

Электродинамика и антенные системы

УДК 621.396.67

Анализ влияния изменения параметров ППМ на направленные свойства АФАР

Федосеева Е.В., Захаров А.И., Кокуров Н.В.

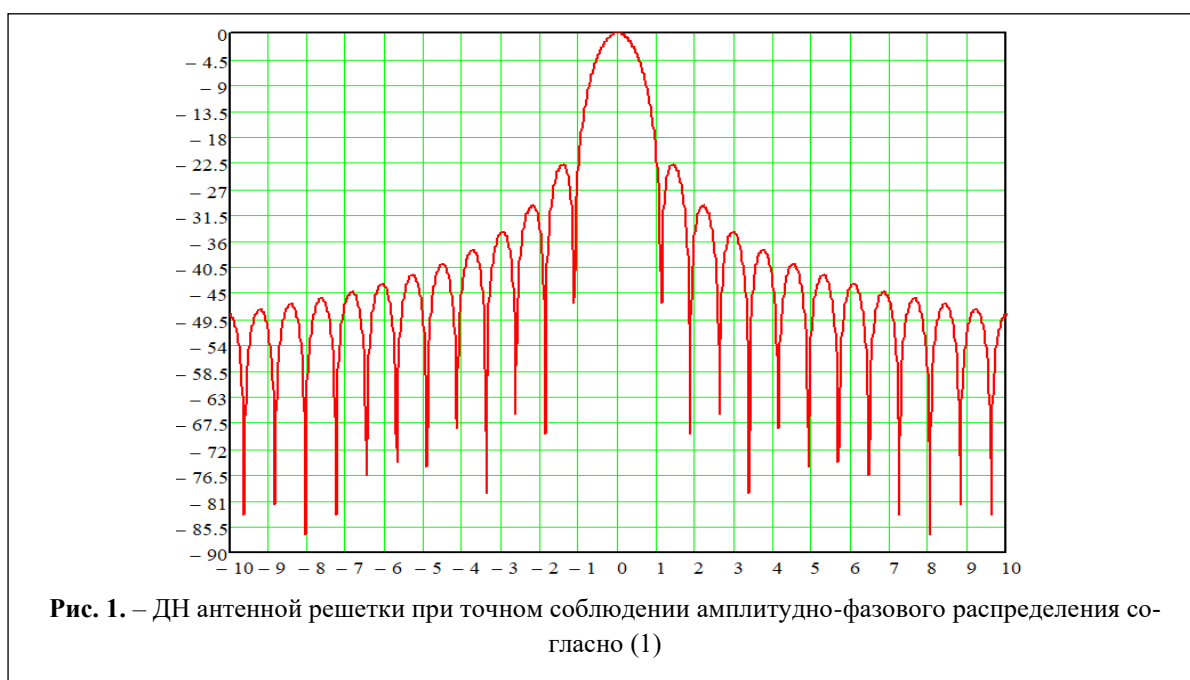
В данной статье представлены результаты исследования влияния изменения параметров приемо-передающих модулей (ППМ) на направленные свойства активных антенных решеток (АФАР). Рассмотрены четыре варианта расположения ППМ с введенными предельными вариациями коэффициента передачи и фазы. Получены результаты расчета ДН АФАР при наличии группы ППМ с параметрами, отличающимися от номинальных их значений.

