



Публичное акционерное общество  
«Научно-производственное объединение «Алмаз»  
имени академика А.А. Расплетина»

**ПАО «НПО «АЛМАЗ»**

Ленинградский проспект, д. 80, корп. 16, Москва, Россия, 125190  
Тел.: +7 (499) 940-02-22, Факс: +7 (499) 940-09-99  
E-mail: info@raspletin.com; www.raspletin.com  
ОКПО 07501863; ОГРН 1027700118984  
ИНН/КПП 7712040285/997450001

Председателю диссертационного совета  
24.2.327.01 при ФГБОУ ВО  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)»  
доктору технических наук, профессору  
Ю.В. Кузнецову  
Волоколамское шоссе, д. 4,  
Москва, 125993

22.08.2023 № 95/Уч.ц.-2-45437

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв ведущей  
организации

0323923

Уважаемый Юрий Владимирович!

Высылаю Вам отзыв ведущей организации на диссертацию  
Коротецкого Е. В. «Калибровка фазированных антенных решеток на открытых  
полигонах», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их  
технологии»

Приложение: Отзыв на 6 л. в 2 экз.

Первый заместитель генерального  
директора - генеральный конструктор

Н.Э. Ненартович

Ю.А. Хмеленко  
(499) 940-02-22 доб. 1-18-15

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

07.09.2023

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального  
директора - генеральный конструктор,  
председатель НТС

ПАО «НПО «Алмаз», к.т.н.



Н.Э. Ненартович

2023 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Коротецкого Егора Валерьевича  
«Калибровка фазированных антенных решеток на открытых полигонах»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка литературы из 57 наименований. Текст работы изложен на 128 страницах, включает 49 рисунков, одну таблицу. Текст автореферата изложен на 23 страницах.

Диссертация выполнена в Публичном акционерном обществе «Радиофизика» (ПАО «Радиофизика»).

### **Актуальность темы диссертации**

В современных технологиях связи, радиолокации и радионавигации широко применяются фазированные антенные решетки (ФАР). Формирование требуемой диаграммы направленности (ДН) у ФАР зависит от измерения начальных коэффициентов передачи (НКП) каналов ФАР, число которых может составлять тысячу и более. Процедура измерения НКП называется калибровкой ФАР.

Проведение калибровки ФАР в условиях безэховой камеры в некоторых случаях оказывается невозможным. Так для многоэлементных ФАР требуется создание безэховых камер с размерами сотен метров и более, что является экономически нецелесообразным. После ремонта ФАР в полевых условиях возникает необходимость в проведении новой калибровки. В последнем случае в

«07» 09 2023 г.

качестве открытого полигона используется место непосредственного размещения ФАР с неизвестным уровнем паразитных переотражений электромагнитных волн от подстилающей поверхности и других объектов.

В связи с выше изложенным, тема диссертации Коротецкого Е.В., посвященной калибровке ФАР на открытых полигонах, является актуальной.

**Цель работы** заключается в решении задачи обеспечения калибровки ФАР на открытых полигонах за счет разработки алгоритмов прогнозной оценки результатов калибровки и алгоритма калибровки ФАР по секторам. Для ее достижения автором сформулированы и решены следующие частные задачи:

- проведение обзора методов калибровки ФАР и способов организации калибровочных процедур;

- определение влияния погрешности измерения мощности при калибровке коммутационным методом REV (Rotation of an Electric field Vector) на погрешность определения НКП;

- определение влияния погрешностей установки КА, находящейся в зоне Френеля ФАР, на фазовое распределение в апертуре и на ДН ФАР, формируемую после калибровки;

- определение влияния рассеяния поля на окружающих неоднородностях на результаты определения НКП и на ДН ФАР при различных расстояниях от КА и источника рассеянного поля до апертуры ФАР;

- разработка алгоритма калибровки ФАР по отдельным перекрывающимся секторам с последующим совмещением результатов и формированием массива НКП ФАР

**Во введении** диссертации обозначены цель и основные задачи исследования, научная новизна, практическая ценность и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведен обзор и анализ материалов отечественных и зарубежных источников по исследуемой тематике. Проведена классификация методов калибровки ФАР и аспекты ее проведения на открытых полигонах. Проанализирована степень проработки вопросов калибровки ФАР в литературе.

**Во второй главе** выведены основные соотношения для коммутационного метода калибровки и произведена оценка точности калибровки этим методом в условиях нахождения КА в дальней или промежуточной зоне на открытом полигоне.

**В третьей главе** разработан алгоритм калибровки ФАР по секторам.

**В заключении** приводятся итоги исследования.

**Научная новизна** работы состоит в том, что впервые:

- предложен алгоритм расчета погрешности калибровки каналов ФАР коммутационным методом REV в зависимости от погрешности измерения мощности контрольного сигнала при калибровке;

- предложен алгоритм расчета фазовой ошибки, возникающей в апертуре ФАР после калибровки с неточно установленной относительно апертуры ФАР юстировочной антенной;

- предложен алгоритм расчета амплитудно-фазовой ошибки, возникающей в апертуре калибруемой ФАР при наличии источника рассеяния в зоне Френеля ФАР;

- предложен алгоритм совмещения начальных коэффициентов передачи каналов при калибровке ФАР по секторам.

