

УТВЕРЖДАЮ

**заместитель директора филиала
по научной работе**

(должность)

Трейер Александр Викторович

(фамилия, имя, отчество)

" 23 " 2022 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Омского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения
Российской академии наук**

Диссертация «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона» выполнена в Омском филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ОФ ИМ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Тюнин Николай Николаевич работал в ОФ ИМ СО РАН в должности инженера-исследователя с 02.11.2017 по 31.08.2021 и здесь же обучался в очной аспирантуре с 01.09.2017 по 31.08.2021.

В 2017 г. окончил Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского по специальности 01.04.02 – Прикладная математика и информатика. Документы о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2021 г. ОФ ИМ СО РАН (экзамены по специальности, по иностранному языку, по истории и философии науки).

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, доцент Еремеев Антон Валентинович, директор филиала и главный научный сотрудник ОФ ИМ СО РАН.

Выписка из протокола № 2
семинара «Математическое моделирование и дискретная оптимизация»
лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН от 20.09.2022 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

- ведущий научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН Забудский Геннадий Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор (председатель семинара);
- ведущий научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН, профессор кафедры фундаментальной и прикладной математики ФГАОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского», Ильев Виктор Петрович, д.ф.-м.н., профессор;
- старший научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН Сервах Владимир Вицентьевич, д.ф.-м.н., с.н.с.;
- директор филиала, главный научный сотрудник ОФ ИМ СО РАН Еремеев Антон Валентинович, д.ф.-м.н., доцент;
- старший научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН Заозерская Лидия Анатольевна, к.ф.-м.н., доцент;
- старший научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН Леванова Татьяна Валентиновна, к.ф.-м.н., доцент;
- старший научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН Борисовский Павел Александрович, к.ф.-м.н.;
- старший научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации ОФ ИМ СО РАН Захарова Юлия Викторовна, к.ф.-м.н.;
- старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования в механике ОФ ИМ СО РАН Тиховская Светлана Валерьевна, к.ф.-м.н.

Приглашен:

- старший научный сотрудник Акционерного общества «Омский научно-исследовательский институт приборостроения» Юрков Александр Сергеевич, к.ф.-м.н.

Вопросы:

1. Забудский Геннадий Григорьевич, д.ф.-м.н., в.н.с.: *Как на практике могут быть использованы результаты Вашей диссертации? Использовалась ли теория групп в Вашей работе?*
2. Ильев Виктор Петрович, д.ф.-м.н., профессор: *Каким образом использование высокосимметричных решеток позволяет упростить постановку задачи?*
3. Борисовский Павел Александрович, к.ф.-м.н.: *какие полезные выводы удалось получить из проведенного Вами исследования симметрий?*
4. Захарова Юлия Викторовна, к.ф.-м.н.: *В чем новизна предложенной Вами процедуры адаптации штрафа?*

На все вопросы докладчиком были даны исчерпывающие ответы.

С положительной оценкой диссертационной работы выступили:

- д.ф.-м.н., с.н.с. Сервах Владимир Вицентьевич,
- д.ф.-м.н., доцент Еремеев Антон Валентинович,
- к.ф.-м.н., доцент Леванова Татьяна Валентиновна,
- к.ф.-м.н. Юрков Александр Сергеевич,

которые отметили актуальность темы и охарактеризовали результаты, полученные Тюниным Н.Н. в представленной работе, как отвечающие требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

По результатам рассмотрения диссертации «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона» принято следующее **закключение:**

1. Основные результаты, выносимые на защиту, состоят в следующем:

- 1). Для большинства рассмотренных конфигураций антенных решеток задача имеет несколько кластеров из локальных оптимумов с одинаковым значением целевой функции, не эквивалентных относительно равного сдвига фаз во всех излучателях.
- 2). Группа непрерывных симметрий рассматриваемой задачи одномерна и ее элементы соответствуют сдвигу фаз во всех излучателях на равную величину, что позволяет снизить размерность задачи на одну переменную и сократить время счета.
- 3). Использование метода дифференциальной эволюции в комбинации с градиентным подъемом позволяет достичь конкурентоспособных решений по сравнению с коммерческим решателем BARON в задаче оптимизации фаз и амплитуд фазированной антенной решетки, особенно на задачах большой размерности.
- 4). Имеется интервал параметров кольцевых антенных решеток, в котором учет взаимного влияния излучателей ведет к существенному увеличению коэффициента усиления в заданном направлении.
- 5). Коэффициент усиления, соответствующий решению задачи оптимизации направленности фазированной антенной решетки, может быть существенно больше по сравнению с коэффициентом усиления, получаемым стандартным методом фазирования без учета взаимного влияния (имеются случаи, когда отличие составляет 5 дБ).

