

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.01

Соискатель: Коротецкий Егор Валерьевич

Тема диссертации: «Калибровка фазированных антенных решеток на открытых полигонах»

Специальность: 2.2.14. – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Решение диссертационного совета по результатам защиты:

на заседании 26 сентября 2023 года, протокол № 3, диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Коротецкому Егору Валерьевичу учёную степень кандидата технических наук.

Присутствовали:

Кузнецов Ю.В. – председатель диссертационного совета;

Горбунова А.А. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

Ушкар М.Н., Важенин Н.А., Гаврилов К.Ю., Гринев А.Ю., Добычина Е.М., Кириллов В.Ю., Комаров В.В., Куприянов А.И. Назаров А.В., Овчинникова Е.В., Плохих А.П., Сычев М.И., Татарников Д.В., Шевцов В.А., Юдин В.Н.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.327.01, к.т.н.

А.А. Горбунова

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВА-
ТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ-
СКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.09.2023, протокол № 3

О присуждении Коротецкому Егору Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Калибровка фазированных антенных решеток на открытых полигонах» по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (технические науки) принята к защите «23» мая 2023 года (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.327.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета №105/нк от 11.04.2012.

Приказом Минобрнауки России от 3 июня 2021 №561/нк установлены полномочия совета на срок действия номенклатуры научных специальностей.

Соискатель Коротецкий Егор Валерьевич, 16.05.1987 года рождения.

Коротецкий Егор Валерьевич, в 2010 году с отличием окончил ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет) «МАИ» по специальности «160802 Космические летательные аппараты и разгонные блоки». С ноября 2010 года по октябрь 2013 года обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Московского авиационного института» (национальный исследовательский университет) по научной специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии». Работает

научным сотрудником в Публичном акционерном обществе «Радиофизика» (Министерство промышленности и торговли Российской Федерации).

Диссертация выполнена в Публичном акционерном обществе «Радиофизика» (Министерство промышленности и торговли Российской Федерации) в научно-исследовательском отделе № 3.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, **Денисенко Владимир Викторович**, начальник научно-исследовательского отдела № 3 Публичного акционерного общества «Радиофизика»; доцент кафедры 914 «Проектирование сложных технических систем» ФГБОУ ВО «Московского авиационного института» (национальный исследовательский университет).

Официальные оппоненты:

1. **Литвинов Олег Станиславович**, доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник МГТУ им. Н.Э. Баумана;

2. **Гриднев Вячеслав Иванович**, кандидат технических наук, начальник лаборатории АО «НИИП им. В.В. Тихомирова».

Ведущая организация – **ПАО «НПО «Алмаз»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Ефремовым Вячеславом Самсоновичем, к.т.н., заместителем генерального конструктора по радиолокации ПАО «НПО «Алмаз», Кашином Валерием Акимовичем, д.т.н., заместителем начальника СКБ-35 по научной работе ПАО НПО «Алмаз», Хмеленко Юрием Алексеевичем, к.т.н., начальником отдела 351/7 ПАО НПО «Алмаз», Анютиным Николаем Викторовичем, к.т.н., ведущим инженером отдела 351/2 ПАО НПО «Алмаз», Секистовым Анатолием Николаевичем, к.т.н., ученым секретарем секции № 6 ПАО НПО «Алмаз», и утверждённом Ненартовичем Николаем Эдуардовичем, к.т.н., первым заместителем генерального директора - генеральным конструктором, председателем НТС ПАО НПО «Алмаз», указала, что диссертация Коротецкого Е.В. «Калибровка фазированных антенных решеток на открытых полигонах» представляет собой научно-квалификационную работу, обладающую внутренним единством и законченностью, в которой на основании разработанных автором алгоритмов решена

задача обеспечения единства измерения НКП(начальных коэффициентов передачи) 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.).

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях 7 работ: 6 научных статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 работа в зарубежном издании, индексируемом в международных системах цитирования Web of Science и Scopus. Материалы диссертации были доложены на 4 научно-технических конференциях.

Наиболее значимые научные работы соискателя:

в рецензируемых научных изданиях:

1. **Коротецкий Е.В., Шитиков А.М.** Оценка влияния близкорасположенного помехового сигнала при калибровке на результирующую ДН ФАР // Радиотехника. — 2012. — №4. — С. 96 – 101.