**Теоретическая значимость работы** заключается в результатах анализа влияния ряда негативных факторов на НКП каналов ФАР и разработанных алгоритмах прогнозной оценки результатов калибровки в таких условиях, а также в разработанном алгоритме калибровки ФАР по секторам.

**Практическая значимость работы** заключается в разработанном подходе для организации и проведения калибровки ФАР на открытых полигонах. Он позволяет предъявлять требования и определять конфигурацию измерительного полигона для калибровки ФАР. В частности, разработанный алгоритм совмещения начальных коэффициентов передачи каналов позволяет рационально разделить апертуру ФАР на секторы и выполнить её калибровку по секторам с последующим совмещением результатов в едином массиве НКП ФАР. Алгоритмы определения погрешностей калибровки позволяют провести: расчет

ошибок калибровки в зависимости от погрешности измерения мощности контрольного сигнала, расчет допустимых ошибок установки КА относительно апертуры ФАР, оценку влияния рассеянных полей на результаты калибровки и ДН ФАР.

**Достоверность и обоснованность результатов**, полученных в диссертации, подтверждена соответствием результатов математического моделирования и результатов калибровки и измерений для ФАР сантиметрового диапазона в экспериментах на открытых полигонах, реализацией результатов диссертации в антенном комплексе «Моренос РТК-МК».

#### **Апробация и публикации**

Диссертационная работа Е.В. Коротецкого прошла достаточную апробацию; ее основные научные и практические результаты докладывались на 4 международных конференциях. Основное содержание диссертации изложено в 11 статьях, в том числе 6 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов**

Полученные результаты диссертации целесообразно использовать в научно-исследовательских и отраслевых организациях радиотехнического профиля, в частности, в АО «ИСС имени академика М.Ф. Решетнева», АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», АО «РТИ имени академика А.Л. Минца», а также в других предприятиях Концерна «Алмаз-Антей», занимающихся вопросами разработки и испытаний ФАР.

## **Соответствие паспорту специальности**

Материалы диссертации и автореферата соответствуют пунктам 6 и 7 Паспорта специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

### **Недостатки и замечания**

1. Формулы (1.1) и (2.77) диссертации приведены без ссылок на источники, где они были опубликованы.

2. Не понятно, как в диссертации обозначаются векторы. В формуле (1.3) слева от знака равенства записана напряженность поля с точкой сверху. Если речь идет о напряженности электрического поля, то это векторная величина. Однако, справа от знака равенства в той же формуле записаны только скалярные величины. В расшифровке этой же формулы волновой вектор записан со стрелкой сверху. Он же на с. 77 записан уже полужирным шрифтом без стрелки.

3. В формуле (2.75) вектор распространения зависит от выбора начала системы координат. Выбор начала системы координат в фазовом центре КА при этом нигде не оговаривается.

4. В разделе 2.3 приводятся результаты математического моделирования калибровки ФАР и ДН ее излучения с учетом паразитных переотражений электромагнитных волн от окружающих объектов. При этом метод расчета рассеянного электромагнитного поля в тексте не назван и не приведены ссылки на работы, где он был бы описан.

5. В тексте диссертации встречается рабочий сленг («измерений антенны» на с. 6). Не всегда даются расшифровки сокращений при первом их появлении (ФАР, КП, НКП на с. 5) или они не соответствуют приведенному списку сокращений (КА на с. 39). Не всегда используется общепринятая терминология, закрепленная в учебниках и стандартах. Устоявшаяся собственная терминология также отсутствует. В тексте диссертации одновременно речь идет о «погрешностях» и «ошибках» одних и тех же величин.

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

## Заключение

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, обладающую внутренним единством и законченностью, в которой на основании разработанных автором алгоритмов решена задача обеспечения единства измерений НКП в каналах ФАР в условиях открытых полигонов, что приводит к повышению обороноспособности страны.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание.

Диссертация Коротецкого Е.В. удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней...», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции № 6 ПАО «НПО «Алмаз».  
(Протокол № 6 от 18 августа 2023 г.)

Председатель секции № 6  
НТС ПАО «НПО «Алмаз»,  
Заместитель генерального  
конструктора по радиолокации, к.т.н.

Ефремов Вячеслав Самсонович

Заместитель начальника СКБ-35  
по научной работе, д.т.н.

Кашин Валерий Акимович

Начальник отдела 351/7, к.т.н.

Хмеленко Юрий Алексеевич

Ведущий инженер  
отдела 351/2, к.т.н.

Анютин Николай Викторович

Ученый секретарь секции № 6  
НТС ПАО «НПО «Алмаз», к.т.н.

Секистов Анатолий Николаевич

С отзывом ознакомлен

07.09.23