

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Савченко Александра Оливеровича «Численные и аналитические методы расчёта воздействия электромагнитного поля на проводящее тело», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы

Математическое моделирование играет важную роль в изучении взаимодействия электромагнитного поля и проводящих тел для определения закономерностей, позволяющих создать методы контроля и управления исследуемых процессов. Разработка новых моделей и дальнейшее проведение численного моделирования в ходе исследований часто является единственным способом получить необходимую информацию. Многие задачи, имеющие важное научное и прикладное значение, до сих пор не решены, так как имеются серьёзные проблемы с адекватностью предлагаемых моделей и эффективностью методов их реализации. Это обуславливает актуальность дальнейшего развития фундаментальных основ применения, как математического моделирования и вычислительных методов, учитывающих особенности развивающихся современных вычислительных технологий, так и написания пакетов программ позволяющих проводить большой объём численных экспериментов при изучении природных и технологических процессов.

В связи с этим диссертационная работа А.О. Савченко, посвященная разработке и исследованию математических методов для определения воздействия внешнего электромагнитного поля на однородные проводники простых геометрических форм (шаровые, эллипсоидальные, осесимметричные, ограниченные гладкой поверхностью), а также определению поля вне проводников решением внешних краевых задач для уравнений Лапласа и Гельмгольца с проведением расчетов тестовых задач, имеющих как исследовательский, так и прикладной характер, несомненно **актуальна** и имеет больше научное, а также практическое значение.

Содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, приложения, заключения и списка литературы из 133 наименований. Общий объём работы 227 страниц, включая 12 рисунков и 15 таблиц.

Во введении формулируется тема исследований – задачи воздействия внешнего электромагнитного поля на проводящие тела, обосновывается актуальность исследований, формулируются цели и методы их достижения, указывается новизна полученных результатов, их научная и практическая ценность, определяется личный вклад автора при получении результатов, приводится информация об апробации работы, формулируются положения, выносимые на защиту, даётся краткое содержание по главам.

В первой главе рассматривается задача по определению полного заряда, мультипольных моментов и силы, действующей на шаровой проводник, расположенный в неоднородном осесимметричном электростатическом поле. Предложен и обоснован метод определения поверхностной плотности заряда для проводящего шара, находящегося на оси внешнего осесимметричного поля. При выводе формул для электрических характеристик проводящего шара используются свойства матрицы моментов от многочленов Лежандра.

Вторая глава посвящена задаче определения поверхностной плотности заряда осесимметричного проводника, расположенного соосно внешнему осесимметричному электрическому полю, и задаче определения токов на поверхности осесимметричного сверхпроводника, расположенного соосно внешнему осесимметричному магнитному полю. Решение задач сводится к решению одномерных интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода. Доказано, что если внешнее электрическое (магнитное) поле можно описать многочленом степени n на оси проводника (сверхпроводника), а сам проводник (сверхпроводник) имеет форму эллипсоида вращения, то решением интегрального уравнения также будет многочлен степени n , коэффициенты которого определяются из решения системы линейных алгебраических уравнений.

Третья глава посвящена описанию алгоритма вычисления потенциала и напряжённости поля проводящего эллипсоида. Интегралы, которые необходимо вычислить, обладают особенностями, связанными с неограниченностью интегрируемой функции. Для решения этой проблемы разработан и исследован численно-аналитический метод, в котором квадратурные формулы на каждом этапе вычисления интеграла по одной из переменных не имеют особенностей в узлах интегрирования и не принимают в них больших значений. Для проверки достоверности алгоритма проведены численные эксперименты на сложных тестовых функциях, предложенных автором.

