

"УТВЕРЖДАЮ"

ООО "НПП "ТРИМ СШП Измерительные системы"

Генеральный директор



Миляев П.В.

"07" апреля 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Анютин А.Н. Николая Викторовича

«РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК
АНТЕНН ПУТЕМ СКАНИРОВАНИЯ ПО НЕКАНОНИЧЕСКИМ
ПОВЕРХНОСТЯМ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – Метрология и метрологическое обеспечение.

На отзыв была представлена диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 138 наименований и приложения. Текст работы изложен на 147 страницах, включает 31 рисунок и 24 таблицы. Текст автореферата изложен на 24 страницах.

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»).

Актуальность темы исследований для науки и практики

Последние десять лет идет бурное развитие новых видов автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов (АИВК) для определения характеристик антенн методами ближней зоны (БЗ). В ряде АИВК измерительная (зондовая) антенна размещается на произвольной подвижной платформе: на промышленном 3D роботе, в беспилотном летательном аппарате (БЛА) и т.д.

Например, НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы» и ООО «Радиолайн» уже производят измерительные 3D роботы. Возможность сканирования по неканонической поверхности позволяет, в частности, исследовать характеристики антенных систем в присутствии объекта, на котором они размещены, например, на поверхности космического аппарата.

Ряд отечественных и зарубежных компаний разрабатывают АИВК на базе БЛА, в том числе для измерений характеристик больших антенн облетным методом.

Поверхность сканирования, по которой перемещается зондовая антенна в таких АИВК, выбирается исходя из конкретной задачи измерений, минимизации погрешностей измерений и, в общем случае, является неканонической.

Поэтому тема диссертации Анютина Н.В., посвященной разработке метода измерений характеристик антенн путем сканирования по неканоническим поверхностям в БЗ, является актуальной.

Объектом исследования являются автоматизированные измерительно-вычислительные комплексы измерений характеристик антенн методом ближней зоны со свободно позиционируемой зондовой антенной

Предмет исследования – методы измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля в ближней зоне

Цель работы заключается в обеспечении единства измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля по неканоническим поверхностям в ближней зоне. Для ее достижения автором сформулированы и решены следующие частные задачи:

- теоретически обоснованы подходы к разработке алгоритма измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля по неканоническим поверхностям в ближней зоне;
- разработан алгоритм измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля по неканоническим поверхностям в ближней зоне;
- разработана имитационная модель измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля в произвольно заданном множестве точек в ближней зоне;
- исследованы и обоснованы показатели точности методики измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля по неканоническим поверхностям в ближней зоне.

Объем и оформление работы соответствует требованиям ВАК для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Во **Введении** диссертационной работы обозначены цель и основные задачи исследования, научная новизна, практическая ценность и положения, выносимые на защиту.

В **первой вводной главе** представлен обзор литературы, в котором показаны современные тенденции развития методов измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля в БЗ. Обоснована необходимость разработки новых методов измерений для АИВК со свободно позиционируемой зондовой антенной. Предложено использовать решение уравнений электродинамики через опережающие потенциалы для преобразования электромагнитного поля внутрь

замкнутой поверхности. Обосновано новое асимптотическое уравнение связи между антеннами, если одна из них находится в дальней зоне.

Во второй главе разработаны алгоритмы коррекции результатов измерений на АИВК по диаграмме направленности зондовой антенны, преобразования электромагнитного поля на апертуру антенны и в дальнюю зону. Адекватность разработанных алгоритмов подтверждена путем сравнения экспериментальных и расчетных данных.

В третьей главе разработана имитационная модель измерений характеристик антенн на АИВК, которая работает в два этапа. Моделирование результатов измерений с учетом влияния диаграммы направленности зондовой антенны на первом этапе формирует исходные данные для исследуемого алгоритма производителя АИВК. На втором этапе данные на выходе из алгоритма разработчика АИВК сравниваются с опорными значениями, рассчитанными по заложенным в имитационную модель источникам электромагнитного поля.

В четвертой главе разработанный во второй главе метод измерений характеристик антенн путем сканирования по неканоническим поверхностям в БЗ исследуется с помощью разработанной в третьей главе имитационной модели измерений на АИВК. Получены зависимости показателей точности измерений от дисперсии входных величин. Обоснованы требования к характеристикам оборудования и входным данным. Оценены показатели точности разработанной методики измерений.

В заключении сформулированы выводы, которые правильно отражают содержание полученных результатов.

