

## О Т З Ы В

официального оппонента, кандидата физико-математических наук Лося Валериана Федоровича, на диссертацию Ле Нху Тхай «Сверхдиапазонные фазированные антенные решётки», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Для реализации радиотехническими системами permanently возрастающих требований в отношении повышения скорости, помехозащищённости и скрытности передачи информации в радиосвязи, увеличения разрешающей способности и обеспечения возможности идентификации целей, наблюдения их под покровом растительности или в подповерхностных слоях в радиолокации, потребовался переход к использованию в этих системах сверхширокополосных (СШП) сигналов, что повлекло за собой во многих случаях необходимость в кардинальном пересмотре задач традиционной квазигармонической теории и практики генерации, приёма и распространения таких сигналов. Указанными задачами далеко не исчерпываются преимущества от использования СШП и сверхкороткоимпульсных (СКИ) сигналов. Так, в радиосвязи понижается ниже санитарных норм средняя плотность потока мощности излучения, улучшается электромагнитная совместимость ряда радиоэлектронных средств при работе в совместной полосе частот, в большей степени реализуются возможности многолучевого распространения волн для повышения качества связи путём суммирования парциальных сигналов. В радиолокации устраняется лепестковая структура диаграмм рассеяния облучаемых целей и повышается устойчивость сопровождения целей под малыми углами места.

Поскольку неперменной составной частью систем радиосвязи и радиолокации являются антенные устройства, то их технические характеристики излучения должны соответствовать спектру используемых в конкретной системе зондирующих сигналов. Поэтому тема диссертационной

работы Ле Нху Тхай, ориентированная на исследование реализуемости сверхдиапазонного режима работы двумерно-периодических плоских и цилиндрических антенных решёток (ФАР), является весьма **актуальной**.

Исследованиям достижимой ширины рабочей полосы частот элементов антенных устройств различных типов, в зависимости от их геометрических размеров, посвящено значительное число работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Ле Нху Тхай поставил целью своей диссертационной работы подтверждение возможности реализации значений указанного параметра, превышающих достигнутые ранее, в плоских и цилиндрических ФАР на основе антенных элементов типа биконусов и ТЕМ-рупоров, уже много лет разрабатываемых в группе его научного руководителя.

Поставленная цель достигнута в результате решения следующих частных задач:

- разработка электродинамических моделей исследуемых ФАР на основе широко апробированного программного продукта - методов конечных элементов (МКЭ) и конечных разностей во временной области (МКРВО).
- исследование характеристик излучения одно- и двухполяризованных ФАР с учётом влияния делителей системы питания и экрана для уменьшения обратного излучения.
- разработка конструкции и изготовление экспериментального образца ФАР, с помощью которого проведено экспериментальное подтверждение результатов численного моделирования.

Несколько отличается от основной темы диссертации глава 5 по исследованию характеристик рассеяния сверхдиапазонных антенных решёток, но полученные в ней оценки представляют интерес для радиолокационных задач обнаружения.

В результате проведенного исследования автором диссертации получены следующие **новые научные результаты**:



- Разработаны и определены параметры модели ячейки Флоке для исследования характеристик излучения бесконечной плоской одно-поляризационной ФАР из ТЕМ-рупоров с учётом наличия проводящего экрана и без него. Численно-аналитическим и численным методами исследованы характеристики ФАР бесконечных и конечных размеров с числом элементов 36 и 144. Показано, что оптимизация расстояния между экраном и входами элементов решетки позволяет обеспечить отношение верхней частоты к нижней в рабочей полосе не менее 10:1. На примере плоской квадратной ФАР из 12×12 элементов реализовано отношение интенсивности излучения вперед/назад в пределах от 15 до 29 дБ для разных частот найденного рабочего диапазона.

- Предложена, разработана и исследована 32-х канальная плоская двумерно-периодическая сверхдиапазонная синфазная система делителя (сумматора) на равные доли мощности. Получены оценки отношения верхней частоты рабочего диапазона (определённого по критерию КСВН  $\leq -10$  дБ) к нижней при сканировании ДН ФАР с системой питания в секторе  $\pm 45^\circ$  : 15: и !9:1 в Е- и Н- плоскостях соответственно.

- Изготовлен и исследован экспериментальный образец плоской одно-поляризационной синфазной сверхдиапазонной антенной решетки с рабочей полосой более 18:1.

- Разработана плоская сверхдиапазонная двух-поляризационная ФАР и численно исследованы её характеристики излучения.

- Разработаны цилиндрические сверхдиапазонные ФАР с антенными элементами вида вырезов из биконусов и ТЕМ-рупоров, характеристики излучения которых исследованы численными методами.

- Исследованы характеристики рассеяния одно-поляризационных и двух-поляризационных плоских сверхдиапазонных ФАР. Показано, что максимум ЭПР меньше максимума ЭПР волноводной решетки на 10-30 дБ в полосе частот более 10:1.

**Достоверность и обоснованность** полученных в диссертации результатов и выводов обосновывается корректным использованием численного моделирования апробированных методов (МКЭ, МКРВО и метода интегральных уравнений), а также сопоставлением результатов численного моделирования характеристик ФАР, полученных различными методами, с результатами их измерений в изготовленном экспериментальном образце в безэховой камере с использованием современной измерительной аппаратуры. Выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на международных и российских научных конференциях и семинарах.

**Практическая значимость** проведенного исследования заключается:

- в разработке конструкции и изготовлении экспериментального образца сверхдиапазонного многоканального делителя мощности.

- в разработке конструкции и изготовлении экспериментального образца плоской сверхдиапазонной антенной решетки 32 – ТЕМ-рупоров с полосой рабочих частот 0.35 – 6.6 ГГц.

