi$.

Глава 2.

Для исследования динамики распространения СВ в структуре с пространственно-периодической системой отверстий было проведено микромагнитное моделирование на основе численного решения уравнения Ландау-Лифшица-Гилберта

$$\frac{\partial M}{\partial t} = - \left(\gamma [H_{eff} \times M] + \frac{\alpha}{M_0} \left[M \times \frac{\partial M}{\partial t} \right] \right) \quad (1)$$

Где M -вектор намагниченности, $\alpha = 10^{-5}$ - параметр затухания, $H_{eff} = \frac{\partial F}{\partial M}$ - эффективное магнитное поле, F - свободная энергия ферромагнетика, γ - гиромагнитное соотношение. Для нивелирования вклада отраженного сигнала от границ расчетной области в численном моделировании были

введены области с уменьшающимся в геометрической прогрессии коэффициентом затухания.

Для нивелирования вклада отраженного сигнала от границ расчетной области в численном моделировании были введены области с уменьшающимся в геометрической прогрессии коэффициентом затухания.

Исследуемая модель.

Для рассмотрения была взята структура состоящая из ЖИГ (железо-иттриевый гранат) волновода, со следующими характеристиками:

Ширина – $W = 20\text{мм}$

Длина – $G = 20\text{мм}$

Толщина – 10мм

Внешнее магнитное поле $H_0 = 300 \text{ Э}$

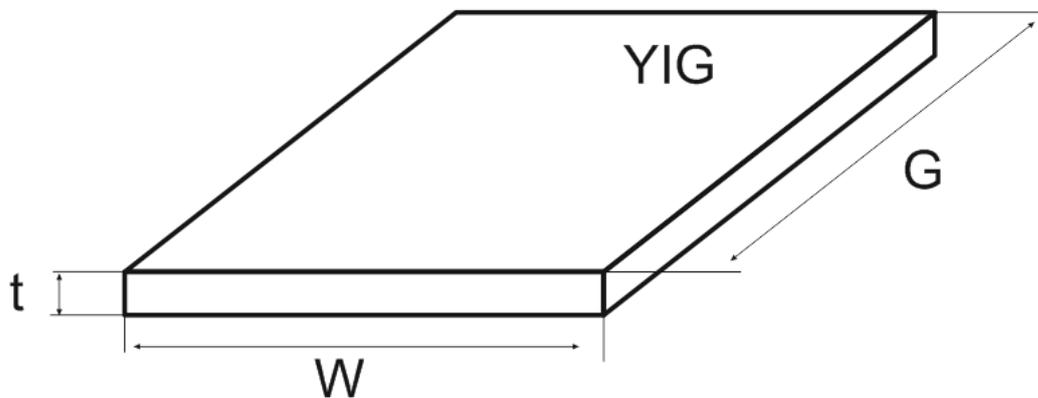


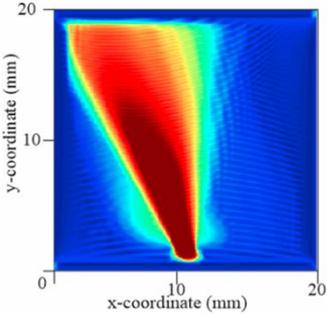
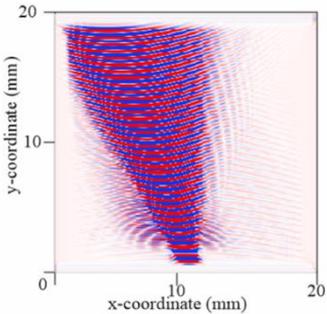
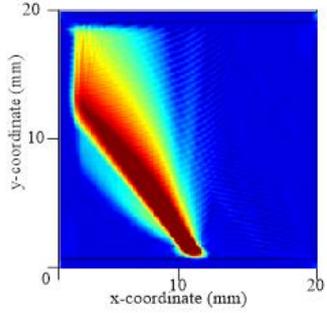
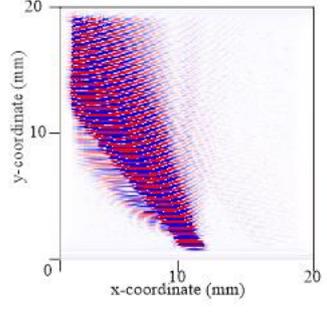
Рис.4. ЖИГ пленка.

