

Отзыв официального оппонента

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»

Диссертационная работа Спивак Юлии Эдуардовны «Оптимизационные методы решения задач дизайна устройств маскировки для моделей магнитостатики» посвящена созданию теоретического базиса решения обратных задач маскировки для двумерных и трехмерных моделей магнитостатики, рассматриваемых при условиях сопряжения на границах раздела неоднородных (в общем случае) анизотропных сред, а также разработке и программной реализации эффективных вычислительных алгоритмов для реализации моделей дизайна устройств магнитной маскировки.

Актуальность темы диссертационного исследования

В последние десятилетия развитие подходов к математическому моделированию физических и технических систем, работающих в неравновесных условиях влияния электромагнитных полей, находится в фокусе пристального внимания многих ученых. Одно из значимых достижений междисциплинарных исследований электромагнетизма представлено разработкой технологий электромагнитной маскировки. Эти технологии позволяют выполнять дизайн устройств, которые обеспечивают пропускание сигнала сквозь объект (объекты дают магнитный отклик вместо электрического благодаря взаимодействию мультиполей), что делает подвижные и неподвижные радиолокационные цели «невидимыми» в широком диапазоне частот, включая оптический, инфракрасный, микроволновый и радиочастотный.

Кроме очевидных приложений в сфере военных разработок (при конструировании и модернизации изделий электроники, а также для снижения заметности объектов и повышения их помехозащищенности), технологии электромагнитной маскировки, как отмечают многие передовые исследователи, имеют огромный потенциал применения в устройствах беспроводной передачи энергии, конструкциях антенн, для усиления сигналов в нанолазерах, а также в системах медицинской диагностики (например, магнитно-резонансной томографии) и в приборной базе, обеспечивающей поддержку широкого ряда биологических экспериментов.

Используемые в практике подходы к электромагнитной маскировке в достаточной степени диверсифицированы: одни из них основаны на трансформационной оптике и использовании специально синтезированных метаматериалов, которые позволяют перенаправить электромагнитные волны, другие – используют метод компенсации рассеяния с помощью плазмонных метаматериалов или метаповерхностей. Применяемые

в практике материалы являются дорогостоящими, а предлагаемые технические конструкции – довольно сложными и не носящими универсального характера для всех категорий маскируемых объектов. Несмотря на единые физические основы устройств электромагнитной маскировки (в большинстве случаев используется аппарат уравнений Максвелла), каждое направление требует как создания теоретического базиса используемых математических моделей, так и развития эффективных вычислительных алгоритмов, позволяющих с использованием технологии вычислительного эксперимента прогнозировать характеристики маскирующих покрытий и оптимизировать управляющие параметры таких моделей.

Поэтому направление исследований, представленное в диссертации Ю. Э. Спивак и связанное с обоснованием математических моделей дизайна устройств магнитной маскировки, а также с разработкой алгоритмов программной реализации таких моделей, несомненно, представляется актуальным.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций сформулированных в диссертации, их достоверность

В диссертации представлен анализ достижений и теоретических положений отечественных и зарубежных авторов, включающий постановки прямых и обратных задач моделирования электромагнитных явлений в приложении к исследованию дизайна устройств маскировки. Приведены результаты апробирования методов классической и стохастической оптимизации, построения и программных реализаций вычислительных алгоритмов. Автором проведено корректное позиционирование собственных результатов в общей системе научных знаний, сложившейся в данной предметной области к настоящему моменту времени. Положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Ю. Э. Спивак, научно обоснованы.

Достоверность научных результатов, полученных соискателем, обеспечивается выполнением строгих математических формализаций и оценок при доказательстве теорем, использованием апробированных численных методов роевого интеллекта для построения вычислительного алгоритма реализации модели, а также положительными результатами проверки адекватности численных решений путем сравнения с аналитическими решениями для тестовых задач.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 27 научных публикациях автора, в числе которых 21 работа, отвечающая критериям ВАК РФ. Можно отметить, что 8 научных статей в профильных рейтинговых изданиях, цитируемых международными базами Web of Science и Scopus, опубликованы либо в личном авторстве, либо в соавторстве только с научным руководителем соискателя (что свидетельствует о существенном вкладе диссертанта). Все основные публикации по профилю соотнесены с научной специальностью 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Диссертационная работа прошла основательную апробацию на всероссийских и международных конференциях, результаты неоднократно обсуждались на научных семинарах.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

Можно отметить ряд оригинальных результатов, полученных соискателем.

