

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

на правах рукописи

ПАРМЕНОВ Олег Игоревич

УДК 538.24 ; 621.318.1

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ
ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ С ОДНООСНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ
В НЕЛИНЕЙНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.09.05 – Теоретическая электротехника

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1994

ЛНБ ім. В.
АН України

АВ 30.023

Работа выполнена в Симферопольском государственном университете.

Научный руководитель : доктор технических наук,
профессор И.П. Стадник

Официальные оппоненты : доктор технических наук
профессор Ю.П.Емец (ИЭ АН Ураины);

кандидат технических наук
Борукаев З.Х. (ИПМЭ АН Ураины)

Ведущая организация : Институт проблем математических
машин и систем АН Ураины

Защита диссертации состоится "___" _____ 1994 г. в
___ часов на заседании специализированного совета К 016.61.01 в
конференц - зале Института проблем моделирования в энергетике АН
Ураины (252680, г.Киев-164, ул. Генерала Наумова, 15).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат, заверенные круглой печатью, просим
направлять в адрес совета.

Автореферат разослан "___" апреля 1994г.

Ученый секретарь специализированного совета К 016.61.01
к.т.н.

Э.П. Семягина

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00756484 (Y)

ЛНБ ім. В. С.
АН України

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Непрерывный рост мощностей электрических машин, аппаратов и других электротехнических устройств, развивающаяся тенденция к уменьшению их габаритов и экономии дорогостоящих материалов ставят вопрос о точных расчетах электромагнитных полей* в этих устройствах. Благодаря подобным расчетам, проводимым с учетом свойств сред, распределения электромагнитного поля в проектируемом устройстве и зависимости этого распределения от формы границ раздела сред, становятся возможными новые конструкционные решения и новые разработки.

Несмотря на большие возможности используемой в подобных расчетах вычислительной техники и активный научный интерес к вопросам расчета магнитоэлектростатических полей в реальных системах и устройствах, в рамках существующего набора математических моделей и методов быстрый, точный и надежный анализ многих объектов сегодня крайне затруднителен или вообще невозможен. Основные трудности возникают из необходимости проведения многовариантных расчетов для получения истинных данных и представлений. Особо актуальной задачей электротехники является расчет полей в средах с нелинейными магнитными характеристиками, в магнитных системах, содержащих гистерезисные и переходящие в магнитное насыщение элементы. Решение подобных задач в общей постановке полностью отсутствует и даже простейшие случаи исследуются, как правило, без достаточно полного учета специфических особенностей гистерезиса и насыщения магнитных материалов. Имеющиеся подходы и предлагаемые методы решения задач различны по постановке, сложности численной реализации, возможностям полного учета реальной геометрии задачи и реальных магнитных свойств компонентов, входящих в систему. Необходимость их обобщения приводит к усложнению, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к вычислительным ресурсам используемых ЭВМ. Часто эти требования находятся на грани возможностей современных машин. Вместе с тем необходимо отметить, что учет всех

осложняющих факторов в полном объеме не всегда оправдан.

В связи с этим представляется актуальной разработка метода расчета магнитных систем, учитывающего перемагничивание и, в частности, размагничивание постоянных анизотропных магнитов, нелинейность магнитных характеристик и магнитное насыщение участков при известных магнитных характеристиках материалов. Необходимость такой разработки определяется практическими потребностями производств в автоматизации конструирования и оптимизации магнитных систем, в создании универсальных численных алгоритмов, сочетающих в себе достоинства наиболее современных методов прикладной математики и электродинамики, а также программных комплексов - численных моделей конкретных устройств с последующей эксплуатацией на ЭВМ пользователями, имеющими минимальную математическую и программистскую подготовку.

Целью работы является разработка методики и алгоритмов расчета процессов произвольного перемагничивания анизотропных постоянных магнитов в нелинейных магнитных системах при заданных характеристиках материалов. В основе предложенного метода лежит предположение о характере зависимости намагниченности элемента объема магнетика от внешней индукции. Под внешней индукцией мы понимаем индукцию магнитного поля в полости магнетика при мысленном удалении вещества данного элемента объема, т.е. поле сторонних по отношению к элементу объема источников. С использованием внешней индукции удается построить сходящиеся итерационные процессы нахождения распределения намагниченности в магнетиках. В работе рассмотрены вопросы построения необходимых зависимостей для внешней индукции из кривых размагничивания. Результаты, полученные путем численного моделирования конкретной магнитной системы, были подтверждены экспериментально.

