



**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор по науке

ООО «Концерн радиостроения «Вега»

д.в.н. профессор

А.Т. Силкин

10 » октября 2014 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Скобелева Сергея Петровича «Фазированные антенные решётки с секторными парциальными диаграммами направленности», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Выбор расстояний между антенными элементами и, следовательно, общее их число в сканирующих антенных решётках (пассивных и активных ФАР) определяется из условий отсутствия побочных интерференционных максимумов в требуемом телесном угле сканирования луча ДН и обеспечения заданных величин коэффициента усиления и уровня боковых лепестков.

Сравнительно высокая стоимость управляющих элементов в сканирующих антеннах стимулирует поиски схем и конструкций, способствующих минимизации числа этих элементов в зависимости от предъявляемых требований к характеристикам излучения этих антенн в секторе сканирования.

Для малого (в масштабе области видимости) сектора углов в многоэлементных регулярных линейных и плоских антенных решётках с излучателями одинакового типа, допускающих представление ДН в виде произведения парциальной диаграммы антенного элемента (в составе решётки)  $ДН_n(\varphi, \theta)$  и множителя решётки, подавление побочных интерференционных максимумов и, тем самым, увеличение расстояния между излучателями возможно путём формирования достаточно узких (секторных) парциальных ДН. Формирование таких узких (или со сложным контуром) парциальных ДН является не простой задачей и, в общем случае, требует использования всех антенных элементов решётки или их перекрывающихся подрешёток. Поскольку решение этой задачи во многих приложениях приводит к ощутимой экономической выгоде, то тема диссертационной работы С.П. Скобелева, посвященная исследованию различных вариантов построения секторных диаграмм ФАР, является актуальной.

В работе основное внимание уделено векторной комплексной ДН элемента в составе решётки, схемным методам формирования перекрывающихся подрешёток с секторными ДН, а также исследованию двумерных моделей решёток, элементы которых представляют собой связанные двухмодовые волноводы, волноводы с реактивными нагрузками в виде короткозамыкателей, образующих модулированные ребристые структуры волноводов с выступающими диэлектрическими элементами, волноводов с ребристыми стержнями или их аналогами (ленточные структуры в двумерном случае, а также дисковые структуры и директорные элементы из отрезков цилиндрических проводников в трёхмерном случае).

**Научная новизна** проведенного в диссертационной работе исследования состоит в следующем:

1) Показано, что если идеальная секторная (контурная) ДН элемента решётки целиком располагается в области видимости, то ДН различных элементов ортогональны между собой. Предложена методика определения размеров и формы плоского раскрыва с регулярным расположением элементов в узлах декартовой сетки, обеспечивающих формирование ортогональных ДН.

2) Исследована новая (названная автором «шахматной») многокаскадная схема формирования перекрывающихся подрешёток с секторными ДН, более широкополосная и допускающая более простую реализацию по сравнению с известными аналогами.

3) Предложены новые способы формирования секторных ДН элементов на основе двухмодовых волноводов с простыми щелевыми связями, на основе пассивных реактивно нагруженных излучателей в виде ребристых структур, в виде ребристых стержневых элементов. Разработаны математические модели таких решёток, с помощью которых получены новые результаты по формированию секторных ДН.

4) Разработаны новые эффективные гибридные проекционные методы численного анализа решёток волноводов с выступающими диэлектрическими элементами и получены новые результаты по формированию секторных и контурных ДН элементов.

5) Разработана математическая модель вибраторных решёток с директорными элементами и на её основе получены новые результаты в части возможности формирования секторных ДН в одной плоскости.