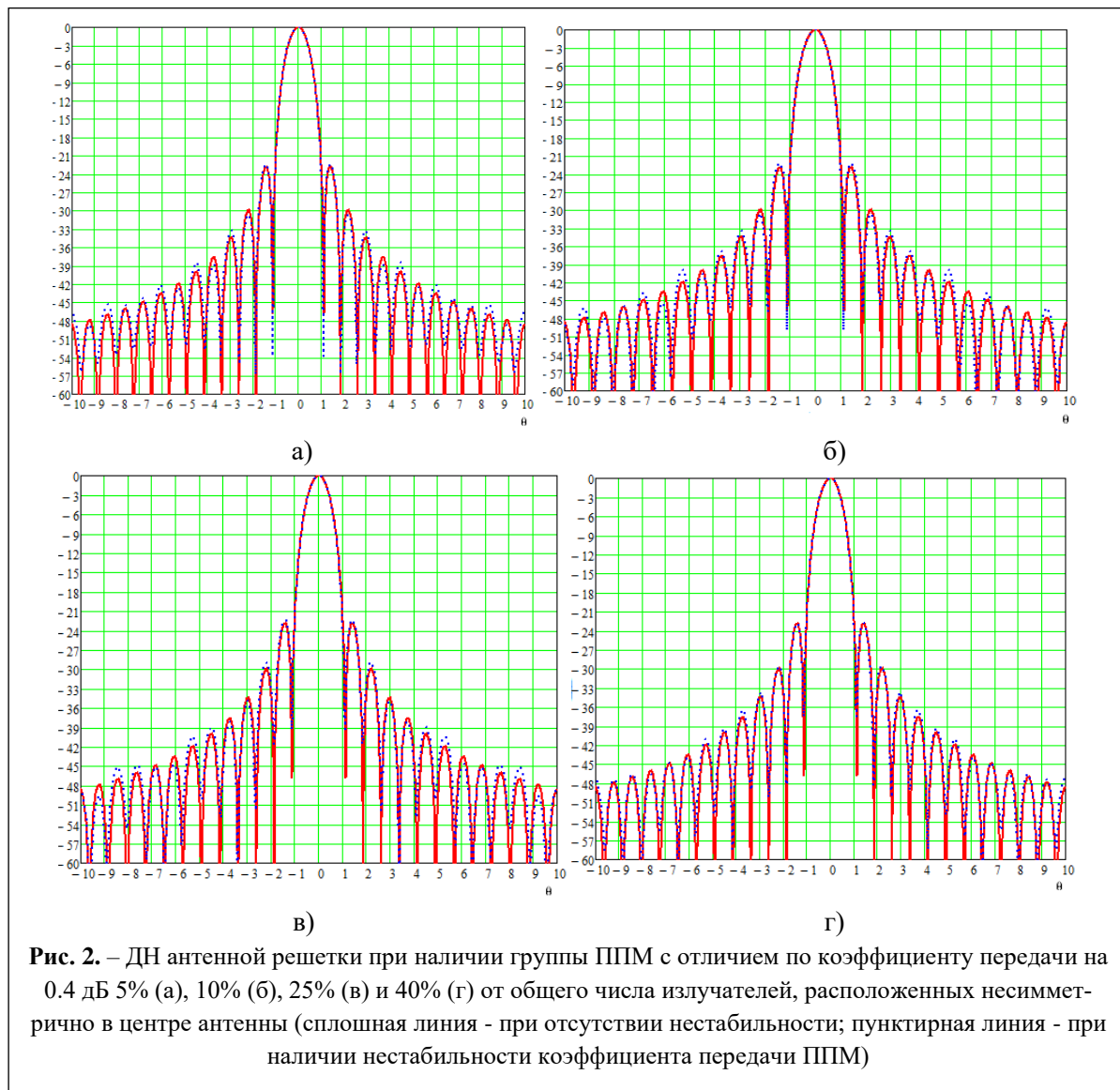
Ключевые слова: активные антенные фазированные решетки, диаграмма направленности, приемо-передающие модули.

Введение

Активные фазированные решетки - это современный вариант антенной системы, позволяющей реализовать электрическое сканирование в пространстве при требуемом уровне бокового излучения за счет формирования определенного амплитудно-фазового распределения поля по апертуре антенны путем управления амплитудой и фазой сигнала на выходе ППМ каждого излучателя антенны [1,2]. Современные ППМ реализуют возможность управления как амплитудой, так и фазой их коэффициента передачи.

Реализация определенного амплитудного распределения поля по излучающей апертуре антенны задает, как ширину главного лепестка ДН антенны, так и уровень боковых лепестков ДН. Количество излучателей и занимаемая ими площадь - основной фактор, определяющий ширину главного лепестка ДН. Ширина ДН минимальна при реализации равномерного распределения поля по апертуре антенны, но при этом имеет место высокий уровень бокового излучения. Для уменьшения уровня боковых лепестков реализуется амплитудное распределение поля, спадающее к краю апертуры, что обеспечивается в АФАР





заданием определенного коэффициента передачи ППМ для каждого излучателя [3].

В данной работе анализируется влияние нестабильности амплитуды и фазы коэффициентов передачи ППМ на направленные свойства АФАР при условии нестабильности в пределах, заданных техническими условиями, при различном числе указанных ППМ и разных вариантах их расположения на полоте АФАР.