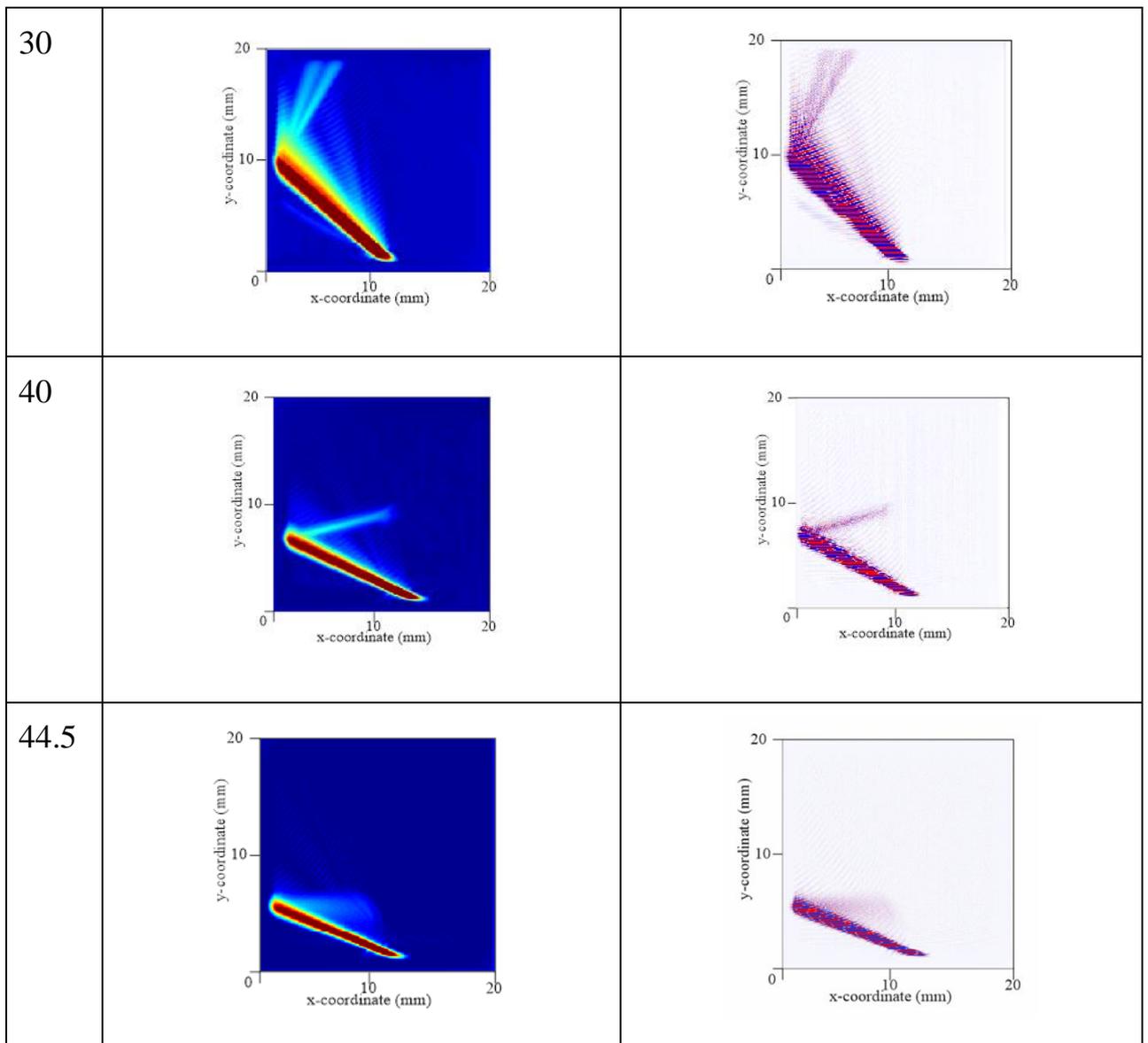
Глава 3.