В четвёртой главе, с использованием результатов второй и третьей глав, разработан и исследован метод определения векторного потенциала и напряжённости магнитного поля в осесимметричном проводнике, расположенном соосно внешнему осесимметричному гармоническому магнитному полю. Решение ищется в виде ряда, каждый член которого является решением уравнения Гельмгольца с постоянным коэффициентом в бесконечной области. Для нахождения напряжённости магнитного поля на оси проводника уравнение для векторного потенциала приводится к интегральному уравнению Фредгольма 2-го рода, что позволяет найти осевую напряжённость поля как интеграл от уже вычисленного значения векторного потенциала. Достоверность полученных результатов подтверждается их сравнением с известными точными решениями для частных случаев, либо сравнением с результатами численных решений тестовых задач.

Пятая глава посвящена работе и обоснованию метода определения в квазистационарном приближении векторного потенциала внутри ограниченного гладкой поверхностью однородного проводника в гармонически изменяющемся по времени внешнем магнитном поле. При возникновении внутри проводника электрического тока, а на его поверхности электрического заряда, рассматривается задача по определению четырёхмерного потенциала электромагнитного поля. Алгоритм реализации сводится к решению уравнения Гельмгольца в области, занимаемой проводником, при условии, что напряжённость электрического поля тангенциальная на поверхности проводника, а решением задачи с нулевой проводимостью тела является потенциал внешнего электромагнитного поля. Предложена и исследована идея определения распределения заряда на фиктивной поверхности, окружающей проводник, создающего электрическое поле внутри проводника, равное полю, создаваемому распределением заряда на исходной поверхности проводника.

В шестой главе рассмотрена задача определения скалярного потенциала вне проводника произвольной формы, если на его поверхности заданы значения скалярного потенциала или его нормальной производной. Предложены методы

решения внешней краевой задачи для уравнений Лапласа и Гельмгольца на основе декомпозиции области. Исследована сходимость методов в зависимости от параметров при декомпозиции с пересечением и без пересечения. Получена оценка применимости предложенного подхода для решения общей проблемы с произвольным волновым числом. Методы проиллюстрированы результатами численных экспериментов.

В приложении приводится описание двух комплексов программ для ЭВМ, позволяющих проводить вычисления потенциала и компонентов напряжённости поля заряжённого эллипсоида вращения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации. Выводы аргументированы и полностью отражают основные научные достижения автора.

Научная новизна полученных результатов.

Несомненной новизной обладают результаты, полученные автором при разработке аналитических, численно-аналитических и численных методов решения задач возникающих при исследовании воздействия электромагнитного поля на проводящие тела. В частности,

1) метод определения индуцированных электромагнитных характеристик на поверхности осесимметричных проводников в осесимметричном электрическом поле и осесимметричных сверхпроводников в осесимметричном магнитном поле;

2) аналитическое определение поверхностного заряда, мультипольных моментов и силы, действующей на проводящий шар на оси неоднородного осесимметричного электрического поля;

3) численно-аналитический метод определения плотности поверхностного заряда эллипсоидального проводника в неоднородном осесимметричном электрическом поле и плотности поверхностного тока эллипсоидального сверхпроводника в неоднородном осесимметричном магнитном поле, а также численный метод определения электромагнитных характеристик на поверхности осесимметричных проводников в осесимметричном внешнем поле;

4) численно-аналитический метод вычисления потенциала и напряжённости поля проводников эллипсоидальных форм с заданной объёмной плотностью заряда;

5) семейство методов для определения потенциала и напряжённости магнитного поля внутри осесимметричного проводника, расположенного соосно внешнему осесимметричному переменному магнитному полю, используемых в зависимости от физических параметров исходной задачи;

6) метод определения векторного и скалярного потенциала проводника ограниченного гладкой поверхностью во внешнем магнитном поле, гармонически изменяющемся по времени (в квазистационарном приближении исходной задачи);

7) оценка применимости методов декомпозиции и условий их сходимости при решении внешних краевых задач для уравнений Лапласа и Гельмгольца в расчётных областях со сложной геометрической конфигурацией кусочно-гладких границ и контрастными материальными свойствами сред в различных подобластях.