2. **Коротецкий Е.В., Шитиков А.М., Денисенко В.В.** Влияние ошибки установки юстировочной антенны на фазовую ошибку в апертуре при формировании луча и калибровке в ближней зоне // Радиотехника. — 2013. — №5. — С. 89 – 94.

3. **Коротецкий Е.В., Шитиков А.М., Денисенко В.В.** Методы калибровки фазированных антенных решеток // Радиотехника. — 2013. — №5. — С. 95 – 104.

4. **Коротецкий Е.В., Шитиков А.М.** Оценка ошибок методов МТЕ и REV калибровки ФАР // Радиотехника. — 2014. — №1. — С. 72 – 78.

5. Верба Г.А., **Коротецкий Е.В., Шитиков А.М.** Особенности калибровки антенных решеток в условиях переотражения контрольного сигнала // Радиотехника. — 2021. — Т. 85. — № 4. — С. 34–44.

6. **Коротецкий Е.В., Шитиков А.М., Денисенко В.В.** Калибровка фазированных антенных решеток на открытых полигонах // Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей». — 2022. — №4. — С. 30 – 41.

Ключевые моменты диссертационной работы изложены в 6 работах: в рецензируемых научных изданиях. Работы [1-6] написаны в соавторстве: [1,4] – с Шитиковым А.М., [2,3,6] – с Шитиковым А.М. и Денисенко В.В., [5] – с Верба Г.А. и Шитиковым А.М.

В работе [1] рассмотрена калибровка ФАР в условиях переотражений сигнала юстировочной антенны от проводящих элементов, расположенных в зоне Френеля ФАР, а также варианты расположения юстировочной антенны в зоне Френеля и в дальней зоне ФАР. Проведено сравнение со случаем, когда источник рассеяния и юстировочная антенна располагаются в дальней зоне ФАР. Получены алгоритмы для оценки искажений результирующего амплитудно-фазового распределения в апертуре при такой калибровке и рассмотрено влияние этих искажений на форму диаграммы направленности. Показано, что наибольшие искажения получаются при расположении юстировочной антенны и источника рассеяния в дальней зоне ФАР. С приближением источника рассеяния к апертуре ФАР уровень искажений диаграммы направленности уменьшается, а зона искажений расширяется. С приближением юстировочной антенны уровень искажений растет, а зона искажений сужается.

В работе [2] рассмотрено влияние ошибок установки юстировочной антенны на фазовое распределение в апертуре ФАР, формируемой в результате калибровки без учета этих ошибок. Рассмотрены случаи неучтенного смещения юстировочной антенны вдоль апертуры и по нормали к ней. Получены алгоритмы для оценки фазовой ошибки в апертуре. Показано, что смещение

юстировочной антенны вдоль апертуры приводит к ошибке установки направления луча, формируемого ФАР, на угол, равный отношению ошибки установки к расстоянию между антеннами. Кроме того показано, что в апертуре возникает кубическое, в первом приближении, искажение фазы. При смещении юстировочной антенны вдоль нормали к апертуре возникает квадратичное, в первом приближении, искажение фазы.

В работе [3] проведен обзор литературы по различным методам калибровки ФАР. Заключено, что в настоящее время уделяется все больше внимания вопросам настройки ФАР в процессе эксплуатации и сокращению времени измерений. При этом большинство методов калибровки предполагают работу с ФАР, имеющей от нескольких единиц до нескольких десятков управляемых элементов в апертуре. Это ограничение связано с тем, что ядром большинства методов являются амплитудные измерения суммарного сигнала ФАР при коммутации одного или нескольких каналов. При увеличении числа каналов, амплитуда суммарного сигнала становится много больше амплитуды одного канала, что ведет к существенному увеличению ошибок методов. Для калибровки многоэлементных ФАР общими подходами являются либо минимизация суммарного сигнала всей ФАР и калибровка, либо разделение каналов на группы и калибровка по частям. Большинство методов предполагают калибровку в условиях безэховых камер. Вопросы калибровки на открытых полигонах, в процессе эксплуатации – раскрыты не полностью.

