УТВЕРЖДАЮ:
Директор ХФИЦ ДВО РАН
чл.-корр. РАН, д-р технических наук
_____ И.Ю. Рассказов
15 мая 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Спивак Юлии Эдуардовны «Оптимизационные методы решения задач дизайна устройств маскировки для моделей магнитостатики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа Спивак Юлии Эдуардовны посвящена теоретическому исследованию новых краевых задач для 2D и 3D моделей магнитостатики; разработке, анализу и программной реализации численных алгоритмов решения задач дизайна устройств маскировки для 2D и 3D моделей магнитостатики на основе оптимизационного метода решения обратных задач и метода роя частиц в качестве метода численной оптимизации.

Актуальность диссертационного исследования определяется необходимостью решать слабо изученные и сложные математические и прикладные задачи для моделей магнитостатики, а также возможностью применения полученных результатов в важных для настоящего времени предметных областях.

Одним из направлений, активно развиваемым в последние несколько лет, является разработка методов решения обратных задач – задач дизайна специальных функциональных устройств – оболочек, позволяющих минимизировать возможности обнаружения некоторого материального тела к разному типу волн или полей. Разработанные к настоящему времени методы решения указанных задач являются теоретически значимыми, но не все из них позволяют физически реализовать полученные решения, так как они отвечают оболочкам, заполненным сингулярными анизотропными средами, которые не существуют в природе. Чтобы преодолеть указанные недостатки, для решения задач дизайна специальных устройств разрабатываются другие методы, среди которых важную роль играет оптимизационный метод, впервые предложенный и обоснованный академиком А.Н. Тихоновым. Некоторые из этих методов анализируются и численно реализуются в данной диссертации. Поэтому работа Ю.Э. Спивак, посвященная разработке методов решения описанных задач, является весьма актуальной.

Оценка содержания диссертации и автореферата

Представленная на отзыв диссертация изложена на 103 страницах и состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 123 наименований; содержит 8 рисунков и 22 таблицы. Структура диссертации отвечает общепринятым требованиям.

Автореферат диссертации написан лаконично и грамотно, материал изложен в логической последовательности, объем автореферата отвечает общеизвестным требованиям. Текст автореферата удовлетворяет положениям ВАК и ГОСТ, дает полное представление обо всех этапах проведенных исследований и полученных результатах.

Во **введении** обоснована актуальность и научная новизна темы диссертационного исследования, представлен литературный обзор и методы исследования развиваемой научной темы, сформулирована ее основная цель и конкретные задачи исследования, представлены научные положения, выносимые на защиту, перечислены основные теоретические и практические результаты. Также приведены сведения об апробации результатов в виде публикаций и докладов на научных конференциях.

Первая глава посвящена формулировкам краевых задач для двумерных и трехмерных моделей магнитостатики, рассматриваемых при условиях сопряжения на границах неоднородных анизотропных в общем случае сред, и теоретическому анализу их однозначной разрешимости.

Во **второй главе** численно исследуются обратные задачи магнитостатики, возникающие при проектировании двумерных многослойных экранирующих и маскировочных устройств. С помощью оптимизационного метода рассматриваемые обратные задачи сводятся к конечномерным экстремальным задачам, в которых роль управлений играют параметры изотропных или анизотропных сред, заполняющих круговые слои, составляющие искомое маскировочное устройство. Предлагается численный алгоритм их решения, основанный на оптимизационном методе и методе роя частиц, обсуждаются результаты вычислительных экспериментов и выполняется их сравнительный анализ.

В **третьей главе** формулируются обратные задачи для трехмерной модели магнитостатики, возникающие при проектировании осесимметричных многослойных экранирующих и маскировочных устройств. В предположении, что проектируемое устройство состоит из конечного числа сферических слоев, каждый из которых заполнен изотропной или анизотропной средой, предлагается численный алгоритм решения указанных задач, основанный на оптимизационном методе и методе роя частиц. На основе анализа проведенных вычислительных экспериментов показывается, что полученным оптимальным решениям отвечают маскировочные устройства, обладающие наивысшей эффективностью в рассматриваемом классе устройств и при этом допускающие простую техническую реализацию.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы и обозначены перспективы дальнейших исследований.

Перечисленный объем проведенных исследований указывает на достаточно высокий научный уровень соискателя, владеющего специальными знаниями в научных областях: численные методы, математическое и компьютерное моделирование. Представленный материал свидетельствует о том, что автор способен формулировать и решать теоретические и прикладные задачи, в частности, применительно к конкретной предметной области, проводить анализ полученных результатов.

Новизна диссертационного исследования

Диссертантом получены следующие новые результаты.

1. Доказаны теоремы об однозначной разрешимости новых краевых задач для двумерных и трехмерных моделей магнитостатики.

2. Разработан математический аппарат решения задач дизайна средств маскировки и экранирования материальных тел относительно магнитных полей, основанный на оптимизационном методе решения обратных задач.

3. Установлен аналог свойства релейности для оптимальных решений задач экранирования и маскировки.

4. Предложены, исследованы и реализованы эффективные численные алгоритмы решения задач дизайна устройств маскировки и экранирования для 2D и 3D моделей магнитостатики.

5. Разработан программный комплекс, реализующий предложенные численные алгоритмы в пакете Matlab. Проведены вычислительные эксперименты по решению задач дизайна устройств маскировки и экранирования для 2D и 3D моделей магнитостатики, демонстрирующие высокую точность и эффективность предложенных алгоритмов.

6. Построенные в диссертации оптимальные решения при надлежащем выборе множества управлений отвечают высокоэффективным маскировочным и экранирующим устройствам, обладающим простотой технической реализации.