Обоснование и достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью поставленных физических задач, корректностью и согласованностью математических моделей, обеспечивающих выполнение законов сохранения, большим количеством данных полученных в ходе решения тестовых задач и их согласованностью с теоретическими предпосылками. В диссертации используется широкий спектр аналитических, полуаналитических и численных

методов исследований. Доказан ряд теорем линейной алгебры, математического анализа и математической физики, которые нашли своё применение в разработанных численных методах. Сформулированные основные выводы имеют ясный смысл, базируются на строгих математических доказательствах и являются обобщением ряда известных результатов. Результаты диссертации докладывались на российских и международных научных конференциях, обсуждались на семинарах в Институтах СО РАН и в ВУЗах России, опубликованы в различных изданиях, включая рецензируемые журналы, из которых 14 из перечня ВАК. Оформлена государственная регистрация двух программ для ЭВМ. Всё это позволяет считать полученные результаты обоснованными и достоверными.

Научно-практическая значимость результатов работы.

Моделирование воздействия внешнего электромагнитного поля на проводящие тела является необходимым этапом в исследовании их движения в переменном магнитном поле со сверхвысокими скоростями. В связи этим, разработка аппарата математического моделирования для исследования условий по созданию сильных и сверхсильных магнитных полей допускающих электромагнитное ускорение проводящих тел – необходимый этап, предшествующий проектированию установок позволяющих получить подобный эффект. Поэтому, предложенные новые методы вычислений, реализованные в виде двух комплексов программ для проведения расчетов потенциала и компонентов напряжённости поля заряжённого эллипсоида вращения, позволяют сделать важный шаг и в развитие методов математического моделирования, и в решение серьезной проблемы управления процессами при взаимодействии электромагнитного поля и проводящего тела. Полученные результаты исследований способствуют разработке научных основ создания новых технологий по бесконтактному ускорению проводящих тел, в частности, транспортных средств на магнитной подушке и т.п.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и дает представление о выполненной работе.

Несмотря на высокий научный уровень полученных результатов, по диссертационной работе имеются следующие **замечания**.

1. При исследовании физических объектов, в частности, электромагнитного поля, не корректно использовать выражение «внешнее электрическое (магнитное) поле является многочленом степени n на оси проводника».

2. Глава 4, на страницах 117, 118 рисунки 4.2a, 4.2b с изображением зависимости амплитуды осевого магнитного поля от осевой координаты. Полученные решения, рассматриваемых автором тестовых задач, имеют только графическое представление при фактическом отсутствии какого-либо анализа результатов, выводов и рекомендаций.

3. Автор не придерживается единого стандарта при оформлении списка литературы в диссертации.

4. Диссертационная работа недостаточно сбалансирована, если рассматривать специальность «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Основное внимание в диссертации автором уделяется методам вычислений, а также разработанным пакетам программ и очень незначительное – моделям. Отсутствие в списке новых результатов упоминания о моделях, усиливает это впечатление.

Сделанные выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение.

Диссертация Савченко Александра Оливеровича соответствует специальности 05.13.18 и является завершённой научно-квалификационной работой, которая на основании выполненных автором исследований и полученных результатов вносит значительный вклад как в развитие методов математического и численного моделирования, так и в решение важной научной проблемы по управлению процессами при взаимодействии различных проводящих тел с электромагнитным полем. Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении учёных степеней" постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Савченко Александр Оливерович достоин присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,

главный научный сотрудник лаборатории Термомеханики
и прочности новых материалов ИТПМ СО РАН,

д.ф.-м.н.

28 мая 2020 г.

 В.Н. Попов

Подпись д.ф.-м.н., главного научного сотрудника Попова В.Н. заверяю
ученый секретарь ИТПМ СО РАН

к.ф.-м.н.

 Ю.В. Кратова

Попов Владимир Николаевич

д.ф.-м.н., специальность ВАК 05.13.16 – «Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях. Математика»,

главный научный сотрудник лаборатории Термомеханики и прочности новых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теоретической и прикладной механики Сибирского отделения РАН

<http://www.itam.nsc.ru/>

Адрес: Российская Федерация, 60090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Телефон: +7(383)3302713

Эл. почта: porov@itam.nsc.ru