В работе [4] рассмотрен вопрос оценки ошибок вычисления начальных комплексных коэффициентов передачи каналов ФАР методами MTE и REV при наличии квазитепловых шумов. Ошибки установки фазовых состояний фазовращателей, меняющиеся от установки к установке, не рассматривались. Приведенные результаты математического моделирования позволяют заключить, что предложенные алгоритмы могут быть использованы для оценки фазовых и амплитудных ошибок рассматриваемых методов.

В работе [5] рассмотрены проблемы, возникающие при калибровке крупноапертурных ФАР вне лабораторных условий по источнику сигнала, расположенному на вышке. Установлено, что в результате переотражения

сигнала от поверхности земли в диаграмме направленности, сформированной по результатам такой калибровки, могут возникнуть искажения ее формы. Приведены алгоритмы для оценки уровня этих искажений сверху и определения направлений, в которых они возникают. Предложен ряд способов подавления указанных искажений. Показано, что при соответствующем расположении юстировочной антенны и калибровке в нескольких ее положениях с последующим усреднением результатов, возможно подавление искажений до приемлемого уровня.

В работе [6] рассмотрен вопрос калибровки ФАР на открытых полигонах. В этой связи важной является задача предъявления требований к конфигурации измерительного полигона. Этот вопрос особенно актуален для успешного проведения процедуры калибровки антенной решетки, т.к. известной литературы по этой теме недостаточно. В работе рассмотрены ключевые погрешности, влияющие на результаты калибровки: погрешность измерения мощности контрольного сигнала, погрешность установки юстировочной антенны, влияние переотражения контрольного сигнала от элементов окружения ФАР. Отдельно рассмотрен алгоритм калибровки крупноапертурной ФАР по секторам. На основе полученных результатов представлен подход для организации и проведения калибровки фазированных антенных решеток на открытых полигонах.

Помимо указанных работ у автора диссертации имеются работы, опубликованные в сборниках трудов научно-технических конференций, в том числе международных.

В работах соискателя по теме диссертации в полном объеме изложены материалы диссертации и положения, выносимые на защиту.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Литвинов Олег Станиславович (официальный оппонент).

Отзыв заверил заместитель начальника управления кадров ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» Силкина Ксения Павловна.

В замечаниях по диссертационной работе указано на то, что среди возможных современных методов калибровки ФАР (диагностики) не рассмотре-

ны алгоритмы, основанные на решении фазовой проблемы волновых полей (взаимосвязи амплитуды и фазы волновых полей). В начале главы 2 на стр. 37 оговаривается, что при записи выражений для напряженности электрического поля полагается, что поляризационная эффективность равна единице. Применительно к параграфу 2.3 было бы полезно рассмотреть вопрос с учетом поляризационных свойств электромагнитных волн. В параграфе 2.2 рассматриваются довольно большие погрешности установки юстировочной антенны, порядка $\lambda/2$. Современные трекинговые системы позволяют определять положение предмета в пространстве с точностями меньше миллиметра. Поэтому выбранные значения погрешностей представляются не вполне обоснованными. Вопрос в параграфе 2.3, посвященный калибровке при наличии сигнала от рассеивателя в апертуре ФАР, не был подтвержден экспериментально, только математическим моделированием по представленным результатам. Из содержания главы 3 не ясно, насколько универсальным является представленный алгоритм калибровки, какие он имеет ограничения.

При этом подчеркнуто, что перечисленные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертации и послужат для дальнейшего развития направления. Диссертационная работа Коротецкого Е.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой автор успешно решил научно-техническую задачу обеспечения калибровки фазированных антенных решеток на открытых полигонах. Диссертация соответствует заявленной специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии». Диссертация отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Коротецкий Егор Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Гриднев Вячеслав Иванович (официальный оппонент).

Отзыв заверен ученым секретарем АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», д.т.н., Кауфманом Геннадием Владимировичем.

В замечаниях по диссертационной работе отмечено, что в разделе 2.1, который посвящен оценке погрешностей калибровки, не указано, при какой точности измерения мощности сигнала в принципе возможна калибровка рассматриваемым коммутационным методом. В разделе 2.3 в явном виде не написано, какой конкретно вид рассеивателя рассматривается. Описание в начале стр. 80 диссертации и на стр. 14 автореферата представляется неполным. В разделе 3, посвященном калибровке ФАР с сшивкой, нет оценки необходимой точности установки юстировочной антенны относительно апертуры ФАР. По всей видимости, эта ошибка установки будет увеличивать ошибку калибровки сшивкой при перемещении юстировочной антенны от сектора к сектору. Уместно добавить сравнение точности определения начальных электрических длин каналов предложенным алгоритмом из раздела 3 с другими известными.

