

ОТЗЫВ

официального оппонента

Груздовой Татьяны Владимировны

на диссертационную работу 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

В настоящее время разработка эффективных систем радиосвязи коротковолнового (КВ) диапазона имеет большое значение для народного хозяйства, в особенности в условиях Крайнего Севера, где надежная радиосвязь для служб быстрого реагирования и судов на Северном морском пути нередко является залогом сохранения жизни и здоровья людей. Одной из актуальных задач в этой области является задача оптимизации направленности фазированных антенных решеток (ФАР), представляющих собой антенные системы, распределение фаз и амплитуд на элементах которых позволяет получать направленное излучение.

При ограничении суммарной мощности, подаваемой на антенную систему, задача выбора фаз и амплитуд на излучателях может быть решена аналитически. Однако при наличии ограничений на мощность по каждому входу антенной системы возникает необходимость поиска оптимальных решений в очень сложных с вычислительной точки зрения задачах математической оптимизации: невыпуклых задачах квадратичного программирования с квадратичными ограничениями.

Таким образом, исследование возможностей оптимизации направленного излучения ФАР КВ диапазона при ограничениях на мощность по каждому входу является **актуальной научно-технической задачей**, решение которой позволит достичь увеличения дальности радиосвязи, уменьшения затрат ресурсов и повысить скорость передачи информации.

В диссертационной работе Н.Н. Тюнина исследована, апробирована и подтверждена вычислительными экспериментами возможность применения математических методов к поиску решений в сложной прикладной задаче оптимизации направленного излучения в антенных системах специального вида (ФАР КВ диапазона).

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и трех приложений. Объем работы составляет 102 страницы. Список литературы содержит 66 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится краткий обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, приводится структура и подробно описывается ее содержание.

Первая глава посвящена описанию методологии сведения задачи оптимизации направленности ФАР к задаче математического программирования и исследованию свойств решений полученной задачи. Приводятся постановки задачи в комплексных и действительных числах, производится оценка допустимых решений задачи по норме, описывается процедура выбора начального решения. Сделан также небольшой обзор литературы по методам решения невыпуклых задач, позволивший автору сделать выбор в пользу градиентного метода.

Вторая глава диссертации посвящена описанию вычислительного эксперимента по решению оптимизационной задачи градиентным методом, исследованию структуры множества локальных оптимумов задачи и анализу непрерывных групп ее линейных симметрий. Приводится способ генерации тестовых примеров (моделирования ФАР), который использован в разработанном автором программном комплексе Expi, редукция исходной задачи к оштрафованной (к задаче без ограничений) и экспериментальное сравнение решения задачи градиентным методом и широко известным коммерческим решателем BARON. При этом удалось оценить количество локальных решений рассматриваемых задач и области их расположения, что представляет определенный интерес для специалистов в области математической оптимизации.

В завершающем главу пункте проведен анализ симметрий задачи. Описана процедура нахождения непрерывных групп симметрий и результаты ее применения в тестовых задачах. Установлено, что непрерывная подгруппа симметрий рассматриваемой задачи одномерна и ее элементы соответствуют сдвигу фаз во всех излучателях на равную величину, что позволяет снизить размерность задачи на одну переменную (например, фиксацией ее в ноль) и сократить время счета. Этот факт получил подтверждение в ходе вычислительного эксперимента с решателем BARON.

В третьей главе производится исследование возможности решения поставленной задачи методами дифференциальной эволюции (ДЭ). Разработана модификация алгоритма ДЭ (гибридный алгоритм), в котором при обнаружении «стагнации» эволюционного процесса стартует градиентный метод с точки («особи популяции»), доставляющей лучшее значение целевой функции. Кроме того, в гибридном алгоритме применяется процедура адаптации штрафа, в которой учитывается возврат в допустимую область посредством масштабирования решения. Как показал вычислительный эксперимент, предложенная процедура адаптации штрафа приводит к сокращению погрешности получаемых решений.