Основные и оригинальные результаты, полученные соискателем, сформулированы в виде научных положений, выносимых на защиту.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертант достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Соискателем изучены и критически проанализированы известные теоретические достижения и численные результаты других исследователей, работы которых посвящены разработке методов и подходов для решения задач маскировки.

Для решения поставленных задач использованы методы математического моделирования и средства компьютерной симуляции. Теоретическое исследование краевых задач для 2D и 3D моделей магнитостатики, рассматриваемых при условиях сопряжения на границах раздела неоднородных анизотропных, в общем случае, сред, основывается на использовании теоремы Лакса-Мильграма. Исследование обратных задач для 2D и 3D моделей магнитостатики, возникающих при разработке технологий дизайна средств маскировки и экранирования материальных тел относительно статических магнитных полей, основывается на оптимизационном методе. В результате исходная обратная задача сводится к многопараметрической экстремальной задаче, в которой роль управлений играют магнитные проницаемости изотропных или анизотропных сред, заполняющих круговые или сферические слои, составляющие маскировочное устройство. Для численного решения полученных экстремальных задач используется метод роя частиц. Программная реализация разработанных алгоритмов выполнена с помощью пакета прикладных программ Matlab, в частности, для решения систем линейных алгебраических уравнений были использованы встроенные в пакет Matlab функции.

Достоверность полученных результатов, положений и выводов диссертационной работы обеспечивается использованием строгих математических рассуждений при доказательстве сформулированных в главе 1 теорем, прозрачной аргументацией принятых ограничений, применением апробированных численных методов и средств компьютерного моделирования и верификацией построенных алгоритмов, а также сравнительным анализом полученных результатов.

Теоретическая и практическая значимость

Результаты, полученные в диссертационной работе Спивак Ю.Э., обладают научной значимостью. Теоретическая значимость заключается в разработке оригинального метода решения задач дизайна устройств невидимости и экранирования материальных тел для моделей магнитостатики. Предложенный метод представляет собой математическую технологию решения задач дизайна устройств экранирования и маскировки. Указанная технология может также использоваться для решения задач дизайна концентраторов энергии, устройств иллюзиона, инверторов и других специальных устройств, служащих для управления физическими полями. Практическая значимость состоит в том, что результаты, полученные при решении задач дизайна устройств магнитной невидимости, могут найти потенциальные применения в таких медицинских технологиях, в которых используемые магнитные поля должны иметь заданную структуру и не допускать возмущений различного рода присутствующими магнитными объектами. Примерами таких технологий являются магнитно-резонансная томография и транскраниальная магнитная стимуляция.

Публикация и апробация научных результатов

Список научных работ автора представляется достаточным и включает 27 наименований, в том числе: 6 статей в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ; 15 материалов конференций, индексируемых международными базами Scopus и Web of Science; 6 материалов докладов и тезисов конференций, индексируемых в РИНЦ; 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные результаты по материалам диссертационной работы соискателя были представлены и обсуждены на научных мероприятиях регионального, всероссийского и международного уровня.

Общие замечания и вопросы по диссертационной работе

В представленной диссертации Ю.Э. Спивак имеются и недостатки, которые по итогам обсуждения ее доклада можно сформулировать в виде следующих замечаний и вопросов.

1. На с. 16 диссертации впервые вводится понятие магнитной проницаемости μ. А в гл. 1, начиная со с. 19, используется жирное начертание для ее описания. Чем отличаются эти две переменные?

2. В диссертации представлен очень подробный анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов. Но для наглядности в дополнение к представленным таблицам можно было бы ввести графические элементы, отражающие маскировочный и экранирующий эффекты оболочки в магнитном поле.

3. В разделе 2.4, где описывается алгоритм метода роя частиц, стоило бы привести обоснование выбора именно этого метода, указать его преимущества перед другими методами. Также при проведении вычислительных экспериментов не раскрыт вопрос

выбора переменных параметров метода роя частиц, как они влияют на эффективность метода и решение задачи.

4. В главе 2 ширина проектируемой изотропной оболочки составляет 1 см, а в главе 3 – 1.5 см. Чем обоснован такой выбор? В чем состоит отличие полученных результатов в зависимости от этого параметра? Как влияет выбор этого параметра на качество решения?

В целом диссертация оформлена аккуратно, хотя и с некоторыми опечатками (например, имеется нарушение нумерации в списке литературы), а указанные замечания не уменьшают научной ценности работы и не мешают дать ей общую положительную оценку.

Заключение

Полученные соискателем результаты достоверны, выводы и заключения научно обоснованы. Материал диссертации изложен достаточно ясно и вносит новизну в три научные области: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Оформление текста соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, научный стиль выдержан. Основные результаты опубликованы в работах соискателя достаточно полно. Автореферат диссертации отражает ее основное содержание.

Таким образом, представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Спивак Юлия Эдуардовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доклад по диссертационной работе Ю.Э. Спивак был заслушан на расширенном научном семинаре лаборатории численных методов в математической физике Вычислительного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. Отзыв на диссертацию обсужден и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Объединенного научного семинара при Ученом совете ВЦ ДВО РАН – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук протокол № 2 от 11 мая 2023 г.

Отзыв подготовил: Каширин Алексей Алексеевич

15 мая 2023 г.

Каширин Алексей Алексеевич, старший научный сотрудник лаборатории численных методов в математической физике Вычислительного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, кандидат физико-математических наук.

elomer@mail.ru, тел.: +7 (4212) 22-72-67

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук.

680000 Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, д. 54.
Адрес электронной почты: adm@igd.khv.ru
Тел.: +7 (4212) 32-79-27.

Я, Каширин Алексей Алексеевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

15 мая 2023 г. _____ Каширин Алексей Алексеевич