

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра компьютерной физики и метоматериалов
на базе Саратовского филиала Института радиотехники и электроники
имени В. А. Котельникова РАН

**Расчет и моделирование магнитных полей
постоянных магнитов различной формы**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

студентки 4 курса 432 группы
направления 03.03.02 «Физика»
физического факультета
Беляевской Марины Михайловны

Научный руководитель

Доцент, канд. ф.-м. н., доцент _____
должность, уч. степень, уч. звание подпись, дата

О.А.Черкасова
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

Профессор, д. ф.-м. н., профессор _____
должность, уч. степень, уч. звание подпись, дата

В.М.Аникин
инициалы, фамилия

Саратов-2019

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Магнитотвердые материалы в наше время широко используются в различных физико-технических областях. Постоянные магниты, выступая в роли посредника, позволяют преобразовать один вид энергии в другой без потери своей собственной энергии. Наиболее общие категории применения постоянных магнитов следующие:

- преобразование механической энергии в механическую (в сепараторах, магнитных муфтах и др.);
- преобразование механической энергии в электрическую (в генераторах и микрофонах);
- преобразование электрической энергии в механическую (в моторах и динамиках)
- преобразование механической энергии в тепловую (в тормозных устройствах, в микроволновых печах);
- специальные эффекты (датчики Холла, магниторезонансные томографы, СВЧ-связь)

И т.д.

Основными свойствами магнитотвердых материалов являются коэрцитивная сила, остаточная индукция и максимальная удельная магнитная энергия, отдаваемая материалом в пространство. Разнообразные функциональные свойства магнитных систем должны обеспечить конструкторы и разработчики.

Цель выпускной квалификационной работы: моделирование распределения магнитных полей магнитов различной геометрической формы из разных материалах с использованием программы Elcut, предназначенной для анализа различных физических полей, в том числе и постоянных и переменных магнитных полей методом конечных элементов.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- 1) Изучение интерфейса программы Elcut.

- 2) Выбор наиболее востребованных магнитных материалов, исходя из рынка продаж на территории Российской Федерации.
- 3) Определение геометрии магнитов.
- 4) Получение картины магнитного поля выбранных образцов.

Содержание работы

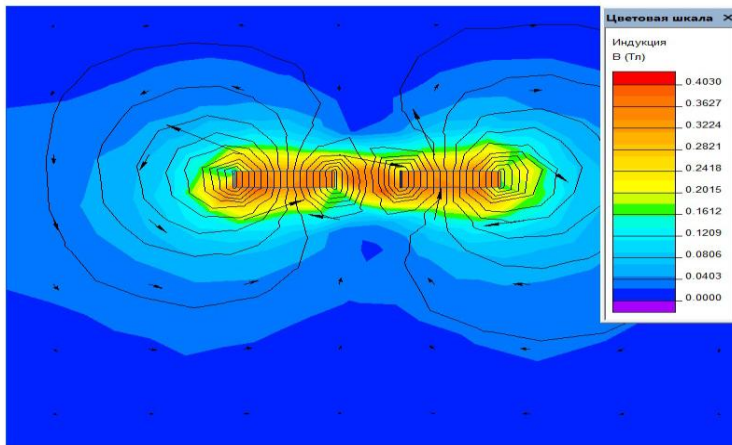
Выпускная квалификационная работа представлена на 42 страницах. Структура работы выглядит следующим образом: введение, 4 глав, заключение. Список использованных источников содержит 23 наименований. В тексте присутствует 45 рисунков, 1 таблица.

В главе 1 “Магнитные материалы” сделан обзор магнитных материалов (виды материалов, типы материалов, отличие магнитотвердых материалов от магнитомягких, основные типы намагничивания магнитов).