Расчет формирования и распространения сверхнаправленного луча.

Рассматривается распространение поверхностной волны в пленке в направлении оси z . Микрополосковая линия равна 2 мм. На начальном этапе внешнее магнитное поле H_0 направлено вдоль положительного

направления оси x и составляет 300 Э. При расчетах угол ориентации внешнего магнитного поля будет меняться. Численное моделирование проводилось методом конечных разностей (МКР), реализованным в пакете программ MUMAX3. В результате данного моделирования был произведён расчёт динамической намагниченности и интенсивности распространения спиновой волны. Результаты данного расчёта для поверхностной спиновой волны (ПМСВ) приведены в Таб.1.

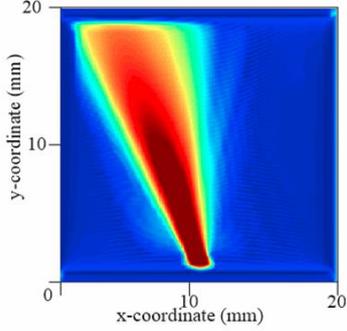
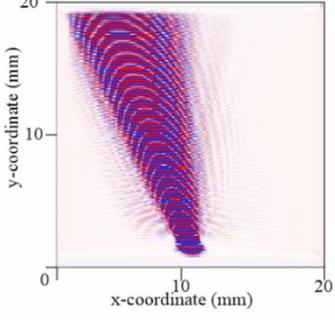
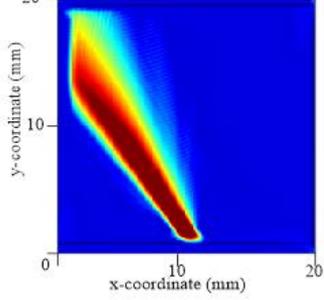
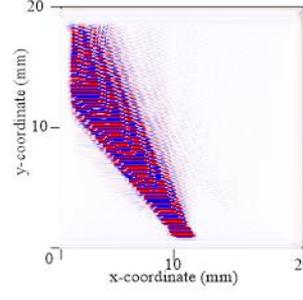
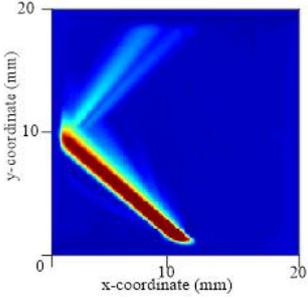
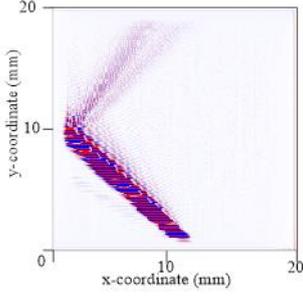
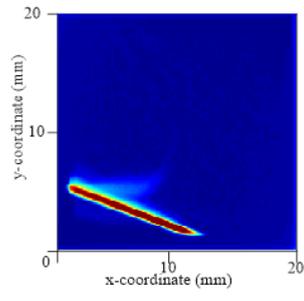
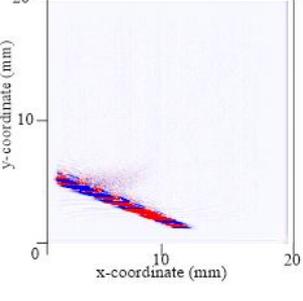
2600 МГц	<i>Карта квадрата динамической намагниченности.</i>	<i>Карта распределения компоненты m_z.</i>
10		
20		



Таб.1. Частота 2600 MHz.

