

АО «КОНЦЕРН ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»



**ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ «СТРЕЛА»**

ПАО «НПО «СТРЕЛА»

М. Горького ул., д. 6, г. Тула, 300002
Тел./факс (4872) 47-05-60 / 34-11-26
e-mail: office@npostrela.net
ОКПО 07502868; ОГРН 1027100517256
ИНН/КПП 7103028233/710301001

«Утверждаю»

Генеральный конструктор

ПАО «НПО «Стрела», д.т.н.,

 Зайцев Н.А.

02 _____ 2021 г.



300002 г. Тула, ул. М. Горького, 6

Факс: (4872) 43-65-27

№ _____

На № _____ от _____

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Манаенкова Е.В.
«Малогабаритные фазированные антенные решетки Ка-диапазона», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация посвящена исследованию особенностей построения высокоточных малогабаритных сканирующих в широком секторе углов фазированных антенных решеток (ФАР) мм-диапазона длин волн с пространственным возбуждением моноимпульсными облучателями.

Тема диссертации актуальна с учетом возрастающего в настоящее время интереса к ФАР мм-диапазона с электрическим сканированием луча для мобильных, оперативно разворачиваемых наземных систем вооружения. Обычно в составе таких систем присутствуют РЛС сопровождения целей, характеристики которых во многом определяются характеристиками их антенной системы. Антенны таких систем в большинстве случаев представляют собой две антенные решетки с существенно отличающимися размерами. ФАР с размерами раскрытия порядка нескольких сотен длин волн используется для сопровождения объекта на большом удалении от РЛС (более 1 км), а на малом удалении от РЛС применяется ФАР с относительно небольшим размером апертуры.

Точность пеленгации объекта вблизи РЛС определяется точностью сопровождения объекта малогабаритной ФАР, одновременно с этим у таких антенн имеются существенные ограничения по точности установки луча при сканировании в широком секторе углов. Вследствие этого проблема повышения точности пеленгования с использованием малогабаритных ФАР мм-диапазона и

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«01» 04 2021 г.

определения факторов, влияющих на эту точность, а также реально достижимых границ пеленгования является чрезвычайно актуальной задачей, позволяющей определить потенциально достижимые характеристики РЛС. Решение такой задачи требует применения комплексного подхода, учитывающего алгоритмическую, схмотехническую и электродинамическую природу возникновения ошибок.

Вопросы создания проходных ФАР рассматривались рядом авторов, однако до сих пор остаются неясными пределы достижения максимальной точности пеленгования при комплексном учете всех факторов. Необходимость продолжения исследований в этом направлении обусловлена также развитием элементной базы и технологий, поиском новых технических решений при создании малогабаритных антенн РЛС, что делает диссертационную работу Манаенкова Е.В. «Малогабаритные фазированные антенные решетки Кадиапазона» актуальной. Автор в своей работе использует аппарат теории антенн и устройств СВЧ; численные электродинамические методы моделирования; численные методы оптимизации целевых функций; физический эксперимент и экспериментальную проверку основных теоретических результатов.

Рецензируемая работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обоснована актуальность разработки малогабаритных сканирующих ФАР мм-диапазона, сформулированы цели и задачи исследований, отмечены научная новизна и практическая значимость работы, представлена структура диссертации. Отмечено, что при разработке и исследовании малогабаритных ФАР с размерами раскрывов, не превышающими нескольких десятков длин волн, выявлены существенные ограничения по точности установки луча при его сканировании в широком угловом секторе. Это приводит к увеличению ошибок пеленгования при использовании таких ФАР в составе малогабаритных моноимпульсных РЛС сопровождения целей.

В первой главе проведен анализ результатов, достигнутых в области разработки ФАР моноимпульсных РЛС сопровождения целей, определены возможные схемы построения таких антенн и сформулированы требования, предъявляемые к характеристикам ФАР рассматриваемого диапазона длин волн. Помимо этого, представлены результаты анализа факторов, влияющих на

характеристики малогабаритных ФАР мм-диапазона длин волн с пространственным распределением мощности.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию алгоритма моделирования характеристик направленности ФАР проходного типа, которые определяются как характеристиками облучателя, так и характеристиками излучающего полотна, в частности, параметрами отдельных интегрированных излучателей-фазовращателей. Получены основные соотношения для моделирования характеристик направленности ФАР проходного типа.

В третьей главе проводится подробный анализ точности пеленгования с помощью ФАР рассматриваемого типа с учетом их характеристик направленности, оцененных в предыдущей главе. На первом этапе сравнивается потенциальная точность пеленгования с использованием цифровой ФАР с точностью пеленгования ФАР с моноимпульсным суммарно-разностным методом пеленгования. На втором этапе проводится анализ реальной моноимпульсной ФАР в режиме приема. Полученные результаты позволили автору определить максимально допустимую детерминированную ошибку пеленгования из-за неточности суммирования полей в матрице облучателя. Кроме того, полученные соотношения могут быть использованы для формирования требований к допустимым случайным ошибкам фазирования, обеспечивающим заданную погрешность пеленгования при известных размерах антенны.