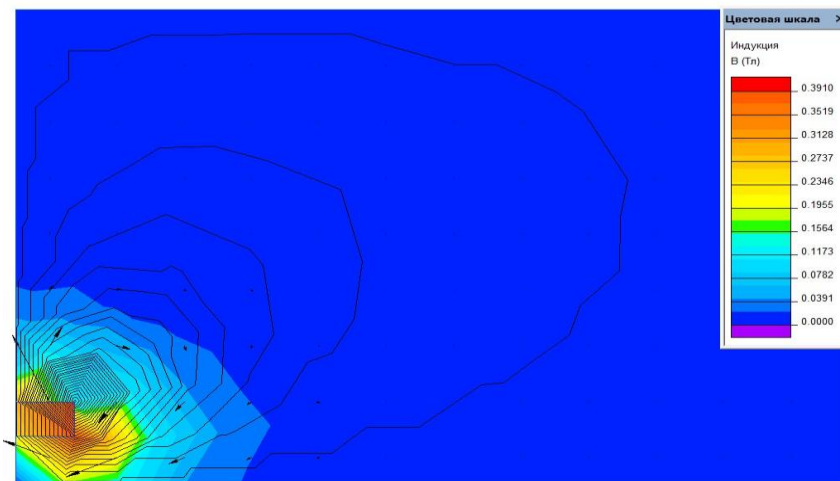
В главе 2 «Моделирование двумерных полей методом конечных элементов» обосновываются преимущества численного эксперимента, проводимого с использованием метода конечных элементов.

В главе 3 «Вычислительный эксперимент. Моделирование магнитов различной формы и материалов» проводится моделирование картины магнитных полей для выбранных нами форм магнитов и типов материалов, заданных физических характеристик.

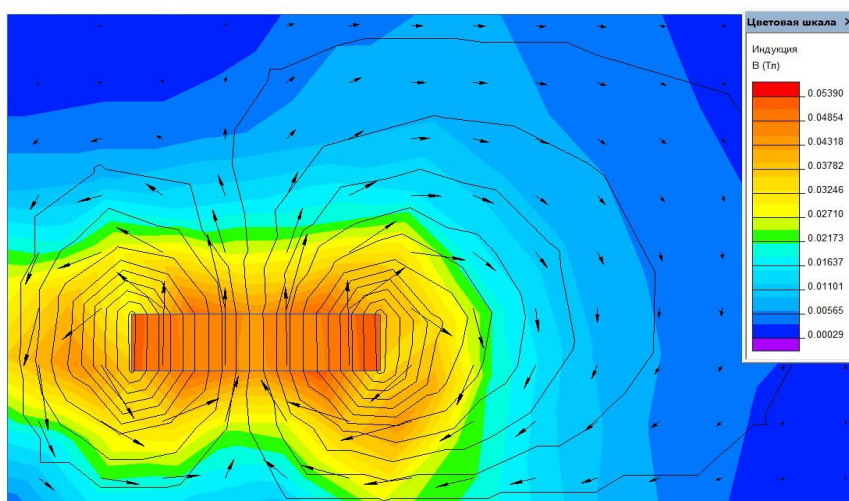
В результате выполнения выпускной квалификационной работы получены картины распределения магнитного поля для магнитов различной формы и изготовленных из различных материалов с требуемыми параметрами.



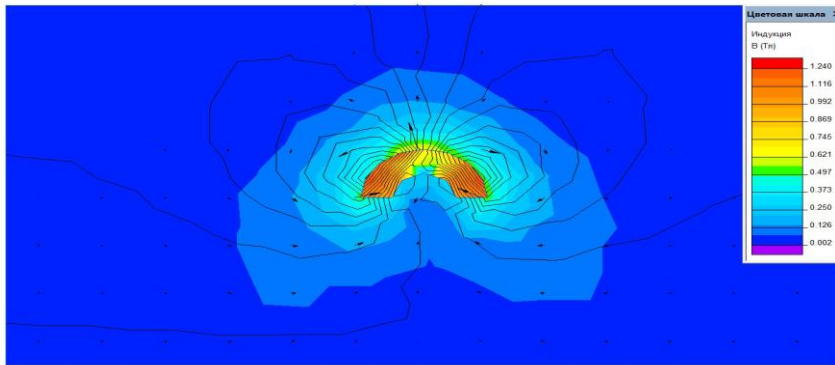
Магнит в форме кольца (Nd-Fe-Br)