Наиболее **интересными результатами** проведенного исследования, на наш взгляд, являются:

- определение условий реализации произвольной (в том числе – многосвязной) формы контура области сканирования секторной ДН;
- реализованный на основе схемного метода макет двумерной антенной решётки с излучателями в виде одномодовых прямоугольных волноводов;
- обоснование, на основе развитых моделей решёток с элементами из связанных двухмодовых волноводов и волноводов с выступающими диэлектрическими элементами, геометрии структур более общего, чем исследованный ранее, вида, а также экспериментальное подтверждение эффективности предложенных методов расчёта;
- реализованный вариант антенной решётки X-диапазона частот с секторными ДН элементов в виде волноводов с короткозамыкателями.

**Практическая значимость** полученных результатов состоит в том, что они позволяют проектировать фазированные антенные решётки с различными типами излучающих элементов и близким к минимально возможному числу дорогостоящих управляемых элементов при заданной величине коэффициента усиления в требуемой области сканирования. Разработанные алгоритмы и соответствующее программное обеспечение позволяют проводить эффективное проектирование ФАР исследованных типов.

Важно, что результаты диссертационной работы использованы в проводимых в ОАО «Радиофизика» госбюджетных НИР «Багор», «Лама», «Моренос», а также в коммерческих НИР и ОКР, проводимых ЗАО «Апекс».

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов и выводов определяются строгой электродинамической постановкой решаемых граничных задач, сходимостью полученных разработанными методами численных результатов и совпадением их в ряде частных случаев с опубликованными результатами других авторов, а также с экспериментальными результатами, полученными на макетных образцах.

**Апробация результатов исследования.** Основные выносимые на защиту положения и выводы диссертационной работы изложены в 88 публикациях: 29 статьях в отечественных журналах (из которых 27 - в изданиях из Перечня ВАК), 7 авторских свидетельствах на изобретение, 12 статьях в международных журналах, 13 статьях и тезисах в трудах отечественных научно-технических конференций и симпозиумов, 25 статьях в трудах международных конференций и симпозиумов и 2-х монографиях (на русском и английском языках).

**Личный вклад автора диссертации.** В упомянутом числе публикаций соискателя ему лично принадлежат 39 работ, из которых 22 – статьи в журналах, 14 – статьи в трудах конференций и симпозиумов, 2 – монографии и 1 – авторское свидетельство на изобретение.

К недостатку автореферата можно отнести следующее:

1. Приведенные результаты расчёта ДН антенных решёток разных типов отражают изменения диаграмм при вариации частоты, но отсутствуют данные о вариациях их формы при сканировании. При этом для создания секторных ДН принципиально используются эффекты взаимной связи между излучателями АР, влияющие, как известно, на входной импеданс и ДН. Поэтому такие изменения ДН антенных решёток, даже при оговариваемой автором малой величине сектора сканирования, представляются заслуживающими анализа.

2. Отсутствуют пояснения о реализации желаемой формы контура области сканирования, которая (как указано на стр. 11) может быть произвольной.

3. Полученные результаты, основанные на предположении о равенстве ДН решётки произведению парциальной ДН элемента (в составе антенной решётки) и множителя решётки, применимы лишь к решёткам с достаточно большим числом элементов при узкополосных сигналах.

В целом же, насколько можно судить по автореферату, данная диссертация представляет законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую требованиям ВАК к докторским диссертациям, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические

положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в развитии теории и техники фазированных антенных решёток.

На основании вышесказанного считаем, что автор диссертационной работы Скобелев Сергей Петрович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Начальник отдела  
ОАО «Концерн радиостроения «Вега»,  
д.т.н., профессор

 А.П. Курочкин

Место работы: ОАО «Концерн радиостроения «Вега»,  
121170, Москва, Кутузовский проспект, 34.  
Служебный телефон: 8 (499) 249-43-08.  
Электронный адрес: mail@vega.su

Ведущий научный сотрудник  
ОАО «Концерн радиостроения «Вега»,  
к.ф.-м.н., с.н.с.

 В.Ф. Лось

Место работы: ОАО «Концерн радиостроения «Вега»,  
121170, Москва, Кутузовский проспект, 34.  
Служебный телефон: 8 (499) 249-43-03.  
Электронный адрес: mail@vega.su