Доказаны теоремы об однозначной разрешимости новых краевых задач для двумерных и трехмерных моделей магнитостатики. Разработан математический аппарат решения задач дизайна средств маскировки и экранирования материальных тел относительно магнитных полей, основанный на оптимизационном методе решения обратных задач. Установлен аналог свойства релейности для оптимальных решений задач экранирования и маскировки. Представлены вычислительные схемы решения задач дизайна устройств магнитной маскировки и экранирования в рамках двумерной и трехмерной моделей. Разработаны прикладные программы, реализующие предложенные вычислительные алгоритмы в пакете Matlab. Проведены вычислительные эксперименты по решению задач дизайна устройств маскировки.

Существенно, что новые результаты присутствуют в научных областях: математическое моделирование, численные методы, комплексы программ, соответствующих паспорту научной специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Значимость результатов для науки и практики

Теоретическая значимость диссертационной работы Ю. Э. Спивак заключается в разработке теоретического базиса для решения прямых и обратных двумерных и трехмерных задач магнитостатики в условиях сопряжения на границах раздела различных сред, а также в разработке подхода к численной реализации соответствующих математических моделей на основе применения алгоритма роевого интеллекта.

В плане практической значимости, конечно, необходимо отметить потенциально возможное развитие рассматриваемых классов задач в аспекте приложения к дизайну устройств электромагнитной маскировки для прогнозирования оптимальных значений управляющих параметров таких систем.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Спивак Юлии Эдуардовны характеризуется аккуратностью и аргументированностью математических выводов и доказательств. Автор на высоком уровне демонстрирует свою научную квалификацию. Особого внимания заслуживает следующий научный результат. Как показывает анализ предметно-ориентированной литературы, традиционный подход в решаемом классе прикладных задач состоит в выполнении прямого моделирования и эмпирическом подборе управляющих параметров модели, например, магнитной проницаемости метаматериалов и геометрических характеристик конструкций. В диссертации развивается перспективный подход, связанный с автоматизированной оптимизацией подобной настройки модели.

Материал диссертации представлен системно, четко прослеживается логическая связь между отдельными главами. Текст работы оформлен в соответствии с действующими стандартами, написан грамотно, с использованием общепринятой математической символики и системы обозначений. Текст практически не содержит опечаток, орфографических, грамматических и пунктуационных ошибок.

Общие замечания и вопросы по диссертационной работе

Не умаляя достоинств диссертационной работы и ценности разработанного теоретического аппарата, по содержанию и оформлению диссертационной работы можно сделать следующие замечания.

1. (*Модель*) Заявленный в теме объект исследования – математические модели дизайна устройств магнитной маскировки очень скромно описаны в части литературного обзора. Из контента материала диссертации не следует мнение соискателя, почему представленная математическая формализация соответствует модели дизайна устройств магнитной маскировки. В работе не раскрыт вопрос – почему допустимо использовать стационарную форму для уравнений Максвелла в рассматриваемом случае. Считаю, что применение условий квазистационарности и стационарности заслуживает дополнительных комментариев в диссертации.

2. (*Алгоритм*) В работе фокус внимания явно смещен в сторону научного направления «Математическое моделирование», двум другим компонентам научной специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» уделено значительно меньше внимания. Формализация алгоритмов, обоснование их эффективности, проектирование и реализация систем компьютерного моделирования также требуют системного представления.

Предлагаемый автором вычислительный алгоритм реализации модели описан на двух страницах текста диссертации (стр. 43–44). В тексте нет аргументации в пользу выбора стохастических методов оптимизации, сравнительной характеристики выбранного метода по сравнению с родственными методами, представляющими эволюционную оптимизацию или группу методов имитации отжига, а также не приведено позиционирование метода в «своей» группе – группе методов роевого интеллекта.

В выводах по диссертации отмечено, что автором «исследованы свойства алгоритма». Важнейшей характеристикой алгоритма является сходимость. Известно, что роевые алгоритмы требуют тонкой «юстировки» параметров, в частности, от коррекции скорости частицы зависит сходимость алгоритма и только аккуратно настроенный алгоритм обладает высокой надежностью. Но в работе лишь отмечено, что «числа ω , c_1 и c_2 являются постоянными параметрами» и дана ссылка на [72, 112], чтобы читатель мог ознакомиться с рекомендациями по их выбору.