Длина волны для данной частоты $\lambda \approx 0,555\text{мм}$

На таблице с помощью методов микромагнитного моделирования, можно наблюдать постепенное формирование и распространение сверхнаправленного луча. При угле в 10 градусов наблюдается дифрагированная волна, а уже при 44.5 градусах можно наблюдать сверхнаправленный луч.

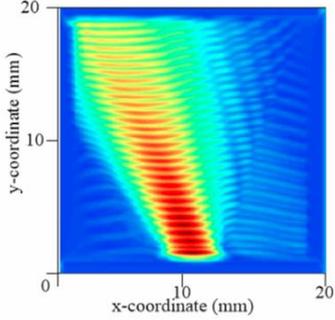
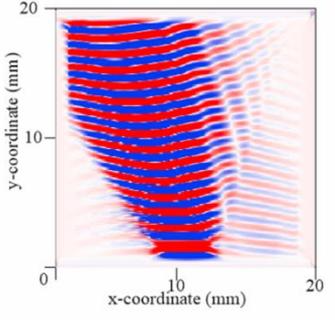
2800 MHz	<i>Карта квадрата динамической намагниченности.</i>	<i>Карта распределения компоненты m_z.</i>
10		
20		
30		
44.5		

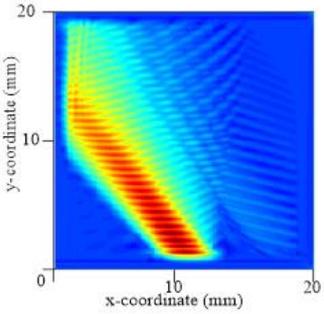
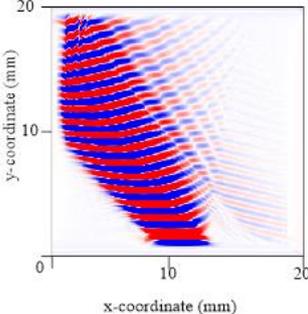
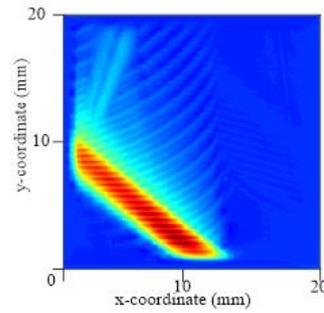
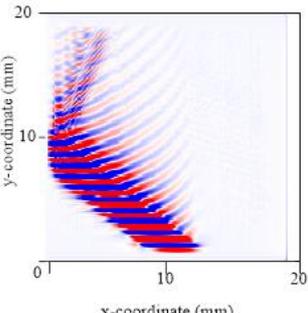
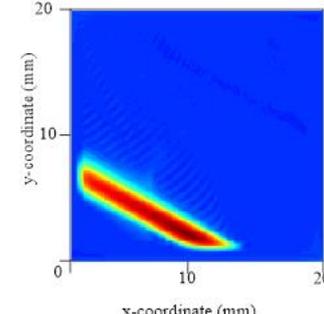
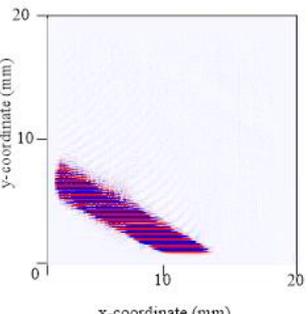
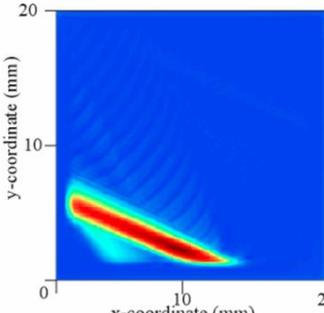
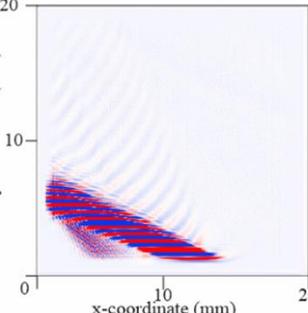
Таб.2. Частота 2800 МГц.

