

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

МГУ.012.1 по диссертации на соискание учёной степени

доктора физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 25 декабря 2024 г. №29

О присуждении Цупаку Алексею Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Интегральные уравнения и численный метод решения задач дифракции на системе тел и экранов» по специальности 1.1.6 - Вычислительная математика принята к защите диссертационным советом 15 октября 2024 г., протокол №21.

Соискатель Цупак Алексей Александрович, 1978 года рождения, в 2000 году окончил Пензенский государственный университет по специальности «Прикладная математика», в 2004 году защитил диссертацию, в диссертационном совете Д 501.001.43 МГУ им. М.В. Ломоносова на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Объемные сингулярные интегральные уравнения задачи дифракции в резонаторе на локально-неоднородном теле».

С 2004 г. по настоящее время соискатель работает на кафедре математики и суперкомпьютерного моделирования факультета вычислительной техники в Пензенском государственном университете в должности доцента, имеет ученое звание доцента.

Диссертация выполнена на кафедре математики и суперкомпьютерного моделирования факультета вычислительной техники Пензенского государственного университета.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор (уч.зв.), Смирнов Юрий Геннадьевич, заведующий кафедрой математики и суперкомпьютерного моделирования факультета вычислительной техники Пензенского государственного университета.

Официальные оппоненты:

Вабищевич Петр Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры автоматизации научных исследований факультета

вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова,

Делицын Андрей Леонидович – доктор физико-математических наук, исследователь лаборатории динамики и стохастики сложных систем им. Р. Л. Добрушина Высшей школы современной математики Московского физико-технического института (Национальный исследовательский университет),

Сарафанов Олег Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики и математической физики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

Оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами по теме диссертации, компетентны в области вычислительной математики, результаты их исследований, полученные за последние годы, опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах и близки по теме исследованиям соискателя, что позволяет оппонентам дать всестороннюю глубокую оценку результатам, представленным в диссертационной работе. Все оппоненты имеют учёную степень доктора физико-математических наук.

Соискатель имеет 72 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 37 работ, из них 22 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.1.6 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

1. Дервянчук Е. Д., Смолькин Е. Ю., Цупак А. А. Метод Галеркина решения скалярной задачи рассеяния препятствием сложной формы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2014. – Т. 32, № 4. – С. 57–68. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [1.0 п.л. / 0.7 п.л.]
2. Медведик М. Ю., Смирнов Ю. Г., Цупак А. А. Скалярная задача дифракции плоской волны на системе непересекающихся экранов и неоднородных тел // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2014. – Т. 54, № 8. – С. 1319–1331. – doi: 10.1134/S09655425140800891. (WoS Q4: JIF 0.7). [1.1 п.л. / 0.7 п.л.]
3. Смирнов Ю. Г., Медведик М. Ю., Цупак А. А., Москалева М. А. Задача дифракции акустических волн на системе тел, экранов и антенн // Математическое моделирование. – 2017. – Т. 29, № 1. – С. 109–118; (импакт-фактор РИНЦ 0.426). [0.8 п.л. / 0.2 п.л.]

4. Смирнов Ю. Г., Цупак А. А. Метод интегральных уравнений в скалярной задаче дифракции на системе, состоящей из «мягкого» и «жесткого» экранов и неоднородного тела // Дифференциальные уравнения. – 2014. – Т. 50, № 9. – С. 1164–1174. – doi: 10.1134/S0012266114090031. (WoS Q2: JIF 0.8). [0.9 п.л. / 0.7 п.л.]
5. Смирнов Ю. Г., Цупак А. А. Метод интегральных уравнений в скалярной задаче дифракции на частично экранированном неоднородном теле // Дифференциальные уравнения. – 2015. – Т. 51, № 9. – С. 1234–1244. – doi:10.1134/S0012266115090128. (WoS Q2: JIF 0.8). [0.9 п.л. / 0.7 п.л.]
6. Смирнов Ю. Г., Цупак А. А. О существовании и единственности классического решения задачи дифракции электромагнитной волны на неоднородном диэлектрическом теле без потерь // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2017. – Т. 57, № 4. – С. 702–709. – doi: 10.1134/S0965542517040108. (WoS Q4: JIF 0.7). [0.7 п.л. / 0.6 п.л.]
7. Смирнов Ю. Г., Цупак А. А. О фредгольмовости уравнения электрического поля в векторной задаче дифракции на объемном частично экранированном теле // Дифференциальные уравнения. – 2016. – Т. 52, № 9. – С. 1242–1251. – doi: 10.1134/S0012266116090111. (WoS Q2: JIF 0.8). [0.9 п.л. / 0.6 п.л.]
8. Цупак А. А. О единственности решения задачи дифракции акустической волны на системе непересекающихся экранов и неоднородных тел // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2014. – № 1. – С. 30–38. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.7 п.л.]
9. Цупак А. А. О фредгольмовости интегро-дифференциального оператора в задаче дифракции электромагнитной волны на объемном теле, частично экранированном системой плоских экранов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2015. – № 4. – С. 3–11. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.7 п.л.]
10. Цупак А. А. Проекционный метод решения скалярной задачи дифракции на неплоском жестком экране // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2020. – № 2. – С. 3–12. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.8 п.л.]
11. Цупак А. А. Существование и единственность решения задачи дифракции акустической волны на объемном неоднородном теле, содержащем мягкий экран // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2015. – № 3. – С. 61–71. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.85 п.л.]