Также отмечено, что «... условие выхода из цикла *может* определяться достижением достаточно малого значения функционала J , либо значением максимального числа итераций». Однако в вычислительных экспериментах не указано, какое из условий выполнялось (Какое значение функционала можно считать малым в рамках рассматриваемой проблемы? Какое число итераций обеспечивает приемлемую точность роевого алгоритма?).

Если бы метод роя частиц применялся как инструмент для решения частной задачи, то представленного контента вполне было бы достаточно. Однако соискателем предлагается численная методика реализации класса моделей (на основе этого метода), поэтому детали важны для обеспечения воспроизводимости результатов и возможности применения алгоритма другими исследователями для решения аналогичных задач.

3. (*Программа*) Подобным недостатком представления обладает и «программная часть» диссертации. Автор в положении 4 формулирует защищаемый результат как

«комплексе программ», хотя корректно было бы квалифицировать результат как «набор прикладных программ». Характерной особенностью комплекса является *объединение* программ, нацеленных на решение задач в одной области.

Для представления комплекса программ, как нового научного результата, следует придерживаться принятой в данной отрасли научного знания методике. «Программно-ориентированный» раздел в диссертации отсутствует – автор от алгоритмов сразу переходит к изложению результатов вычислительных экспериментов.

4. (*Вычислительный эксперимент*) Магнитная проницаемость – важнейший управляющий параметр модели, но многочисленные таблицы не дают визуального представления решения задач *дизайна устройств* маскировки. В работе недостает компьютерной визуализации «прозрачности» – пространственного отображения силовых линий магнитной индукции без объекта, с объектом и выключенной маскировкой и с объектом и включенной маскировкой.

Замечания по оформлению текстовой части и графического материала

1. Замечание методического характера, которое затрагивает изложение цели диссертационной работы. Некорректно использована формулировка: «Целью диссертационной работы является теоретическое исследование...», так как исследование – это форма научного познания и, далее, во второй части – «Целью диссертационной работы является ... анализ», так как анализ – это всеобщий метод научного познания. Цель исследования по своей формулировке должна быть ориентирована на научный результат (теория, концепции, основы, модель, алгоритм, система моделирования...).

2. Одно и тоже буквенное обозначение J использовано для плотности тока и функционала качества.

3. В некоторых случаях автор допускает стилистические неточности. Например, на стр. 40: «...к классу так называемых сингулярных решений. Такое название связано с отсутствием в природе ... », на стр. 50: «Полученные результаты подтверждают высокую эффективность экранирующих магнитных устройств, полученных с помощью оптимизационного метода ».

4. Качество рисунков 2.3, 2.4, 2.5 (единственных, используемых для визуализации, результатов компьютерного моделирования) находится в определенном диссонансе с хорошим качеством представления текста диссертации в целом (вопрос вызван тем, что автор использует для программирования и проведения вычислительных экспериментов ППП Matlab, который предлагает широкий спектр растровых и векторных форматов для качественного экспорта построенных графиков).

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку научных результатов диссертационной работы и носят рекомендательный характер для дальнейшего улучшения качества представления научных результатов соискателя.

Заключение

В целом можно заключить, что диссертация Спивак Юлии Эдуардовны «Оптимизационные методы решения задач дизайна устройств маскировки для моделей магнитостатики» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития теории оптимизационного моделирования сложных физических систем.

Диссертационная работа Ю. Э. Спивак выполнена на актуальную тему, носит законченный характер и при этом имеет дальнейшие перспективы развития. Тематика и результаты выполненных научных исследований соответствуют паспорту специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными, достоверными и имеют существенное теоретическое и практическое значение. В автореферате и публикациях соискателя в полной мере отражены содержание диссертации, а также наиболее существенные положения, выводы и рекомендации.

Таким образом, представленная диссертационная работа удовлетворяет всем 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».

Официальный оппонент

Масловская Анна Геннадьевна

«10» мая 2023 г.

Масловская Анна Геннадьевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Математический анализ и моделирование».

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет».

675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21, каб. 338.

Тел. сот.: 8963-816-84-19. E-mail: maslovskayaag@mail.ru

Я, Масловская Анна Геннадьевна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Масловская Анна Геннадьевна

«10» мая 2023 г.