Задачи, рассмотренными в диссертационной работе, были:

- разработка модели поля в системах, содержащих анизотропные постоянные магниты из докритических сплавов и изотропные магнитно - мягкие участки с нелинейной магнитной характеристикой при известных магнитных характеристиках материалов;

- разработка методики и алгоритмов расчета полей на основе

предложенной модели;

- разработка численной модели магнитной системы громкоговорителя ЗГДШ-1 и создание программного комплекса;
- оптимизация магнитной системы по потоку.

Методы исследования : математическое моделирование физических полей на ЭВМ. Разработка численных алгоритмов базируется на методах теории потенциала, функционального анализа, интегральных уравнений и методах нелинейного программирования. В качестве физических основ использованы классическая электродинамика и феноменологическая теория магнетизма.

Научная новизна и основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработана модель поля в системах, содержащих магниты с одноосной анизотропией и изотропную арматуру с нелинейной магнитной характеристикой, основанная на предположении о зависимости намагниченности элемента объема от внешней индукции (индукции магнитного поля в полости магнетика при мысленном удалении вещества из полости);

2. Разработан метод расчета процессов произвольного перемагничивания и, в частности, размагничивания постоянных магнитов с одноосной анизотропией в нелинейных магнитных системах при заданных характеристиках материалов;

3. Математической моделью поля могут быть интегральные уравнения, содержащие в качестве неизвестной функции распределение намагниченности в магнетике;

4. Предложены и реализованы на ЭВМ два метода численного моделирования магнитной системы динамической головки громкоговорителя типа ЗГДШ-1 :

а) с учетом размагничивания магнита и магнитного насыщения арматуры на основе разработанной модели поля;

б) без учета нелинейных магнитных характеристик материалов.

Практическая ценность работы заключается в разработке метода расчета полей с учетом нелинейных магнитных характеристик материалов; разработке программных комплексов - численных моделей магнитной системы динамической головки громкоговорителя, позволяющих производить расчеты характеристик и оптимизацию

подобных систем. Эти программы могут быть использованы для сокращения сроков подготовки производства новых громкоговорителей и уменьшения числа натуральных экспериментов. По результатам оптимизации оформлены две заявки на изобретение, находящиеся в стадии рассмотрения.

Апробация работы. Материалы, входящие в диссертационную работу, докладывались на 4^й научно - технической конференции "Проблемы нелинейной электротехники" (Киев, 1992 год), на 20 - 21 конференциях профессорско - преподавательского состава Симферопольского государственного университета (Симферополь, 1992 - 1993 годы).

Публикации: основные положения и результаты работы были опубликованы в пяти работах.

Структура работы: диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы и четырех приложений. Основной текст изложен на 113 страницах и иллюстрирован 22 рисунками. Список литературы содержит 70 наименований.

Краткое содержание работы

Во введении дано обоснование темы диссертации, показана ее актуальность, сформулированы цель и основные задачи работы, описаны методы исследования и положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан сравнительный анализ основных методов, применяемых в теоретической электротехнике для расчета магнитных полей - как приближенных, так и точных теоретически обоснованных. Показаны преимущества интегральных методов по сравнению с методом конечных элементов и методом конечных разностей.

Однако, для нелинейных сред вывод интегральных уравнений сам по себе не является радикальным средством расчета поля, поскольку необходимо еще разрабатывать сходящиеся итерационные методы решения нелинейных уравнений.

Один из наиболее широко применяемых методов расчета

распределения векторов поля в нелинейном анизотропном неоднородном магнетике заключается в модификации итерационного процесса для интегрального уравнения для намагниченности:

$$\vec{J} = \chi \cdot (\vec{H}_0 + \mathbb{T}\vec{J}) \quad (1)$$

введением релаксационного (демпфирующего) коэффициента $0 < \beta < 1$. Например, итерационный процесс для нахождения распределения намагниченности может иметь вид:

$$\vec{J}^{(n)} = (1-\beta) \cdot \chi \cdot (\vec{H}_0 + \mathbb{T}\vec{J}^{(n-1)}) + \beta \cdot \vec{J}^{(n-1)}, \quad (2)$$