При этом отмечено, что замечания не снижают общего высокого уровня диссертационной работы Коротецкого Е.В. Диссертация выполнена на хорошем научно-техническом уровне, содержит новые научные и практические результаты, обладает внутренним единством. Выводы работы теоретически обоснованы, большинство выводов подтверждено экспериментально. Автореферат адекватно отражает основные положения диссертационной работы. Результаты диссертации достаточно полно изложены в публикациях автора. Диссертация соответствует заявленной специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии». Диссертационная работа Коротецкого Е.В. удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ. Соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

ПАО «НПО «Алмаз» (ведущая организация)

Отзыв утверждён первым заместителем генерального директора – генеральным конструктором, председателем НТС ПАО «НПО «Алмаз» к.т.н., Ненартовичем Николаем Эдуардовичем.

В замечаниях по диссертационной работе указано, что формулы (1.1) и (2.77) диссертации приведены без ссылок на источники, где они были опубликованы. 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. 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. 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. 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.

Сделан вывод, что отмеченные замечания не снижают научную значимость результатов диссертации и общую положительную оценку работы. 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 степе-

ней...», 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».

На автореферат и диссертацию также поступило 9 отзывов из организаций:

1. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А. И. Берга» (АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»), г. Москва – отзыв подписан начальником научно-тематического отдела, к.в.н., Малинкой А.В. Заверен ученым секретарем, к.т.н., Каревым В.В., утвержден генеральным директором, председателем ученого совета, д.т.н., Андреевым Г.И.

2. Общество с ограниченной ответственностью «Резонанс» (ООО «Резонанс»), г. Санкт-Петербург – отзыв подписан главным конструктором, д.т.н., Парнесом М.Д. Подтвержден генеральным директором Семакиным В.Л.

3. Акционерное общество «Научно-производственный комплекс «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи» (АО «НПК «НИИДАР»)), г. Москва – отзыв подписан ведущим научным сотрудником, к.т.н., Жуковым С.А. Заверен заместителем начальника управления персонала - начальником отдела кадров, Ильиной Н.А.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва – отзыв подписан доцентом кафедры РТПиАС, к.т.н, Михайловым М.С. Заверен начальником управления по работе с персоналом, Савиным Н.Г.

5. Физико-математический институт ФГБУН ФИЦ Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук (Коми НЦ УрО РАН), Республика Коми, г. Сыктывкар – отзыв подписан старшим научным сотрудником лаборатории экспериментальной физики, к.ф.-м.н., доцентом Макаровым П.А. Заверил начальник общего отдела ФИЦ Коми НЦУрО РАН Костомарова О.В.

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), г. Москва – отзыв подписан главным научным сотрудником лаборатории компьютерных систем автоматизации производства и цифровых технологий ИМАШ РАН, д.т.н., доцентом Николаевым А.В. Заверил Ведущий специалист по кадрам Розанов С.М. Утвердил заместитель директора ИМАШ РАН по научной работе, д.т.н., профессор Ерофеев М.Н.

7. Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега», г. Москва – отзыв подписан начальником отдела Козловым К.В., ведущим научным сотрудником к.ф.-м.н., с.н.с. Лось В.Ф., начальником отдела по НИР НОЦ Майстренко Е.В. Утвержден заместителем генерального директора по гособоронзаказу и научно-техническому развитию, к.т.н., Крайлюком А.Д.

8. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»(МФТИ), г. Долгопрудный – отзыв подписан ведущим научным сотрудником – заведующим лабораторией радиофизики и спутниковой связи, к.т.н., Зиминим И.В. Заверил администратор канцелярии Кораблева О.А.

9. Акционерное общество «Радиокомпания Вектор»(АО РК «Вектор»), г. Чистополь – отзыв подписан и заверен генеральным директором АО РК «Вектор», д.т.н., профессором, зам. зав. каф. «Радиофизика и техническая кибернетика» МФТИ, зав. каф. «Компьютерные и телекоммуникационные системы» КАИ, Классеном В.И.