Наиболее значимые научные результаты и научная новизна диссертационной работы

Автором впервые:

- получена формула для прямого преобразования электромагнитного поля внутрь замкнутой поверхности, которая не требует обращения матрицы оператора преобразования;

- получено асимптотическое уравнение связи между антеннами в дальней зоне зондовой антенны, которое применимо в ближней зоне исследуемой антенны;

- разработан метод восстановления компонент вектора электромагнитного поля, входными данными для которого служат измерения коэффициента передачи между антеннами в волновой зоне минимум в трех точках с разностью фаз не более 180° ;

- разработана имитационная модель измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля в произвольно заданном множестве точек в ближней зоне, которая применима в промежуточной и дальней зоне.

Практическая значимость проведенных исследований и полученных научных результатов

Практическая значимость диссертации состоит в том, что разработанная методика измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля по неканоническим поверхностям в ближней зоне может использоваться на всех существующих и новых автоматизированных измерительно-вычислительных комплексах ближней зоны, что позволит проводить измерения в перспективном диапазоне частот свыше 50 ГГц.

С другой стороны, разработанная имитационная модель измерений характеристик антенн в ближней зоне может использоваться для аттестации методик измерений и испытаний автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов с неплоскими поверхностями сканирования.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность положений диссертации определяется использованием корректных математических и физических моделей, а также применением апробированного математического аппарата.

Апробация и публикации

Диссертационная работа Н.В. Анютина прошла достаточную апробацию; её основные научные и практические результаты докладывались на 11 национальных и международных конференциях. Основное содержание диссертации изложено в 16 статьях, в том числе 5 опубликовано в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Полученные результаты работы целесообразно использовать в научно-исследовательских и отраслевых организациях радиотехнического профиля, в частности, в АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», ООО «НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы» и компания ООО «Радиолайн», ОКБ МЭИ, ИТПЭ РАН, ООО НПП «Радиострим», АО «ИСС имени академика М.Ф. Решетнёва», НИИ КП, АО «РТИ имени академика А.Л. Минца», ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, ПАО «Радиофизика», а также в других предприятиях Концерна «Алмаз-Антей», занимающихся вопросами разработки и испытаний антенных систем.

Недостатки и замечания

1) Выводы о необходимости использования расстояния от поверхности сканирования до апертуры не менее 3λ и шага сканирования, не превышающего $\lambda/2$, представляются общеизвестными.

2) В формулах (1.34)-(1.35) и (1.37)-(1.38) через символ E обозначается вещественная амплитуда напряженности электрического

поля, в то время как в остальном тексте этот символ используется для обозначения комплексной амплитуды напряженности электрического поля.

3) Опускание символа нормировки для амплитудной диаграммы направленности осложняет чтение формул. Из формул (1.46)-(1.50) следует, что эквивалентный уровень помех L_{eq} является логарифмом от ненормированной диаграммы направленности T .

4) Размерность величин слева и справа от знака равенства в формуле (2.1) не совпадает.

5) Все внешние характеристики на рисунках 4.2-4.6 приводятся только в H -сечении с эквивалентным уровнем помех не выше -38 дБ. При этом в таблице 4.24 эквивалентный уровень помех достигает значения -35 дБ. В диссертации не хватает рисунков с внешними характеристиками антенн в E -сечении.

Отмеченные недостатки несколько снижают впечатление от диссертационной работы, тем не менее, не влияют на общую положительную оценку результатов диссертации.

Заключение

Основным достоинством работы Анютина Николая Викторовича является практическая направленность полученных автором результатов исследований. Эти исследования напрямую связаны с совершенствованием системы обеспечения единства измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля в ближней зоне. Результаты диссертации позволяют рассчитывать в перспективе на более эффективное решение задач контроля характеристик антенн в процессе их разработки и испытаний.

Тема диссертации актуальна, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена новая научная задача.

Результаты диссертации обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, в достаточной степени представлены в опубликованных научных трудах автора.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание.

Использование результатов работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

Отмеченные замечания не снижают научную значимость диссертации и общую положительную оценку работы.

Диссертация Анютина Н.В. отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней...», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического семинара НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы» «__7__» апреля 2022 г. (Протокол № __2__ от __7__ апреля 2022г.

Заместитель генерального директора
по научной работе, к.т.н.



Калинин Ю.Н.

Начальник отдела измерений



Чавдарь М.А.

ООО «Научно-производственное предприятие «ТРИМ СШП
Измерительные системы»;

194044, г. Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр., дом 106А;
+7 (812) 319-00-50;

info@trimcom.ru;

www.trimcom.ru