2. Результаты диссертации являются новыми, принадлежат автору и приведены в виде описаний алгоритмов, математических моделей и результатов численных экспериментов. Диссертация прошла апробацию на международных и всероссийских конференциях, на семинарах ряда научных учреждений.

3. Материалы диссертации полно представлены в опубликованных работах в рецензируемых научных журналах и изданиях, четыре из которых рекомендованы ВАК:

- 1) **Eremeev A. V., Tyunin N. N., Yurkov A. S.** Non-Convex Quadratic Programming Problems in Short Wave Antenna Array Optimization // Khachay, M., Kochetov, Y., Pardalos, P. (eds) Mathematical Optimization Theory and Operations Research. MOTOR 2019. Lecture Notes in Computer Science. — 2019. — V. 11548. — P. 34–45.
- 2) **Tyunin N. N.** On mutual influence of emitters in directivity optimization of shortwave phased antenna arrays // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — V. 1901, No. 012053. — P. 1–8.
- 3) **Еремеев А. В., Тюнин Н. Н.** Алгоритм дифференциальной эволюции для оптимизации направленности фазированных антенных решеток // Математические структуры и моделирование. — 2022. — Вып. 62, № 3 — С. 23–34.
- 4) **Тюнин Н. Н.** Задачи невыпуклого квадратичного программирования, связанные с оптимизацией фазированных антенных решеток // Дискретный анализ и исследование операций. — 2021. — Т. 28, № 3. — С. 20–44.
- 5) **Еремеев, А. В., Тюнин, Н. Н., Юрков, А. С.** Об оптимизации направленности коротковолновых фазированных антенных решеток кольцевой структуры // Научно-технический сборник «Техника радиосвязи», АО ОНИИП. — 2022. — № 3. — С. 41–52.
- 6) Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Комплекс моделирования и решения задач оптимизации направленности ФАР КВ диапазона «Ехрі» / **Н. Н. Тюнин.** — № 2022666016 ; заявл. 05.07.2022 ; опубл. 24.08.2022, 2022662647 (Рос. Федерация).

4. Теоретическое значение работы состоит в следующем:

- Осуществленный в работе переход от задачи оптимизации направленности ФАР в комплексных числах к задаче математического программирования позволил переформулировать в терминах математического программирования известные физические

свойства задачи, в частности, инвариантность относительно сдвига фаз и закон сохранения энергии. Благодаря такому переносу, представленные в диссертации примеры симметрий были теоретически обобщены на более широкий класс задач квадратичного программирования с использованием теории групп Ли.

- Предложенная процедура возврата в допустимую область с помощью масштабирования вектора решения, а также построенная верхняя оценка эвклидовой нормы допустимых решений, могут быть использованы при разработке новых методов решения задач, аналогичных рассмотренной в работе.
- Результаты диссертации используются в учебном процессе в ФГАОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского» в составе лекционного курса «Эволюционные алгоритмы».

5. Практическая значимость:

Разработанные алгоритмы оптимизации возбуждения ФАР могут применяться в системах связи коротковолнового диапазона для увеличения дальности радиосвязи. Созданное программное обеспечение позволяет производить необходимые для этого расчеты. Полученное обоснование необходимости учета взаимного влияния излучателей при оптимизации направленности ФАР, а также, результаты вычислительных экспериментов для различных вариантов ФАР могут быть полезны при проектировании новых антенных систем. Практическая значимость результатов исследования при выполнении работ по антенной тематике подтверждена в АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения».

6. Диссертация «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона» является

научно-квалификационной работой в области системного анализа и математической оптимизации. Она удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

7. Диссертация Тюнина Николая Николаевича «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

В голосовании приняли участие 9 человек. Результаты голосования: за – 9 чел., против — 0 чел., воздержалось — 0 чел.

Забудский Геннадий Григорьевич
д.ф.-м.н., профессор, в.н.с. лаб. дискретной оптимизации
Омского филиала
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института математики им. С.Л. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук


(подпись)