Основные замечания по содержанию работы:

В замечаниях на автореферат отмечается, что не проведено сравнение разработанного в Главе 3 алгоритма калибровки с уже известными в части достижимой точности; в параграфе 2.2 в качестве элементов ФАР рассматриваются изотропные источники, т.е. ДН элементов не учитывается; соискатель не раскрыл возможную причину кубического и квадратичного характера искажения фазы; неясно, были ли учтены фазовые характеристики ДН и их различия, зависящие от углов прихода сигнала от КА и какой вклад это вносит в

результатирующую погрешность в рабочем направлении; для приведенного соответствия между среднеквадратичным отклонением мощности измеряемого сигнала и ошибкой оценки начальных фаз (стр.6, положение 1) не указано число N каналов ФАР и характер амплитудного распределения в апертуре; аналогичное замечание относится и к соотношению между величинами смещения юстировочной антенны из расчетного положения и изменениями уровня боковых лепестков (стр. 6, положение 2); рассмотрена упрощенная модель рассеивающего объекта на открытом полигоне – источник сферической волны (стр.14, 6-я строка сверху) и не рассмотрены тенденции изменения приведенных в п. 2.3 второй главы количественных оценок в более реальных ситуациях на открытом полигоне; фидеры передающего и приемного каналов ФАР могут быть различны, поэтому совмещение ДН этих каналов в пространстве весьма важно для потенциала соответствующих радиотехнических комплексов. Этот необходимый пункт калибровки в автореферате отсутствует; сделанное в п. 2.1 второй главы предположение о равенстве амплитуд тестируемого канала для всех состояний фазовращателей (стр. 7, 11-я строка снизу) далеко не всегда имеет место на практике; в автореферате не приводится обоснование использования метода REV для вычисления погрешностей калибровки; не приведены сведения о фактических затратах машинного времени при проведении расчетов по разработанным алгоритмам; не указаны временные рамки и объем проанализированных автором материалов по исследуемой тематике; автор подробно останавливается на отличии результатов предложенного метода калибровки от результатов калибровки ФАР для случая, когда освещена вся ее апертура, в то время как хотелось бы увидеть оценки точности предложенного метода в сравнении с другими методами, в первую очередь, с известной двухэтапной процедурой калибровки по секторам; не приведены оценки сокращения времени на калибровку по сравнению с двухступенчатой процедурой.

Все отзывы, поступившие на диссертацию и автореферат, положительные и содержат заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующими соображениями. Официальные оппоненты являются признанными специалистами в области антенных систем, соответствующей специальности диссертации; имеют публикации, близкие по теме диссертационной работы, являются сотрудниками разных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация известна своими научными достижениями в соответствующей сфере исследования, что подтверждается актуальными публикациями ее сотрудников – Кашин В.А., Куштан А.М., Голубцов Е.А., Шурыгина И.С. и др. Соискатель и научный руководитель соискателя не работают в данной организации и не являются участниками научно-исследовательских работ, ведущихся в этой организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложено** математическое описание влияния погрешности измерения мощности при калибровке коммутационным методом REV (Rotation of Electric field Vector) на погрешность определения начальных коэффициентов передачи. В частности, при среднеквадратическом отклонении мощности измеряемого сигнала 0,05...0,11 дБ ошибка оценки составляет не более 10%;

- **предложено** математическое описание влияния погрешностей установки юстировочной антенны, находящейся в зоне Френеля ФАР миллиметрового и сантиметрового диапазонов, на фазовое распределение в апертуре и на ДН ФАР, формируемую после калибровки. В частности, ошибка установки юстировочной антенны 3λ в продольном или поперечном направлении относительно плоскости апертуры ФАР при расположении юстировочной антенны на расстоянии размера апертуры от апертуры ФАР, приводит к искажению уровня первых боковых лепестков диаграммы направленности ФАР после калибровки на 3 дБ или 7 дБ, соответственно;

- **предложено** математическое описание влияния рассеяния поля на окружающих ФАР неоднородностях на результаты определения начальных коэффициентов передачи и на диаграмму направленности ФАР при различ-

ных расстояниях от юстировочной антенны и источника рассеянного поля до апертуры ФАР;

- **разработан** алгоритм калибровки ФАР по отдельным перекрывающимся секторам с последующим совмещением результатов и формированием массива начальных коэффициентов передачи ФАР.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- **проведён анализ** методов калибровки ФАР и способов организации калибровочных процедур;

