

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента **Алёшкина Андрея Петровича**  
на диссертационную работу **Ерохина Алексея Александровича**  
«Методы цифрового диаграммоформирования для широкополосных  
антенных решеток», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их  
технологии»

### **Актуальность темы диссертации**

Цифровые антенные решетки находят все более широкое применение в различных областях радиотехники, поскольку позволяют существенно расширить функциональные возможности различных комплексов и систем народнохозяйственного и двойного назначения.

Использование широкополосных сигналов в данных системах позволяет повысить пропускную способность в каналах обработки и передачи информации. Все это обуславливает потребность в развитии методов широкополосного цифрового диаграммоформирования. В цифровых широкополосных системах выделяют так называемые частотно-независимые цифровые антенные решетки, способные сохранять форму диаграммы направленности и параметры поля излучения в заданной широкой полосе частот. Свойства таких решеток определяются амплитудно-фазовым распределением на их апертуре, способы выбора которого зависят от типа элементов задержки, используемых в цифровых решетках, а также от требований к положению в пространстве максимумов и минимумов диаграммы направленности. С учетом отмеченного диссертация А.А.Ерохина, направленная на разработку методов частотно-независимого диаграммоформирования в цифровых антенных решетках (АР), безусловно актуальна.

### **Краткая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, двух приложений, в которых представлены акты внедрения результатов диссертационной работы, и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Во введении приводятся актуальность темы диссертационной работы, определена цель и поставлены задачи, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимости выполненных исследований, отражены сведения о внедрении результатов работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, показаны сведения по апробации работы

и структуре диссертации.

Первая глава включает в себя обзор методов цифрового диаграммоформирования. Широкополосное диаграммоформирование рассмотрено на примере цифровых антенных решеток с временной и пространственной задержками сигналов. Проанализированы способы формирования «нулей» в диаграммах направленности цифровых решеток.

Вторая глава диссертационной работы посвящена вопросам разработки методов частотно-независимого цифрового диаграммоформирования для решеток с использованием линий с временной и пространственной задержками. Затронуты вопросы влияния количества элементов в антенной решетке и порядка линии с временной задержкой на параметры диаграммы направленности. Приведено описание выбора размеров решетки с использованием пространственных задержек, способ коррекции фазового распределения в раскрыве такой решетки. Предложены структурные схемы частотно-независимых цифровых антенных решеток.

В третьей главе автор проводит исследование метода синтеза «нулей» в диаграмме направленности цифровой решетки. Показано, что фазовый центр по главному лепестку диаграммы направленности сохраняет свое положение в сравнении с исходной диаграммой. Рассмотренный метод распространен на случай частотно-независимых антенных решеток.

В четвертой главе приведены результаты исследований характеристик цифровых антенных решеток с применением разработанных методов частотно-независимого диаграммоформирования в сравнении с существующими методами. Проведенные исследования подчеркивают преимущества разработанных автором методов диаграммоформирования. С помощью статистической теории антенн получены результаты, показывающие негативное влияние случайных флуктуаций амплитудно-фазового распределения на характеристики цифровых решеток. Автор отмечает, что в дальнейшем необходима разработка методов калибровки в широкой полосе частот.

#### **Новизна полученных результатов**

Следует отметить новые результаты, полученные Ерохиным А.А. в ходе выполнения диссертационной работы:

– получены аналитические выражения для расчета действительных коэффициентов линий с временной задержкой сигналов, применяемых в системах цифрового формирования частотно-независимой диаграммы направленности;

– получены аналитические выражения для расчета параметров

логопериодических антенн, используемых в составе частотно-независимых цифровых антенных решеток с пространственной задержкой сигналов, выражения для выбора размеров антенной решетки, а также для коррекции фазового распределения;

– предложен метод синтеза «нулей» в диаграмме направленности частотно-независимой цифровой антенной решетки с использованием линий с временной задержкой; получен вывод, что положение фазового центра по главному лепестку диаграммы направленности не меняется при использовании методов синтеза «нулей».