где n - номер итерации, \mathbb{T} - линейный интегральный оператор, вычисляющий значение напряженности поля по распределению намагниченности в объеме магнетика V :

$$\mathbb{T}\vec{J} = \vec{H}_J(Q) = \frac{I}{4\pi} \int_V \frac{3(\vec{J}(P) \cdot \vec{r}_{PQ}) \vec{r}_{PQ} - r_{PQ}^2 \vec{J}(P)}{r_{PQ}^5} dV_P, \quad (3)$$

χ - магнитная восприимчивость материала - нелинейная функция, зависящая от напряженности магнитного поля:

$$\chi = f(\vec{H}_0 + \mathbb{T}\vec{J}). \quad (4)$$

Другой подход заключается в выводе интегральных уравнений, отличных от (1):

$$\vec{J}(Q) = \lambda(Q) \left[2 \vec{H}_0(Q) + \mathbb{T}\vec{J} \right], \quad (5)$$

где \vec{H}_0 - напряженность поля внешних источников, в котором находится магнетик, параметр уравнения $\lambda(Q) = (\mu_r(Q) - 1) / (\mu_r(Q) + 1)$, \mathbb{T} - оператор, определенный в ограниченной области V , равный:

(6)

$$\vec{P}J(P) = \vec{B}_J(Q) / \mu_0 + \vec{H}_J(Q) = \int_V \kappa(P, Q) \vec{J}(P) dV_P + \frac{m-2}{m} \vec{J}(Q)$$

В диссертационной работе были выведены интегральные уравнения, структурно общие для анизотропных магнитно - твердых и изотропных нелинейных сред, решение которых может быть получено, например, методом простой итерации при любом выборе начального приближения.

Полученные во второй главе уравнения отличаются от (I) и (5). Для намагниченности элемента объема магнетика (малого объема в окрестности точки) сформулировано предположение о зависимости ее от внешней индукции. Под внешней индукцией понимается индукция магнитного поля в полости при мысленном удалении вещества данного элемента объема, т.е. поле сторонних для данного элемента объема источников. В общем виде выражение для внешней индукции \vec{B}_e имеет вид:

(7)

$$\vec{B}_e = \mu_0 \vec{H} + (\mu_0 - \alpha) \vec{J},$$

где \vec{H} - напряженность поля в элементе объема, \vec{J} - намагниченность элемента объема, коэффициент $\alpha > 0$ зависит от формы элементарного магнита и его величина существенным образом влияет на сходимость итерационного процесса, описанного ниже.

Для анизотропного магнита в проекциях на ось анизотропии выражение (7) запишется в виде:

(8)

$$B_e = \mu_0 H + (\mu_0 - \alpha) J,$$

которое может быть использовано для построения зависимости $J(B_e)$ из эмпирической кривой $J(H)$. Если элементарный магнит имеет форму цилиндра, образующая которого параллельна оси анизотропии, и его длина существенно больше поперечных размеров, то

(9)

$$\alpha = \mu_0,$$

(10)

$$B_e = \mu_0 H,$$

и искомая зависимость $J(B_e)$, как известно, вырождается в известную $J(H)$.

Для элементарного магнита, имеющего форму диска, основание которого перпендикулярно оси анизотропии и толщина существенно меньше поперечных размеров, коэффициент α и поле B_e имеют вид :

(11)

$$\alpha = 0,$$

(12)

$$B_e = \mu_0 J + \mu_0 H,$$

и искомая зависимость $J(B_e)$, как известно, вырождается в $J(B)$.

Для нахождения равновесного распределения намагниченности в анизотропном магните необходимо найти решение следующей системы уравнений:

(13)

$$\begin{cases} B_e = \tilde{U} J + B_0 \\ J = \tilde{\chi}(B_e) \cdot B_e \end{cases}$$

в которой $\tilde{\chi}$ - нелинейная функция, определяющая значение намагниченности элементарного магнита по полю B_e , \tilde{U} - линейный непрерывный (следовательно, ограниченный) интегральный оператор, определяющий величину поля B_e в объеме V_α , охватывающем точку Q , по распределению намагниченности в магнетике:

(14)

$$\tilde{U} J = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V-V_\alpha} \frac{3(x_\alpha - x_P)^2 J(P) - r_{P\alpha}^2 J(P)}{r_{P\alpha}^5} dV_P,$$

где $r_{P\alpha}$ - расстояние между центрами элементарных магнитов, охватывающих точки P и Q , V - объем магнетика.

