

## ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертации **Тюнина Николая Николаевича** «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Диссертационная работа Н.Н. Тюнина посвящена созданию алгоритмов оптимизации направленности излучения фазированных антенных решеток (ФАР) и исследованию области применимости различных методов решения этой задачи. Разработка алгоритмов решения задач оптимизации направленности излучения ФАР имеет значительное практическое значение и представляет теоретический интерес. Как показано в диссертации, рассматриваемые здесь задачи зачастую имеют многочисленные локальные оптимумы и представляют значительную сложность для известных коммерческих оптимизационных пакетов. В связи с этим, требуется углубленный подход к исследованию свойств этих задач и разработке методов их решения.

Основные результаты диссертации можно разбить на четыре группы в соответствии с главами диссертации.

**В первой главе** приводится обзор литературы и постановка задачи в виде задачи математического программирования и производится сравнение результатов работы различных методов решения поставленной задачи. В рассматриваемой задаче требуется максимизировать излучение антенной решетки в заданном направлении при ограничениях на мощность, подводимую к каждому излучателю. От задачи условной оптимизации сделан переход к задаче безусловной оптимизации методом штрафных функций и получена оценка сверху на расстояние всех допустимых решений от начала координат.

**Во второй главе** проводится исследование структуры множества локальных оптимумов и исследуется структура группы непрерывных линейных симметрий задачи. Вычислительный эксперимент был поставлен для задач, построенных на основе ФАР из широкополосных вертикальных излучателей, широкополосных вертикальных диполей и симметричных вертикальных диполей. Рассмотрены квадратные ФАР из 4, 9 и 25 элементов, а также ФАР кольцевой структуры, состоящие из 8 и 16 излучателей.

Для оценки общего числа локальных оптимумов использовался метод переписи Шнабеля, основанный на статистике по результатам мултистарта градиентного алгоритма. Установлено, что для большинства рассмотренных конфигураций ФАР задача имеет несколько кластеров из локальных



оптимумов с одинаковым значением целевой функции, не эквивалентных относительно равного сдвига фаз во всех излучателях.

Предложенная ранее процедура нахождения непрерывных групп линейных симметрий применена автором к рассматриваемым примерам. Для всех из них было выявлено только наличие фазовой симметрии.

**В третьей главе** производится исследование возможности решения поставленной задачи методом дифференциальной эволюции, который хорошо зарекомендовал себя ранее на различных задачах непрерывной оптимизации. В данной работе предложен гибридный алгоритм, являющийся модификацией алгоритма дифференциальной эволюции, в которой к особи с лучшим значением целевой функции в некоторых случаях применяется градиентный алгоритм. Кроме того, в гибридном алгоритме применяется процедура адаптации штрафа, в которой учитывается возврат в допустимую область посредством масштабирования решения. Как показал вычислительный эксперимент, гибридный вариант дифференциальной эволюции показывает конкурентоспособные результаты в сравнении с коммерческим решателем BARON, а предложенная процедура адаптации штрафа приводит к сокращению погрешности получаемых решений.

**В четвертой главе** проводится исследование возможности оптимизации возбуждения ФАР в различных условиях. Установлено, что имеется интервал параметров кольцевых ФАР, в котором учет взаимного влияния излучателей ведет к существенному увеличению коэффициента усиления в заданном направлении. Коэффициент усиления, соответствующий решению задачи оптимизации направленности ФАР, может быть существенно больше по сравнению с коэффициентом усиления, получаемым стандартным методом фазирования без учета взаимного влияния (имеются случаи, когда отличие составляет 5 дБ).

**В целом**, полученные результаты имеют как прикладное, так и теоретическое значение. В частности, разработанные алгоритмы оптимизации возбуждения ФАР могут применяться в системах связи коротковолнового диапазона для увеличения дальности радиосвязи. Создание таких алгоритмов и программ, конкурентоспособных в сравнении с известными коммерческими решателями, приобретает особую актуальность в рамках импортозамещения.

Диссертация Н.Н. Тюнина является законченной научно-квалификационной работой. Полученные в ней результаты являются новыми и строго обоснованы. Все основные результаты диссертации получены Н.Н. Тюниным самостоятельно, отражены в 5 научных статьях и прошли необходимую апробацию на научных семинарах и конференциях.

Считаю, что диссертационная работа Н.Н. Тюнина «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток

коротковолнового диапазона» соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки), а ее автор, Тюнин Николай Николаевич, заслуживает присуждения ему искомой степени.

### Научный руководитель

директор филиала,  
главный научный сотрудник,  
Омский филиал  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института математики им. С.Л. Соболева  
Сибирского отделения  
Российской академии наук  
доктор физ.-мат. наук

А.В. Еремеев

тел. +7 (3812) 236739  
email: [eremeev@ofim.oscsbras.ru](mailto:eremeev@ofim.oscsbras.ru)

Подпись Антона Валентиновича Еремеева  
удостоверяю 22.09.2022.

Ученый секретарь филиала,  
Омский филиал  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Института математики им. С.Л. Соболева  
Сибирского отделения  
Российской академии наук  
кандидат физ.-мат. наук



С.В. Тиховская