Магнит в форме диска (Nd-Fe-Br)

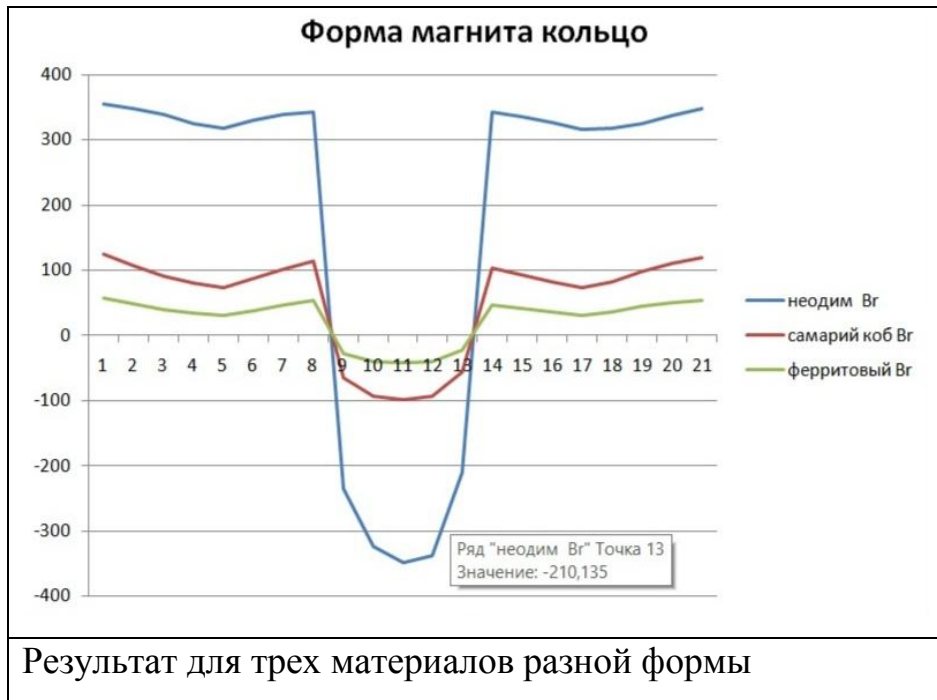


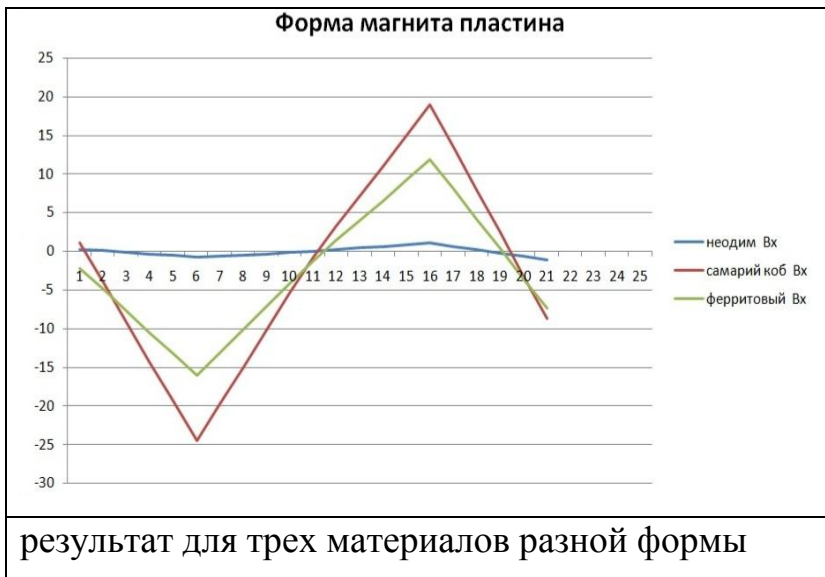
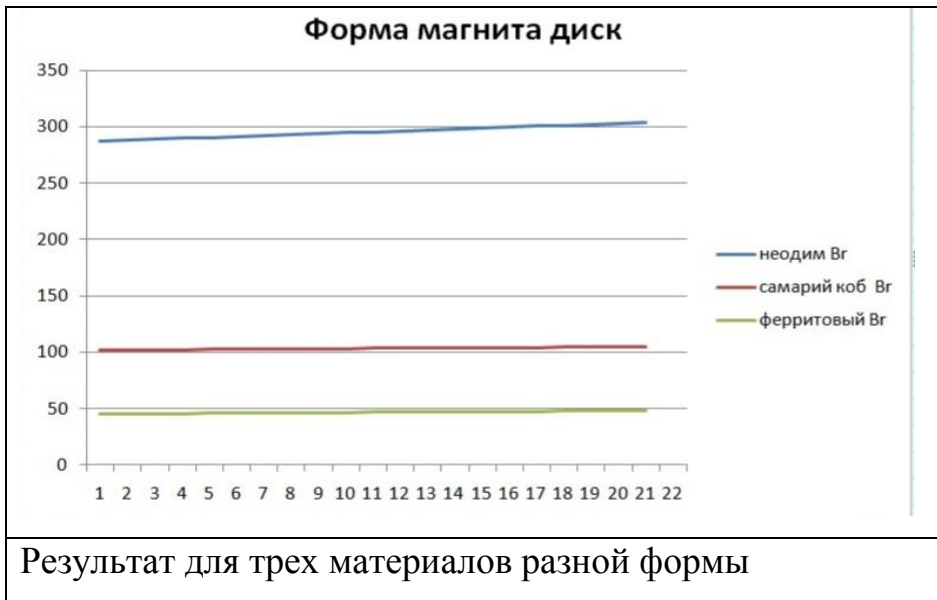