Подставляя первое уравнение системы (13) во второе, получим интегральное уравнение для намагниченности J :

$$J(Q) = \tilde{\chi}(B_0(Q) + \tilde{U}J) \cdot (B_0(Q) + \tilde{U}J) \quad (I5)$$

С учетом выражения (8):

$$J(Q) = \tilde{\chi}(B_0(Q) + \mu_0 U J + (\mu_0 - \alpha) J(Q)) \cdot (B_0(Q) + \mu_0 U J + (\mu_0 - \alpha) J(Q)) \quad (I6)$$

где оператор U аналогичен интегральному оператору (3).

Таким образом, для намагниченности J получено интегральное уравнение второго рода (I6), отличное от (I) и (5). Для уравнений, подобных (I6), доказано, что

$$\| \mu_0 U J \| \geq \| \mu_0 U J + (\mu_0 - \alpha) J \| \quad (I7)$$

В работе проанализирован вопрос расчета коэффициента α для случая трехмерных, осесимметричных и плоскопараллельных полей. Так, например, для случая плоскопараллельных полей коэффициент α , найденный введением двух токовых настилов с плотностью тока J (рис. I), равен:

$$\alpha = \frac{2 \mu_0}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (I8)$$

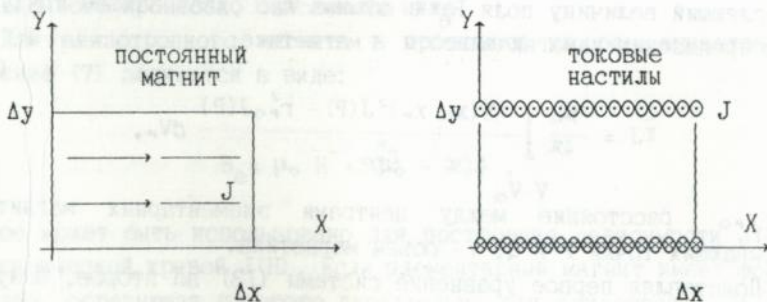


Рис. I

где Δx , Δy - размеры сторон сечения элементарного магнита вдоль осей x и y соответственно.

Для безгистерезисного магнетика, выполненного из изотропного материала с нелинейной магнитной характеристикой ($\mu = \mu(H)$), по аналогии с (16) интегральное уравнение может быть записано в виде:

$$\vec{J}(Q) = \tilde{\chi} (1 \vec{B}_0(Q) + \mu_0 \nabla \vec{J} + (\mu_0 - \kappa) \vec{J}(Q) |) \cdot (\vec{B}_0(Q) + \mu_0 \nabla \vec{J} + (\mu_0 - \kappa) \vec{J}(Q)). \quad (19)$$

Зависимость коэффициента κ от формы окрестности представлена в таблице I.

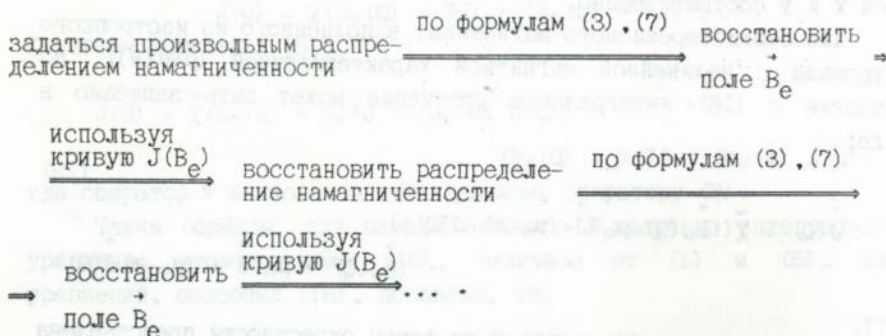
Таблица I

Зависимость κ от вида окрестности

№	значение κ	вид окрестности	используемая зависимость
1	μ_0	тонкий цилиндр, образующая которого совпадает с вектором внешней индукции	$J(H)$
2	$\frac{2}{3} \mu_0$	шар	$J(B_e)$
3	$\mu_0 / 2$	тонкий цилиндр кругового сечения, образующая которого перпендикулярна вектору внешней индукции	$J(B_e)$
4	0	тонкий диск, основание которого перпендикулярно вектору внешней индукции	$J(B)$

Организуем итерационный процесс нахождения намагниченности по

следующей схеме:



Итерации продолжаютя до тех пор, пока невязка для намагничённости \vec{J} (или для внешней индукции \vec{B}_e) превышает определенное значение. В работе проанализирован вопрос о скорости сходимости данного итерационного процесса для различных значений ε и показано, что наилучшая сходимость достигается для случая $\varepsilon=0$. При этом выделенная окрестность имеет вид диска, основание которого перпендикулярно вектору внешней индукции, и используется материальное уравнение $J(B)$.