Вместе с тем изложение проведенного в диссертационной работе исследования не свободно от следующих замечаний и недостатков:

1. Характеристики излучения рассмотренных ФАР получены, наряду с бесконечными вариантами решёток, лишь для двух-трёх дискретных значений числа антенных элементов в них. Это не позволяет при наличии требований к ДН аргументировано определить как границу применимости теории с исследованными ячейками Флоке, так и распространить, при необходимости, полученные результаты на ФАР с другим числом элементов.
2. Характеристики излучения всех рассмотренных ФАР исследованы на отдельных гармонических частотах. На практике же многие сверхширокополосные радиотехнические системы используют сложные нестационарные сигналы с большой шириной полосы мгновенных частот. Реакция рассмотренных ФАР на такие воздействия не рассмотрена.



3. Исследованная 32-элементная ФАР с экраном  $300 \times 100$  мм (в главе 2) размещена, для уменьшения вдвое размерности задачи, над заземляющей плоскостью размером  $1500 \times 700$  мм. При этом не пояснено, из каких соображений выбраны эти размеры.
4. Приведенные на многих рисунках зависимости коэффициента усиления от частоты более корректно отнести к коэффициенту направленного действия, ибо потери в элементах рассмотренных ФАР (излучатели, делители мощности, линии задержки, устройства коммутации в цилиндрических решётках) только предполагаются отсутствующими, а фактически не оценены.
5. Утверждение о достаточности рассмотрения сканирования в пределах одного углового периода цилиндрической решётки (стр. 75) подразумевает наличие устройства коммутации между линейными решётками, о частотных свойствах и КПД которых ничего не сказано.
6. Не пояснено, как проведено моделирование ДН цилиндрических антенных решёток, например – как учтено затенение одних линейных решёток другими, в частности - в процессе сканирования. Не отмечено также, из каких соображений выбраны радиусы экранов и в каком состоянии остаются не возбуждаемые линейные решётки.
7. Один из выводов по главе 4 (стр. 94) об увеличении коэффициента усиления с ростом площади апертуры ФАР самоочевиден, поскольку следует из известной в теории антенн формулы, связывающей эти величины.
8. Результаты главы 5, конечно, интересны сами по себе, но весьма ограничены по объёму и не носят общего характера для этой области радиолокации. Приведена только относительная величина моностатической эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) плоских ФАР с антенными элементами из проводников переменного квадратного сечения (576 элементов) и ТЕМ-рупоров (216 элементов). Выбранная же для сравнения ФАР отличается не только типом антенных элементов (полые прямоугольные волноводы), но и их числом (384 элемента). Это затрудняет сравнение с

известными на сегодняшний день значениями ЭПР объектов, изготовленных по технологии «стелс».

9. В списке литературы отсутствуют ссылки на довольно обстоятельные источники, посвящённые сверхширокополосным антеннам, например *B.Allen & M. Dohler & E.E. Okon, W.Q. Malik & A.K. Brown, D.E. Edwards Ultra-Wideband Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging/ Wiley, 2007; Hans G. Schantz The Art and Science of Ultrawideband Antennas, Second Edition, Artech House, 2015.* А в статье *Don Herskovitz Wide, Wider, Widest, Journal of Electronic Defense, July 1995, p.51-58* приведен пример рупорно-линзовой импульсной антенны с отношением верхней рабочей частоты к нижней 80:1.

10. Не приведено сопоставление затрат на программирование и вычислительные ресурсы при использовании приближённого метода сведения задачи к системе линейных алгебраических уравнений и строгого метода конечных элементов.

11. Непоследовательность в обозначениях (например, отношение частот пишется то 10:1, то 1:10), «англоязычная» терминология (например, «антенна на граунде», стр. 41) непривычное обозначение коэффициента отражения по входу (R), а также ряд грамматических ошибок (извинительных для данного автора).

Отмеченные недостатки не снижают существенным образом общего положительного впечатления о полученных в диссертации Ле Нху Тхая. результатах.

Содержание автореферата и материалы публикаций автора достаточно полно отражают основные положения диссертации, выносимые на защиту, а также полученные в диссертации результаты.

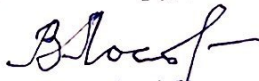
Тематика проведенного исследования соответствует паспорту специальности 05.12.07 – "Антенны, СВЧ – устройства и их технологии".



**Вывод.** Диссертация Ле Нху Тхай является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для улучшения технических характеристик существующих и перспективных многочастотных радиотехнических комплексов радиосвязи и радиолокации в отношении задач повышения помехоустойчивости функционирования и его скрытности, улучшения разрешения целей в группировках, распознавания типов цели и целого ряда других их некоординатных характеристик.

Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ле Нху Тхай, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук.

Ведущий научный сотрудник АО "Концерн радиостроения "Вега",  
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

  
26.08.2020

В. Ф. Лось

*Сведения об официальном оппоненте:*

Специальность: 01.04.03 – «Радиофизика»;

Место работы: АО «Концерн радиостроения «Вега», по специальности 05.12.07 – "Антенны, СВЧ – устройства и их технологии".

121170, г. Москва, Кутузовский проспект, 34.

Служебный телефон: 8 (499) 753-40 –04\* 9105

Электронная почта: [mail@vega.su](mailto:mail@vega.su), для Лося В.Ф.

Подпись и сведения о к.ф.-м.н. Лосе В. Ф. заверяю

Заместитель генерального директора по оборонзаказу и  
научно-техническому развитию АО "Концерн радиостроения "Вега",  
кандидат технических наук





А.Д. Крайлюк