Магнит в форме пластины (Nd-Fe-Br)

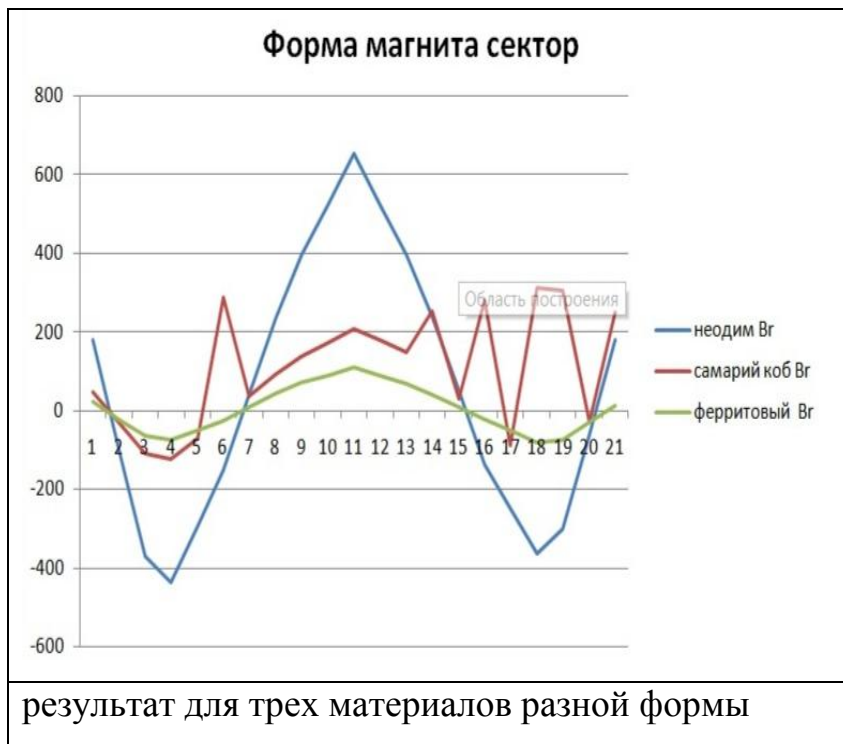


Магнит в форме сегмента (Nd-Fe-Br)

В главе 4 проведен сравнительный анализ полученных результатов .