Четвертая глава посвящена исследованию возможности оптимизации возбуждения ФАР в различных условиях. Вычислительный эксперимент показал, что имеется интервал параметров кольцевых ФАР, в котором учет взаимного влияния излучателей ведет к существенному увеличению коэффициента усиления в заданном направлении, что наглядно проиллюстрировано с помощью диаграмм. При этом коэффициент усиления,

соответствующий решению задачи оптимизации, может до 5 дБ превышать коэффициент усиления, полученный стандартным методом фазирования без учета взаимного влияния антенн в решетке.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложениях представлены алгоритмы одномерного поиска (поиска направления оптимизации в градиентном алгоритме), градиентного подъема, исследования расположения локальных оптимумов, графический интерфейс и языковые конструкции разработанного комплекса программ моделирования и решения задач оптимизации направленности ФАР КВ диапазона «Ехrі», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также акты внедрения результатов исследования.

Автор диссертационной работы корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, полученных в диссертации, подтверждается точной формулировкой задач и критериев, достаточным количеством вычислительных экспериментов и исследованиями адекватности модели с точки зрения физических принципов. Методика проведения экспериментов подробно описана, что позволяет воспроизвести полученные результаты. Основные положения и результаты диссертационной работы апробированы на конференциях и опубликованы в 8 работах (из них 4 работы в ведущих рецензируемых журналах, рекомендуемых действующим перечнем ВАК, 3 – в тезисах докладов конференций). Предложенный автором алгоритм используется в учебном процессе в ФГАОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского» в лекционном курсе «Эволюционные алгоритмы».

Оценка новизны и достоверности результатов работы:

1) предложенный гибридный алгоритм дифференциальной эволюции, отличается от известных ранее комбинаций ДЭ с градиентными методами наличием процедуры адаптации штрафа, в которой учитывается возврат в допустимую область посредством масштабирования решения, что приводит к сокращению погрешности получаемых решений;

2) ранее при решении задач оптимизации направленности ФАР, как правило, не использовалась инвариантность основных свойств решений относительно равного сдвига фаз во всех излучателях. Однако, как показано в настоящей работе, учет такой инвариантности позволяет снизить размерность задачи и сократить среднее время счета решателя, основанного на методе ветвей и границ и локальном спуске;

3) впервые для задачи оптимизации направленности ФАР показано наличие кластеров из локальных оптимумов с одинаковым значением целевой функции и не эквивалентных относительно равного сдвига фаз во всех излучателях;

4) впервые обоснована и подтверждена экспериментально целесообразность учета взаимного влияния излучателей при оптимизации направленности ФАР КВ диапазона.

Тюниным Н.Н. проведен значительный объем научной и исследовательской работы. Результаты получены лично автором и полностью опубликованы в рецензируемых научных изданиях, прошли апробацию на конференциях различного уровня.

Научная значимость диссертационного исследования состоит в том, что 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. Предложенная процедура возврата в допустимую область с помощью масштабирования вектора решения, а также построенная верхняя оценка евклидовой нормы допустимых решений могут быть использованы при разработке новых методов решения задач, аналогичных рассмотренной в работе.

Содержание диссертационной работы и полученные результаты соответствуют п. 2 и п. 4 паспорта специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

По работе возникли следующие замечания:

1) Во введении актуальность рассматриваемой прикладной задачи обосновывается недостаточно полно и выпукло, а обзору научной литературы по изучаемой проблеме посвящен всего один абзац с очень малым количеством ссылок на современные методы решения оптимизационных задач. Эти важные разделы во введении диссертационной работы освещены так же кратко, как в автореферате. И напротив, содержание работы по главам описывается слишком подробно (с основными формулами, таблицами, выводами, как в автореферате), в то время как достаточно было бы анонсировать темы исследований и экспериментов в той или иной главе.