По результатам расчета распределений намагничённости в образцах, находящихся во внешнем поле, на границе ферромагнетика было проверено выполнение условий для векторов поля:

$$B_n^+ = B_n^-, \quad H_n^+ - H_n^- = J_n; \quad (20)$$

$$H_t^+ = H_t^-,$$

где индексами "n" и "t" обозначены соответственно нормальная и тангенциальная компоненты векторов поля, а "+" и "-" — соответственно предельные значения внутри ферромагнетика и вне его.

Был рассмотрен также линейный магнетик (магнитная проницаемость не зависит от интенсивности поля). Получено хорошее совпадение (порядка процента) с расчетом поля классическим методом (граничных интегральных уравнений).

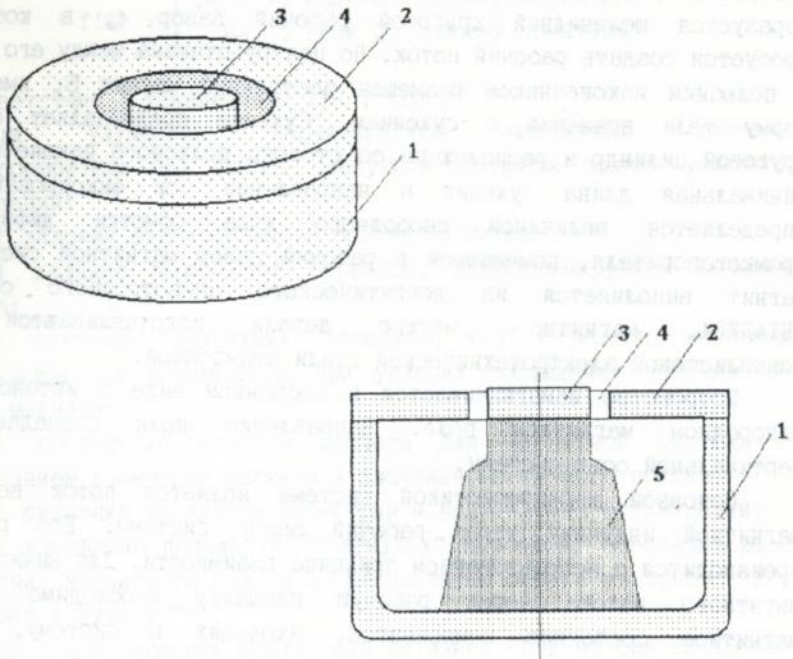


рис. 2

Вопросы практического применения разработанных методов и алгоритмов расчета полей рассмотрены в третьей главе диссертации. В качестве примера использования предложенных моделей поля в нелинейных средах произведены расчет и оптимизация магнитной системы динамической головки громкоговорителя телевизора ЗГДШ-1, изготавливаемой по ОСТ 4.383.001-85, внешний вид и вид в сечении которой представлены на рисунке 2. Она

содержит магнитно - мягкие круглый стакан I, закрывающий его фланец 2 и полусный наконечник 3, концентрически размещенный в отверстии фланца так, что между фланцем 2 и наконечником 3 образуется щелевидный круговой рабочий зазор 4, в котором требуется создать рабочий поток. По центру стакана между его дном и полусным наконечником размещен постоянный магнит 5, имеющий форму тела вращения с сужением. Сужение представляет собой круговой цилиндр и расположено со стороны полусного наконечника. Минимальная длина сужения в направлении оси фиксирована и определяется величиной свободного хода обмотки диффузора громкоговорителя, помещаемой в рабочий зазор магнитной системы. Магнит выполняется из докритического анизотропного сплава ЮН14ДК24, магнитно - мягкие детали изготавливаются из тонколистовой электротехнической стали штамповкой.

Устройство намагничивается в собранном виде в интенсивном однородном магнитном поле. Направление поля совпадает с вертикальной осью системы.