Четвертая глава посвящена анализу результатов экспериментального исследования макета проходной ФАР, проведенного с целью выявления причин снижения точности установки луча: исследование влияния фазовой подставки на точность пеленгования; экспериментальное определение СКО детерминированных ошибок; экспериментальное и теоретическое определение детерминированных ошибок в секторе сканирования; определение границ ошибок; сравнительный анализ результатов экспериментальных измерений и теоретических оценок. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что при классическом управлении фазовым распределением по элементам полотна ФАР при формировании луча в направлении на границу сектора сканирования ± 45 градусов фактические углы отклонения максимума суммарной ДН и минимумов разностных ДН отличаются от требуемых на величину, достигающую 100...120 угловых минут. Полученные в данной главе результаты позволили автору установить возможность повышения точности

пеленгования за счет внесения соответствующих поправок в результаты измерений.

В целом диссертация является законченным исследованием, в котором развиты основы теории ФАР, позволяющие рассчитывать и минимизировать ошибки установки луча. Полученные теоретические результаты подтверждены экспериментальными исследованиями.

В заключении диссертации сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы. Суммируя вышеизложенное, можно сформулировать основные новые научные результаты диссертации:

- проведено сравнение потенциальной точности пеленгования с использованием цифровой N-канальной ФАР и четырехканальной ФАР такой же конфигурации и размеров с моноимпульсным суммарно-разностным методом пеленгования;
- выполнен анализ основных факторов, влияющих на реальную точность пеленгования в сканирующих ФАР проходного типа;
- предложены и обоснованы электродинамические модели и проведено полномасштабное моделирование характеристик как отдельного излучателя в составе ФАР, так и ФАР в целом;
- развита методика экспериментально-теоретического анализа детерминированных и случайных ошибок установки нуля разностных ДН в секторе сканирования ФАР;
- разработана методика экспериментально-теоретического анализа случайных ошибок интегрированных излучателей-фазовращателей в секторе сканирования ФАР проходного типа;
- проведено комплексное исследование точности пеленгования в ФАР Кадиапазона в зависимости от ряда факторов, имеющих алгоритмическую, схемотехническую и электродинамическую природу возникновения, и установлено, что при оптимизации точности пеленгования основным препятствием для сужения границ ошибок являются ошибки интегрированных излучателей-фазовращателей;
- показано, что при использовании современной технологии производства интегрированных излучателей-фазовращателей и других элементов ФАР возможно достижение точности установки луча в разностной ДН порядка 0,02 от ширины суммарной ДН в секторе сканирования ± 45 градусов.

Правильность и достоверность результатов подтверждаются адекватностью используемого математического аппарата, понятной физической обоснованностью полученных результатов и хорошим совпадением результатов численного моделирования с результатами экспериментального исследования.

Сформулированные основные защищаемые положения являются значимыми и отвечают основному содержанию работы. Полученные в диссертации результаты можно охарактеризовать как решение важной научно-технической задачи, направленной на существенное улучшение характеристик малогабаритных ФАР Ka-диапазона. Автореферат и опубликованные статьи также правильно отражают материалы диссертационной работы.

Практическая ценность работы подтверждена тем, что разработанные методики и экспериментальные результаты нашли применение в ряде ОКР, в частности, в работах «РЛСН», «Панцирь-СМ», «Панцирь-С1М». Результаты диссертационной работы хорошо известны специалистам, т.к. докладывались на представительных научно-технических конференциях и опубликованы в известных журналах.

Диссертационная работа написана на высоком научно-техническом уровне и содержит большое количество расчетных и экспериментальных графиков, упрощающих ее понимание. Объем и оформление работы соответствует требованиям ВАК для кандидатских диссертаций. Полученные в диссертационной работе результаты достоверны, а выводы и заключения имеют четкое обоснование.

В качестве замечания по работе можно отметить недостаточно полную освещенность схемотехнических и алгоритмических факторов, влияющих на точность установки луча, а также отсутствие анализа влияния на точность установки луча конечности значения поляризационной развязки как моноимпульсного облучателя, так и интегрированного излучателя-фазовращателя.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертация является законченной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной научной задачи – задачи повышения точности установки луча в малогабаритных ФАР Ka-диапазона.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.12.07, а

соискатель Е.В. Манаенков заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв обсужден на заседании секции НТС ПАО «НПО «Стрела»
(Протокол № 1/1 от 19.02.2021 г.)

Ученый секретарь НТС, к.т.н. _____ В.К. Гаврилин