Длина волны для данной частоты $\lambda \approx 0,322\text{мм}$

Видно что при увеличении частоты было замечено уменьшение длины волны. А сам луч становился более узким.

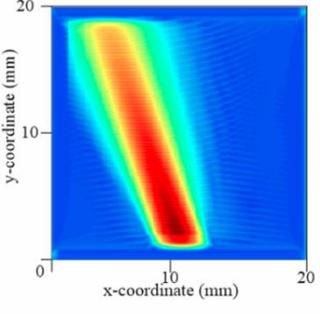
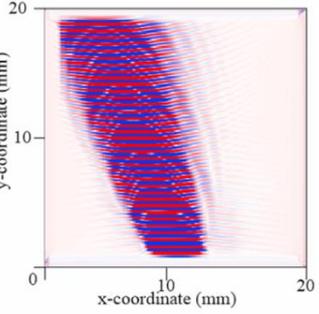
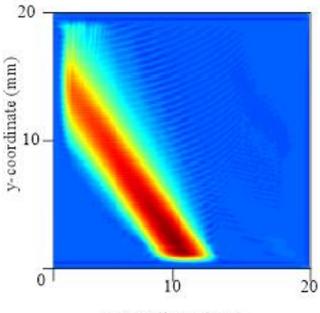
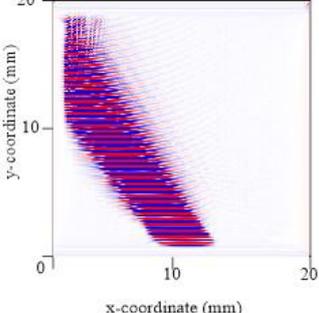
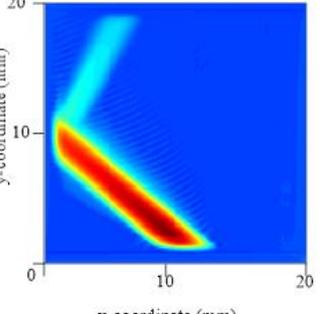
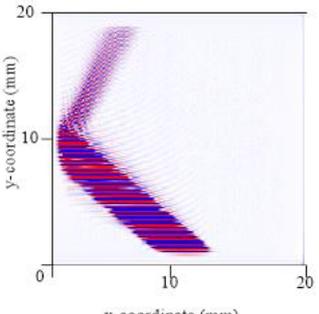
Также был произведен расчет расчёт динамической намагниченности и интенсивности распространения при микрополосковой линии равной 5 мм. Остальные характеристики модели остались прежними.

