

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ  
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИВМиМГ СО РАН)

Просп. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090  
Тел.: (383)330-83-53, факс (383)330-87-83, e-mail: director@ssec.ru  
ОКПО 03533843, ОГРН 1025403656420, ИНН/КПП 5408100025/540801001

31.05.22 № 15301/10-01-27

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

~~«ВНЕПРЖДАЮ»~~

РАН,  
М. П.

Л.А. /  
22 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Сивака Сергея Андреевича** «Разработка алгоритмов численного решения задач электромагнетизма с использованием скалярных и векторных граничных элементов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

#### 1. Актуальность для науки и практики

Диссертационная работа Сивака Сергея Андреевича посвящена разработке и исследованию вычислительных методов и технологий для решения актуальной проблемы учёта вихревых токов и скин-эффекта при проектировании магнитов сложной формы для ускорителей заряженных частиц.

При использовании широко известного подхода, основанного на применении метода конечных элементов, требуется дискретизация объёма расчётной области, что усложняет процесс моделирования ввиду необходимости подбора параметров сгущения сетки у границы расчётной области с целью учёта глубины скин-слоя. Подход с использованием векторных граничных элементов позволяет избежать подобных процедур, так как в этом случае используется только сетка на границе расчётной области.

Поскольку использование метода граничных элементов приводит к системе линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей, применяются оптимизационные алгоритмы, позволяющие существенно снизить асимптотическую слож-

ность решения таких систем. Автор протестировал быстрый мультипольный метод на скалярном методе граничных элементов при решении уравнения Гельмгольца, обосновав таким образом перспективу использования его и для векторного метода. Заслуживает внимание предложенный С.А. Сиваком алгоритм расчёта коэффициентов ряда мультипольного разложения с оптимизацией поворота сферической системы координат относительно произвольной оси вращения.

При проведении расчётов автор использовал совместную постановку со скалярным и векторным потенциалами, что позволило применять векторный метод граничных элементов для поиска значений векторного потенциала в проводящих расчётных подобластях, и скалярный метод граничных элементов для поиска скалярного потенциала в непроводящей неограниченной области, соответствующей воздушному пространству вокруг и внутри магнита.

Несомненным достоинством представленной работы является детальное исследование алгоритма построения локальных матриц векторного метода граничных элементов и сравнение его с ранее применявшимися подходами к получению элементов этих локальных матриц.

## **2. Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Алгоритм использования векторного метода граничных элементов для получения значений векторного потенциала, представимого в виде разложения по формуле Стрэттона-Чу, предусматривающий совместное применение как векторного, так и скалярного потенциалов.

2. Разработанные специально для векторного метода граничных элементов методы численного интегрирования функций с особенностями.

3. Алгоритм оптимизации поворотной части преобразования коэффициентов мультипольного разложения при использовании быстрого мультипольного метода.

4. Разработанный подход к учету симметрии расчетной области и источников электромагнитного поля относительно координатной плоскости в трехмерном пространстве.

5. Реализация предложенных автором методов и технологий выполненная в рамках программного комплекса Quasar.

Результаты исследований автора заключаются в оценке эффективности использования векторных граничных элементов для учёта вихревых токов и разработке технологий вычисления интегралов при формировании локальных матриц этого метода.

Практическая значимость проведенных автором исследований подтверждается актом внедрения, указывающим на полезность проведенных расчетов значения магнитной индукции для модели магнита.

## **3. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Разработанный диссертантом программно-математический аппарат может быть использован для изучения и анализа влияния вихревых токов на поведение магнитного

поля в сложных технических устройствах специалистами различных научно-исследовательских и инженерно-технических организаций, занимающихся проектированием ускорителей заряженных частиц или другими применениями электромагнитных полей.

#### 4. Общие замечания

По диссертации можно сделать следующие замечания.

1. В работе рассматриваются результаты моделирования полей для реальных магнитов, однако ничего не говорится о зависимости магнитной проницаемости от искомого решения.
2. В диссертации на стр. 86 упоминается, что формирование матрицы производилось на четырех вычислительных потоках. Но никаких сведений об эффективности распараллеливания не приводится.

#### Заключение

Диссертационная работа Сивака Сергея Андреевича «Разработка алгоритмов численного решения задач электромагнетизма с использованием скалярных и векторных граничных элементов» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

Диссертантом получены новые результаты в области математического моделирования и численных методов, которые представляют ценность для практического применения. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Работа отвечает требованиям, установленным в п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сивак Сергей Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв обсуждался в лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН 31.05.2022.

г.н.с. ИВМиМГ СОРАН

д.ф.-м.н., профессор НГУ

В.М. Свешников/

Подпись Свешникова В.М. заверяю

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН

Л.В. Вшивкова

*Отзыв поступил в колл  
14.06.2022*

*с отзывами ознакомлен  
16.06.2022 Сиву*