- **изучены** погрешности калибровки каналов ФАР коммутационным методом REV в зависимости от погрешности измерения мощности контрольного сигнала при калибровке;

- **раскрыто** влияние фазовой ошибки, возникающей в апертуре ФАР после калибровки с неточно установленной относительно апертуры ФАР юстировочной антенной, и амплитудно-фазовой ошибки, возникающей в апертуре калибруемой ФАР при наличии источника рассеяния в зоне Френеля ФАР, на начальные коэффициенты передачи и диаграмму направленности ФАР;

- **проведена модернизация** процесса калибровки с помощью совмещения начальных коэффициентов передачи каналов при калибровке ФАР по секторам.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:

- **разработан** алгоритм совмещения начальных коэффициентов передачи каналов, который позволяет рационально разделить апертуру ФАР на секторы и выполнить её калибровку по секторам с последующим совмещением результатов в едином массиве начальных коэффициентов передачи каналов ФАР;

- **разработана** методика расчета погрешностей калибровки ФАР методом REV в зависимости от погрешности измерения мощности контрольного сигнала;

– **разработана** методика расчета допустимых ошибок установки юстировочной антенны относительно апертуры ФАР;

– **определены** закономерности влияния источников рассеяния на начальные коэффициенты передачи и диаграмму направленности ФАР;

– на основе предложенных методик и алгоритмов **разработан** подход к организации и проведению калибровки ФАР на открытых полигонах;

– результаты диссертационной работы **используются** в ПАО «Радиофизика» при написании технических проектов в части организации измерительных стендов ФАР, а также при калибровке ФАР миллиметрового и сантиметрового диапазонов.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

– **корректное использование** теории рядов, дифференциального исчисления. Корректность исходных положений и правильность математических преобразований, использованных при разработке алгоритмов. Корректность математических моделей разработанных алгоритмов;

– **использование** общепризнанного в профессиональной среде и широко применяемого программного пакета MATLAB, языков программирования Delphi (Делфи) и C# (Си шарп).

– **сопоставимость** результатов теоретического анализа, аналитического расчета, имитационного и натурального моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в:

– **разработке** и экспериментальной проверке методики оценки влияния погрешности измерения мощности при калибровке коммутационным методом REV на погрешность определения начальных коэффициентов передачи каналов ФАР;

– **разработке** и экспериментальной проверке методики оценки влияния погрешностей установки юстировочной антенны, находящейся в зоне Френеля ФАР, на фазовое распределение в апертуре и на диаграмму направленности ФАР, формируемую после калибровки;

– **разработке** модели для оценки влияния рассеяния поля на окружающих неоднородностях на результаты определения начальных коэффициентов

передачи каналов и на диаграмму направленности ФАР при различных расстояниях от юстировочной антенны и источника рассеянного поля до апертуры ФАР;

– **разработке** и экспериментальной проверке алгоритма калибровки ФАР по отдельным перекрывающимся секторам с последующим совмещением результатов и формированием массива начальных коэффициентов передачи каналов ФАР;

– **анализе** результатов, полученных в ходе расчётов и экспериментов;

– **реализации** методик и алгоритмов, разработанных в рамках диссертационной работы, на Delphi, C#, в среде MATLAB;

– **составлении** текстов публикаций по теме работы, а также личном участии в конференциях по тематике исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Полученные в работе оценки погрешностей следовало бы указывать с доверительными вероятностями;

2. Не проведено сравнение предложенного нового алгоритма калибровки ФАР по секторам с уже известными методами.

Соискатель Коротецкий Егор Валерьевич ответил на задаваемые ему в ходе дискуссии вопросы и привёл собственную аргументацию.

На основании вышеизложенного, диссертационный совет заключает, что рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой предложено решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для развития теории и техники антенных систем – обеспечение калибровки фазированных антенных решеток на открытых полигонах.

Диссертация Коротецкого Е.В. соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842.

На заседании 26 сентября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Коротецкому Е.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», участвующих в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 17, «против» 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель

диссертационного совета 24.2.327.01
д.т.н., профессор

Кузнецов Юрий
Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.327.01
к.т.н.

Горбунова Анастасия
Александровна

26.09.2023 г.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА