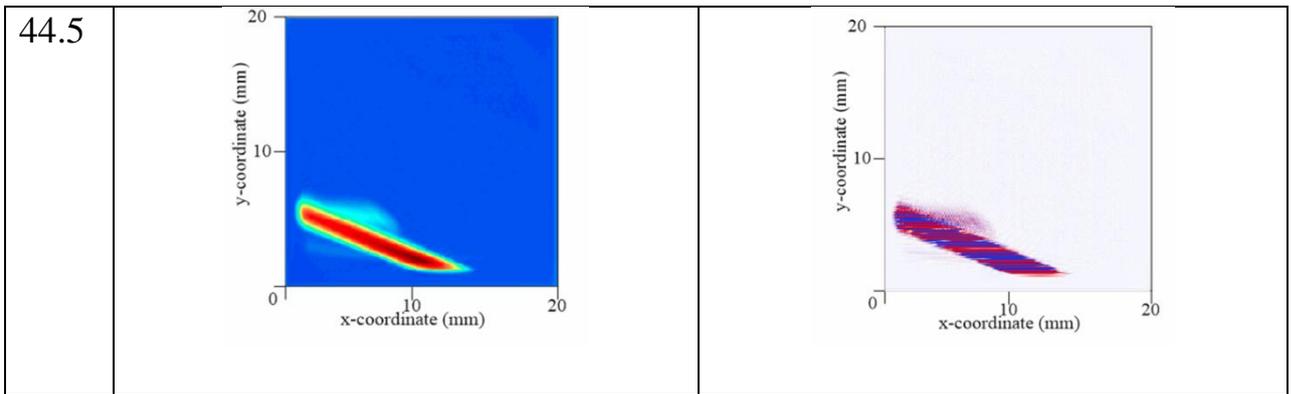
2400 МГц	<i>Карта квадрата динамической намагниченности.</i>	<i>Карта распределения компоненты m_z.</i>
10		

20		
30		
40		
44.5		

Таб.3. Частота 2400 MHz.

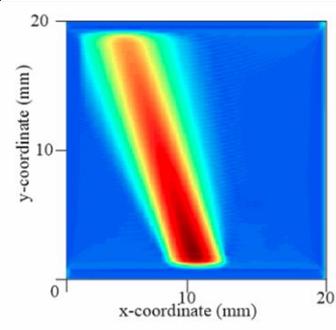
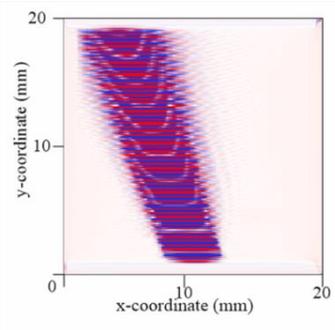
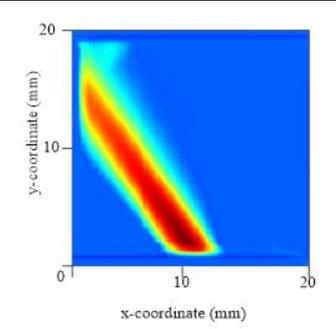
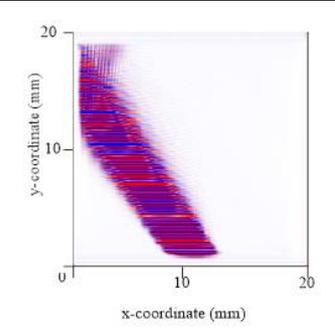
Длина волны для данной частоты $\lambda \approx 0,133\text{мм}$