12. Цупак А. А. Существование и единственность решения скалярной задачи дифракции на объемном неоднородном теле с кусочно-гладким показателем преломления // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2018. – № 3. – С. 17–26. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.8 п.л.]
13. Цупак А. А. Численный метод и параллельный алгоритм решения задачи дифракции электромагнитной волны на неплоском идеально проводящем экране // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2020. – № 4. – С. 32–41. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.8 п.л.]
14. Цупак А. А. Сходимость метода Галеркина в задаче дифракции электромагнитной волны на системе тел и неплоских экранов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2023. – № 4. – С. 14–25. (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [0.9 п.л.]
15. Цупак А. А., Романова Н. В. Решение задачи дифракции акустической волны на системе жестких экранов методом Галеркина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2016. – № 2. – С. 54–66; (импакт-фактор РИНЦ 0.306). [1.0 п.л./0.7 п.л.]
16. Medvedik M. Yu., Smirnov Yu. G., Valovik D. V., Tsupak A. A. Vector problem of electromagnetic wave diffraction by a system of inhomogeneous volume bodies, thin screens, and wire antennas // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2016. – Vol. 30, № 8. – P. 1086–1100. – doi: 10.1080/09205071.2016.1172990. (WoS Q4: JIF 1.2). [0.9 п.л./0.3 п.л.]
17. Skvortsov O. S., Tsupak A. A. Numerical Investigation of Electromagnetic Wave Scattering from an Inhomogeneous Solid and a Curvilinear Perfectly Conducting Screen // Technical Physics. – 2023. – Vol. 68, № 8. – P. 187–198. – doi: 10.1134/S1063784223070034. (WoS Q4: JIF 1.1). [1.0 п.л./0.3 п.л.]
18. Smirnov Yu. G., Tsupak A. A. Existence and uniqueness theorems in electromagnetic diffraction on systems of lossless dielectrics and perfectly conducting screens // Applicable Analysis. – 2017. – Vol. 96, № 8. – P. 1326–1341. – doi 10.1080/09205071.2016.1172990. (WoS Q2: JIF 1.1). [1.2 п.л./0.9 п.л.]
19. Smirnov Yu. G., Tsupak A. A. Integro-differential Equations of the Vector Problem of Electromagnetic Wave Diffraction by a System of Nonintersecting Screens and Inhomogeneous Bodies // Advances in Mathematical Physics. – 2015. –

Vol. 2015, Article ID 945965, 6 pages. – doi: 10.1155/2015/945965. (WoS Q3: JIF 1.0). [0.5 п.л. / 0.4 п.л.]

20. Smirnov Yu. G., Tsupak A. A. Investigation Of Electromagnetic Wave Diffraction From An Inhomogeneous Partially Shielded Solid // *Applicable Analysis*. – 2018. – Vol. 97, № 11. – P. 1881–1895. – doi 10.1080/00036811.2017.1343467. (WoS Q3: JIF 1.1). [1.2 п.л. / 0.9 п.л.].

21. Smirnov Yu. G., Tsupak A. A., Valovik D. V. On the volume singular integro-differential equation for the electromagnetic diffraction problem // *Applicable Analysis*. – 2017. – Vol. 96, № 2. – P. 173–189. – doi 10.1080/00036811.2015.1115839. (WoS Q2: JIF 1.1). [1.3 п.л. / 0.3 п.л.]

22. Tsupak A.A. Electromagnetic Wave Scattering from Curvilinear Screens: Galerkin Method Convergence Proof // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. – 2023. – Vol. 44, No. 9. – P. 4091–4100. – doi: 10.1134/S1995080223090433. (WoS Q2: JIF 0.8). [1.15 п.л.]

Все основные результаты, приведенные в вышеуказанных статьях и использованные в диссертации, получены автором лично. В публикации [1] автором разработан и программно реализован метод Галеркина для решения скалярной задачи дифракции на системе непересекающихся тел и экранов, в том числе определены сетки и базисные функции на неплоских экранах. В публикации [2] автор провел полное теоретическое исследование скалярной задачи дифракции на системе непересекающихся тел и экранов: выполнена конкретная строгая математическая постановка задачи, доказаны существование и единственность решения задачи дифракции; теоретически обоснован метод Галеркина для решения системы интегро-дифференциальных уравнений задачи дифракции. В работе [3] автором выполнена строгая математическая постановка скалярной задачи дифракции на системе непересекающихся препятствий различной размерности; исходная краевая задача сведена к системе интегро-дифференциальных уравнений. В публикации [4] автором исследована скалярная задача дифракции на системе непересекающихся тел и плоских экранов двух типов: сформулирована краевая задача дифракции и доказана единственность ее решения, выведена и исследована система интегро-дифференциальных уравнений; проведено теоретическое обоснование проекционного метода решения системы интегро-дифференциальных уравнений, включая определение конкретных базисных функций и доказательство сходимости метода Галеркина. В работе [5] исследована скалярная задача дифракции на частично экранированном неоднородном теле: выполнена строгая математическая постановка задачи, доказаны существование и единственность

решения задачи дифракции; получены важные результаты исследования системы интегро-дифференциальных уравнений, необходимые для обоснования численного метода в рассматриваемой задаче. В [6] получены результаты о разрешимости векторной задачи дифракции на неоднородном диэлектрике без потерь. В публикации [7] автор исследовал систему интегро-дифференциальных уравнений векторной задачи дифракции на частично экранированном диэлектрике; доказаны коэрцитивность квадратичной формы оператора задачи и, как следствие, его фредгольмовость. В работе [15] автором разработан и программно реализован метод Галеркина для решения задачи дифракции на жестких экранах сложной формы; проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие сходимость метода. В [16] автор выполнил формулировку проекционного метода для решения выведенной системы интегро-дифференциальных уравнений, возникающей в задаче дифракции электромагнитной волны на системе рассеивателей, состоящей из неоднородного тела, идеально проводящего экрана и проволочной антенны; получил формулы для элементов матрицы СЛАУ в методе Галеркина, имеющей блочное представление. В [17] автором разработан проекционный метод для решения системы интегро-дифференциальных уравнений задачи дифракции электромагнитной волны на системе объемных тел и неплоских экранов: определены расчетные сетки, введены финитные базисные вектор-функции, получены расчетные формулы для матричных элементов в методе Галеркина. В [18] автором проведено теоретическое исследование задачи дифракции электромагнитной волны на системе непересекающихся диэлектрических тел и идеально проводящих экранов: сформулирована краевая задача дифракции, доказана единственность ее решения; выведена система интегро-дифференциальных уравнений; доказаны фредгольмовость и непрерывная обратимость оператора системы интегро-дифференциальных уравнений в пространствах Соболева. Полученные теоретические результаты позволяют сделать вывод о сходимости метода Галеркина в случае поглощающего свободного пространства. В [19] автором исследована задача дифракции электромагнитной волны на системе непересекающихся тел и экранов: сформулирована краевая задача дифракции, доказана единственность ее решения; доказаны фредгольмовость оператора системы интегро-дифференциальных уравнений в пространствах Соболева. В [20] автор исследовал задачу дифракции электромагнитной волны на частично экранированном диэлектрическом: доказана единственность решения краевой задачи дифракции; установлены фредгольмовость и непрерывная обратимость оператора системы интегро-

дифференциальных уравнений в пространствах Соболева. Доказана сходимость метода Галеркина в случае поглощающего свободного пространства. В [21] автором доказана единственность решения краевой для системы уравнений Максвелла в задаче дифракции электромагнитной волны на неоднородном диэлектрике.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступало.

Диссертационный совет отмечает, что представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработан и теоретически обоснован численный метод для решения скалярных и векторных задач дифракции на частично экранированных неоднородных телах, а также системах тел и экранов. Полученные в диссертации теоретические результаты могут быть использованы для создания эффективных вычислительных алгоритмов и программных комплексов для решения задач, возникающих в радиолокации, при создании сложных СВЧ-устройств, а также при исследовании обратных задач дифракции на препятствиях сложной структуры.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Постановка скалярных и векторных краевых задач дифракции для системы уравнений Максвелла или уравнения Гельмгольца; системы интегро-дифференциальных уравнений задач дифракции на частично экранированных телах, а также на системах тел и экранов; теоремы о существовании и единственности решений задач дифракции; теоремы о фредгольмовости и непрерывной обратимости матричных интегро-дифференциальных операторов в пространствах Соболева.
2. Теоремы о сходимости метода Галеркина (в векторных задачах – для случая поглощающей внешней среды), включая квазиоптимальную оценку скорости сходимости.
3. Метод Галеркина для решения интегро-дифференциальных уравнений задач дифракции на частично экранированных телах, не требующий согласованности расчетных сеток на объемном рассеивателе и его границе.

На заседании 25 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Цупаку А.А. учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.1.6, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 22 , против - 0 , недействительных голосов - 0 .

Председатель диссертационного совета,
академик РАН

Тыртышников Е.Е.

Учёный секретарь диссертационного совета,
член-корреспондент РАН

Ильин А.В.

Декан факультета ВМК

Соколов И.А.

«25» декабря 2024 г.