Заключение (выводы)

- 1) Применение метода конечных элементов для моделирования задач магнитостатики позволило добиться реальных результатов с заданной погрешностью.
- 2) Полученные картины поля для магнитов различной формы магнитотвердых материалов выявили различие в 6-8% от заявленных производителями.
- 3) В результате моделирования наглядно продемонстрировано, что картина магнитного поля определяется геометрией магнита.

Список используемых источников

- 1) Постоянные магниты: Справочник / Альтман А.Б., Герберг А.Н., Гладышев П.А. и др. / под ред. Ю. М. Пятина, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энерг
- 2) ГОСТ 24063-80 Ферриты магнитотвердые. Марки и основные параметры. М.: ГКС, 1986. 13 с.

- 3) ГОСТ 21559-76 Материалы магнитотвердые спеченные. Марки, технические требования и методы контроля. М.: ГКС, 1991. 20 с.
- 4) Elcut. Руководство пользователя http://elcut.ru/free_doc_r.htm ,
<http://emtep.chuvsu.ru/elcut.pdf>
- 5) Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – 2-е изд. перераб. – М.: Наука, 1982. – 496 с.
- 6) Использование компьютерного моделирования и численных расчетов для решения инженерных задач // Сб. статей. СПб.: Любавич, 2015. ия, 1980. 488 с.
- 7) Постоянный магнит: характеристики, свойства и взаимодействие [Электронный ресурс]. URL <https://elquanta.ru/teoriya/postoyannye-magnity.html> (дата 7.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 8) История изучения постоянных магнитов [Электронный ресурс]. URL: <https://supermagnet-rostov.pulscen.ru/articles/14305> (дата обращения 8.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 9) Гистерезис [Электронный ресурс]. URL: <https://pue8.ru/elektrotehnik/591-gisterezis.html> (дата обращения 11.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 10) Российский рынок постоянных магнитов и магнитотвердых материалов [Электронный ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/2918/>(дата обращения 12.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 11) Обзор рынков редкоземельных магнитов [Электронный ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/2918/>(дата обращения 12.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 12) Классификация магнитных материалов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/2592612/> (дата обращения 14.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 13) Редкоземельные магниты SmCo (Самарий-Кобальт) [Электронный ресурс]. URL: <https://ferrite.ru/products/magnets/smco/> (дата обращения 14.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус

- 14) Метод конечных элементов [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikibooks.org/wiki/> (дата обращения 14.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 15) Моделирование электромагнитных полей – [Электронный ресурс]. URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/3/article_3231_939.pdf (дата обращения 14.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 16) ГОСТ Р 52956-2008. Материалы магнитотвердые спеченные на основе сплава неодим-железо-бор. Классификация. Основные параметры М.: ГКС, 2008. 12 с.
- 17) Что значит аксиальная намагниченность [Электронный ресурс]. URL: <https://magnit-ural.ru/library/chto-znachit-aksialnaya-namagnichennost.html> (дата обращения 18.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 18) Есть ли радиальное намагничивание? [Электронный ресурс]. URL: <https://mirmagnitov.ru/faq/o-magnitakh/est-li-radialnoe-namagnichivanie-/> (дата обращения 18.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 19) Тип намагничивание [Электронный ресурс]. URL <http://www.pmspb.ru/magnetization.html> (дата обращения 18.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 20) Какая может быть намагниченность у магнитов? [Электронный ресурс]. URL <http://your-magnit.ru/page/990319> (дата обращения 18.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус
- 21) Основные типы намагничивания [Электронный ресурс]. URL <https://magnet-prof.ru/index.php/osnovnyie-tipyi-namagnichivaniya.html> (дата обращения 18.05.2019). Загл. с экрана. Яз.рус