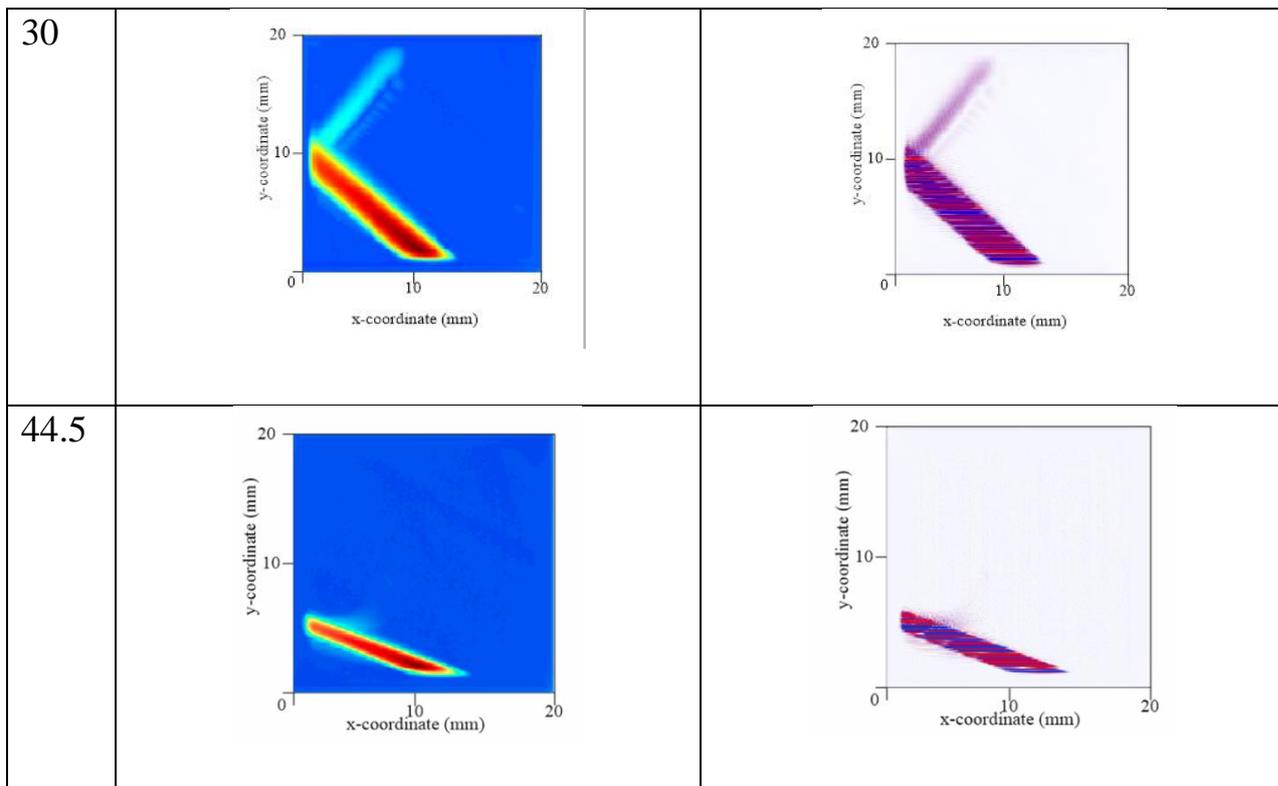
2600 MHz	Карта квадрата динамической намагниченности.	Карта распределения компоненты m_z .
10		
20		
30		



Таб.4. Частота 2600 МГц.

Длина волны для данной частоты $\lambda \approx 0,56\text{мм}$

2800 МГц	<i>Карта квадрата динамической намагниченности.</i>	<i>Карта распределения компоненты m_z.</i>
10		
20		



Таб.5. Частота 2800 MHz.

Длина волны для данной частоты $\lambda \approx 0,37\text{мм}$

Заключение.

Таким образом в магистерской работе было проведено численное моделирование распространения магнитостатических волн в касательно намагниченной структуре на основе пленки железа - иттриевого граната. Методом микромагнитного моделирования было получено распределение интенсивности намагниченности сверхнаправленного пучка поверхностных магнитостатических волн в плоскости плёнки ЖИГ. Были подобраны характеристики волноведущей структуры, для формирования сверхнаправленного луча.

Список использованных источников.

- 1) А. В. Вашковский, В. С. Стальмахов, Ю. П. Шараевский «
Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот », Изд-во
Саратовского университета, 1993, с. 14-24
- 2) A. Yu. Annenkov, S. V. Gerus and E. H. Lock. Superdirectional Beam of
Surface Spin Wave
- 3) Э. Г. Локк. Угловая ширина волнового пучка обратной спиновой волны,
возбуждаемой линейным преобразователем в ферритовой пластине, 2015.
- 4) Э. Г. Локк. Свойства изочастотных зависимостей и законы
геометрической оптики, 2008
- 5) E. H. Lock. On the Angular Width of Diffractive Beam in Anisotropic Media,