2) При осмыслении заявленного основного результата 4 интуитивно понятно, что означает фраза «усиление ФАР существенно превосходит усиление одиночного излучателя», однако, на мой взгляд, требуется более корректная, четкая формулировка этого результата. Кроме того, результаты 4 и 5 можно было объединить, поскольку они оба касаются исследования влияния расположения излучателей ФАР.

3) Не обоснован выбор вида штрафной функции в постановках (8) (или (2.1)) при переходе от задачи с ограничениями к задаче безусловной оптимизации (к оштрафованной задаче). Наличие в штрафной функции слагаемого четвертой степени не позволяет достаточно точно оценить нарушение ограничений исходной задачи в интервале $(-1;0)$.

4) Выбор в качестве метода одномерного поиска алгоритма Дэвиса, Свенна и Кэмпи (ДСК) в градиентном методе также не обоснован. Например,

комбинация алгоритмов ДСК и Пауэлла могла оказаться более эффективной по сравнению с каждым из этих алгоритмов в отдельности. При этом автор ссылается на публикации семидесятых годов прошлого века. Возможно, применение более современных градиентных методов, предложенных Ю. Е. Нестеровым, А. В. Гасниковым и др., повлияло бы на результаты вычислительных экспериментов, позволив увеличить точность полученных решений и сократить время счета.

5) Результаты вычислительного эксперимента, проведенного в работе, представлены недостаточно аккуратно в таблицах. Заявлено, что минимально допустимое приращение целевой функции в градиентном методе было выбрано равным 10^{-4} . Тогда и значения целевой функции в таблицах естественно приводить с точностью хотя бы до трех знаков после запятой (см. Табл. 4, 7). Не указано время работы алгоритмов градиентного и ДЭ в Табл. 7.

6) Наконец, следует отметить, что текст работы написан небрежно, имеются опечатки, некоторые рисунки и формулы повторяются. Например, Табл. 1 (с. 14) и Табл. 4 (с. 36), Табл. 2 (с. 15) и Табл. 5 (с. 38) совпадают, а Табл. 3 (с. 19) является частью Табл. 7 (с. 60). То же самое касается и рисунков 1 (с. 13) и 1.1 (с. 24), 2 (с. 16) и 2.2 (с. 39), 3 (с. 20) и 4.6 (с. 66), 4 (с. 21) и 4.12 (с. 73). Формулы (1)-(5) идентичны формулам (1.4), (1.5), (1.9), (1.10), (1.13), и т.д. Формула для масштабирования решений встречается в тексте диссертации целых 3 раза: (6), (1.15), (3.4), а ссылка из всех глав делается только на формулу (3.4), что затрудняет чтение. Во введении указано, что диссертация содержит два приложения, в то время как удалось обнаружить три приложения. Кроме того, в середине текста введения можно прочесть, что «во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме...» и т.д. На с. 8 при перечислении положений, выносимых на защиту, появляется неизвестная аббревиатура «ДЭ», далее встречается на с. 14 и наконец, на с. 18 можно найти расшифровку: ДЭ – это дифференциальная эволюция.

Вышеперечисленные замечания не меняют общего положительного впечатления от диссертационного исследования.

Считаю, что диссертация базируется на достаточном объеме исходных данных, примеров и расчетов. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Диссертация «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона» является завершенной научно-квалифицированной работой, выполненным Н. Н. Тюниным по актуальному направлению самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне.

Автореферат полно и правильно отражает основное содержание диссертации.

Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Тюнин Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

**Официальный
оппонент**

Груздева Татьяна Владимировна



ВЕРНО.
ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ
ПО КАДРАМ ИДСТУ СО РАН
А. Л. СКИТОВИЧ

Груздева Татьяна Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории 6.1. Невыпуклой оптимизации, кандидат физико-математических наук, доцент.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН.

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134,

тел. +7(3952)453082,

e-mail: gruzdeva@icc.ru.