### **Достоверность результатов**

Корректное применение численных и аналитических методов, использование апробированных продуктов автоматизированного проектирования при расчетах характеристик частотно-независимых антенных решеток, соответствие полученных при исследовании результатов сведениям, опубликованным в литературе, результатам компьютерного моделирования и экспериментальных исследований подтверждает достоверность выводов и заключений, сформулированных в ходе выполнения диссертационных исследований.

### **Значимость результатов работы**

Теоретическая значимость работы определяется вкладом автора в развитие теории цифровой обработки сигналов в широкополосных антенных решетках. Разработаны методы формирования частотно-независимой диаграммы направленности с помощью временных и пространственных задержек. Получены аналитические выражения для расчета действительных коэффициентов линий с временной задержкой сигналов, параметров логопериодических антенн, используемых в составе частотно-независимых цифровых антенных решеток с пространственной задержкой сигналов, выражения для выбора размеров антенной решетки, а также для коррекции фазового распределения. Предложен метод синтеза «нулей» в диаграмме направленности частотно-независимой цифровой антенной решетки с использованием линий с временной задержкой.

Практическая значимость определяется следующими обстоятельствами:

– разработаны программы для ЭВМ, предназначенные для оценки характеристик частотно-независимых цифровых антенных решеток с использованием известных и предложенных методов диаграммоформирования, позволяющие определить условия наиболее эффективного внедрения полученных решений;

– дана оценка негативного влияния случайных флуктуаций амплитудно-фазового распределения и неточности установки излучателей на характеристики цифровых антенных решеток;

– предложены структурные схемы частотно-независимых решеток с формированием ДН во всей полосе рабочих частот либо с разбиением на поддиапазоны;

– показано что, фазовый центр диаграммы направленности с «нулями», в заданных направлениях, сохраняет свое положение в установленном частотном диапазоне.

### **Замечания по работе**

1. Автором недостаточно полно рассмотрены вопросы прикладного использования частотно-независимых антенных решеток, в связи с чем остается открытым вопрос об устойчивости характеристик и параметров исследуемых антенн к возмущающим факторам и ограничениям, в которых заявленные характеристики будут иметь необходимую стабильность.

2. Материал диссертационных исследований представлен в тексте диссертации неравномерно, в частности, второй раздел по описанию составляет практически половину общего объема.

3. Остается открытым вопрос, использовал ли автор при проведении статистического моделирования метод Монте-Карло, или ограничился анализом данных, полученных по аналитическим соотношениям. Представляется, что более корректным с позиций учета случайных и систематических погрешностей вследствие возмущений фазового фронта волны были бы исследования по методу статистических испытаний.

4. Не ясно, исследовался ли автором вопрос при использовании временной и пространственной задержки в АР о взаимном влиянии элементов, а также парировании возможной динамики волнового фронта в силу воздействия возмущающих факторов (турбулентность среды, доплеровский сдвиг гармоник спектра сигнала при работе по движущимся источникам радиоизлучений и т.п.).

Приведенные замечания не препятствуют вынесению общей высокой оценки выполненным исследованиям.

### **Заключение**

Диссертация А.А. Ерохина. «Методы цифрового диаграммоформирования для широкополосных антенных решеток» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи разработки методов формирования характеристик направленности для частотно-независимых цифровых

антенных решеток.

Считаю, что представленная диссертация соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842 (ред. от 28.08.2017, №1024), а ее автор, Ерохин Алексей Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры передающих, антенно-фидерных устройств и средств СЕВ Федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации

«07» сентября 2021 г.

Алёшкин Андрей Петрович

197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

Электронная почта: vka@mil.ru. Телефон: 8 (812) 237-12-49.

Личную подпись доктора технических наук, профессора Алёшкина Андрея Петровича заверяю.

Начальник отдела кадров Федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации



Г. В. Плотников