Основной характеристикой системы является поток вектора магнитной индукции через рабочий зазор системы. Его расчет производится с использованием принципа взаимности. Для вычисления магнитного потока через рабочую площадку необходимо знать магнитное состояние компонентов, входящих в систему, т.е. полагая, что интенсивное магнитное поле, в котором намагничивается система, убывает до нуля, необходимо:

1) рассчитать намагниченность во всех точках одноосного постоянного магнита с учетом размагничивания из состояния насыщения;

2) рассчитать намагниченность элементов арматуры, изготовленных из изотропного магнитно - мягкого материала с нелинейными магнитными характеристиками.

Математической моделью магнитной системы является интегральное уравнение 2 рода с нелинейным параметром $\tilde{\chi}$:

(21)

$$\vec{J}(Q) = \tilde{\chi}(Q, \vec{B}_e) \cdot \left[\vec{B}_0 + \mu_0 \vec{J} + f(Q) \vec{J} \right],$$

где

$$f(Q) = \begin{cases} \mu_0 - \alpha, & \text{если } Q \in \text{объему магнита} \\ \mu_0, & \text{если } Q \in \text{объему обмотки} \end{cases} \quad (22)$$

в соответствии с уравнениями (16), (19).

Для улучшения характеристик магнитной системы громкоговорителя был выбран следующий алгоритм полной условной оптимизации:

- а) задание фиксированного объема магнита;
- б) задание количества отрезков, аппроксимирующих сечение магнита;
- в) указание "подвижных" отрезков, т.е. отрезков, меняющих свой наклон при оптимизации при условии соблюдения постоянства объема магнита;
- г) проведение полного расчета для магнитной системы с запоминанием геометрии магнита и значения магнитного потока;
- д) фиксация наилучшей геометрии и направления оптимизации;
- е) изменение положения "подвижных" отрезков, обеспечивающее увеличение магнитного потока по результатам оценки из пункта "д", и возврат к пункту "г".

Описанный алгоритм реализован на языке PL-I на ЭВМ ЕС-1066 в среде СВМ. Пакет входных данных состоит из информации о геометрических размерах компонентов системы, магнитных характеристиках материалов. Для удобства эксплуатации программы применены бесформатный и именованный ввод данных. Выходные данные распечатываются в виде таблиц и диаграмм и могут содержать информацию о результатах дискретизации составляющих системы, распределении намагниченности и внешней индукции в них, значение магнитного потока через рабочий зазор.

Поток, вычисленный для магнита существующей формы, с учетом размагничивания магнита и насыщения обмотки, равен 75 мкВб. Поток для "оптимального" заполнения, полученного оптимизационными расчетами на основе нелинейной модели с учетом размагничивания

магнита и насыщения арматуры равен 92 мкВб (на 22% больше, чем создаваемый магнитом существующей формы). С помощью нелинейной модели магнитной системы проведена серия оптимизационных расчетов; предложены изменения конструкции системы, затрагивающие форму постоянного магнита и арматуры. Удалось подобрать такую форму магнита, которая обеспечивает равный с существующей поток, с уменьшением расхода магнитно - твердого материала на 10%. Получено удовлетворительное совпадение расчетных данных с экспериментальными.

Для сравнения были проведены расчеты системы со следующими предположениями: магнитно - мягкие элементы имеют постоянную магнитную проницаемость; намагниченность магнита постоянна по всему объему и равна остаточной намагниченности для материала. Математической моделью такой системы являются линейные интегральные уравнения 1 и 2 рода для плотности магнитных зарядов. Полученные значения потока в среднем на 100% превосходят экспериментально измеренное значение.

Основные результаты и выводы

Основные результаты, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Сформулировано и обосновано предположение о том, что намагниченность элемента объема магнетика естественным образом определяется внешней индукцией. Под внешней индукцией мы понимаем индукцию магнитного поля в полости магнетика при мысленном удалении вещества данного элемента объема, т.е. поле сторонних по отношению к элементу объема источников.

2. Разработан метод расчета процессов произвольного перемагничивания постоянных магнитов с одноосной анизотропией в нелинейных магнитных системах при заданных характеристиках материалов, и, в частности, учета размагничивания магнитов.

3. Показано, что математической моделью поля в магнитной системе с нелинейными магнетиками могут быть интегральные

уравнения 2 рода с нелинейным параметром, содержащие в качестве неизвестной функции распределение намагничённости. Предложенные интегральные уравнения позволяют построить сходящиеся итерационные процессы для нахождения распределения намагничённости в магнетике.

4. Оценена работоспособность модели для случая линейных сред. При этом результаты расчетов совпадают с полученными классическим методом (методом линейных интегральных уравнений для плотности зарядов).

5. Продемонстрировано, что предложенный метод расчета полей в системах различной геометрии прост в численной реализации, а его формальная схема не зависит от типа ферромагнетика.

6. Разработаны и доведены до вида прикладного программного обеспечения модели магнитной системы громкоговорителя типа ЗГДШ-1, содержащего постоянный анизотропный магнит и магнитно-мягкую арматуру.

7. Выяснено, что критерием оптимальности магнитной системы громкоговорителя является поток вектора магнитной индукции через рабочий зазор системы при заданном объеме постоянного магнита.

8. Выявлено, что модели магнитной системы, построенные на основе линейных интегральных уравнений I и 2 родов для магнитных зарядов, для докритических материалов (в частности, для используемого сплава ЮН14ДК24) не являются адекватными, т.к. размагничивание магнита в данной системе существенно. Эти модели хорошо описывают системы, содержащие закритические материалы (ферриты, РЗМ и т.п.) и могут быть использованы для расчетов и оптимизации таких систем.

9. Установлено, что адекватной моделью системы громкоговорителя, содержащей докритические материалы и арматуру в состоянии, близком к магнитному насыщению, является предложенная модель, построенная на основе интегрального уравнения 2 рода с нелинейным параметром, в котором в качестве неизвестного выступает распределение намагничённости. Эта модель производит учет размагничивания постоянного магнита системы и нелинейности магнитных характеристик арматуры.

10. Проведены расчет и оптимизация магнитной системы громкоговорителя ЗГДШ-1; достигнуто удовлетворительное совпадение между экспериментально измеренными и расчетными величинами. В результате оптимизации получена новая форма магнита, позволяющего повысить магнитный поток на 16-22% по сравнению с находящимся в производстве.

Предложенный метод расчета открывает путь к оптимизации магнитных систем с анизотропными постоянными магнитами и насыщенной арматурой, что дает возможность существенно сократить затраты на технологические разработки и пробные эксперименты. Результаты оптимизации МС громкоговорителя ЗГДШ-1 могут быть непосредственно использованы в производстве.

Публикации по теме диссертации

1. Стадник И.П., Парменов О.И. Моделирование процесса размагничивания магнита с одноосной анизотропией из состояния насыщения // Изв. ВУЗОВ. Сер. Электромеханика.- 1992.- №4.- С. 14-18.

2. Стадник И.П., Парменов О.И. Метод расчета магнитных полей в нелинейных магнетиках // 4^{ая} научно - техническая конференция "Проблемы нелинейной электротехники": Тез. докл.- К.: Ин-т проблем моделирования в энергетике АН Украины, 1992. С. 150.

3. Анализ применения различных методов расчета электростатических полей в электронно - лучевых трубках / Старостенко В.В., Шадрин А.А., Глумова М.В., Парменов О.И.- К., 1992г.- 8 с.- Деп. в УкрИНТЭИ 24.09.1992г. № 1470-Укр2.

4. Метод расчета магнитных полей в нелинейных магнетиках. / Стадник И.П., Парменов О.И.- К., 1992.- 7 с.- Деп. в УкрИНТЭИ 24.09.1992г. № 1469-Укр2.

5. Численно-аналитическая модель магнитной системы динамической головки громкоговорителя / Стадник И.П., Парменов О.И.- К., 1993.- 12 с.- Деп. в ГНТБ Украины 16.09.1993г. № 1877-Укр3.

Благодарности

Соискатель выражает благодарность научному руководителю профессору Ивану Петровичу Стаднику за поддержку и профессиональное руководство.

Автор также весьма признателен друзьям, коллегам членам кафедры Александру Прокофьевичу Телегину, Ирине Юрьевне Горской, Геннадию Петровичу Козику за помощь на протяжении всей работы по подготовке диссертации, официальным оппонентам Юрию Петровичу Емцу и Зелиму Харитоновичу Борукаеву и представителю ведущей организации Станиславу Семеновичу Романовичу за ценные замечания по работе.



подпись соискателя

457480