Плоская активная фазированная антенная решетка

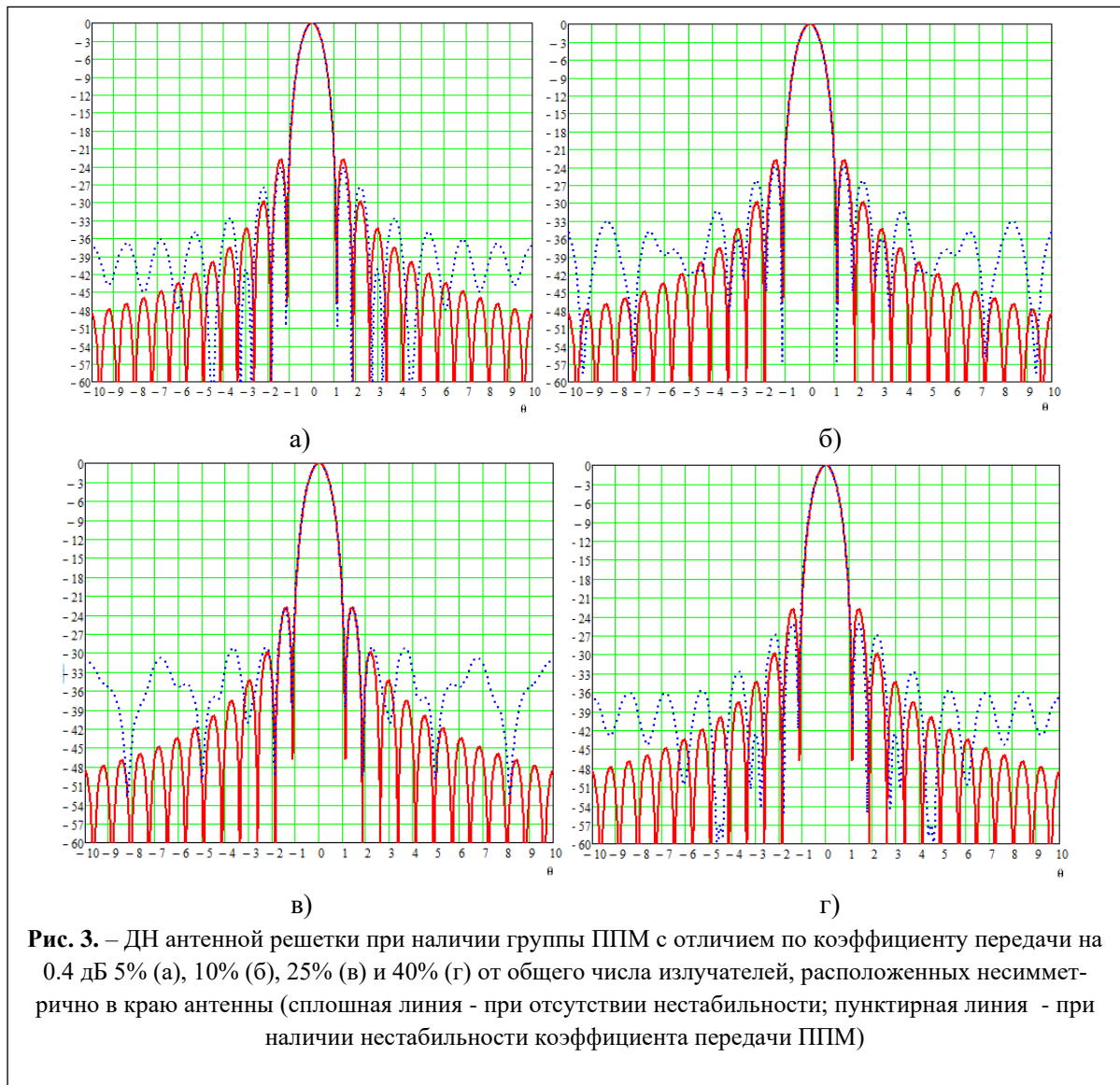
В качестве базового варианта для анализа влияния нестабильности параметров ППМ на направленные свойства АФАР была выбрана модель плоской антенной решетки,

реализующей ДН с шириной главного лепестка по уровню половинной мощности 1° при уровне бокового излучения не более -18дБ, что обеспечивается амплитудным распределением поля по апертуре антенны, определяемым формулой [4]

$$f(i) = \Delta + (1 - \Delta) \cos\left(\frac{\pi \cdot i}{m}\right), \quad (1)$$

где Δ - уровень амплитудного распределения на краю антенной решетки, принятый равным 0,1 для обеспечения величины максимального бокового излучения -18 дБ.

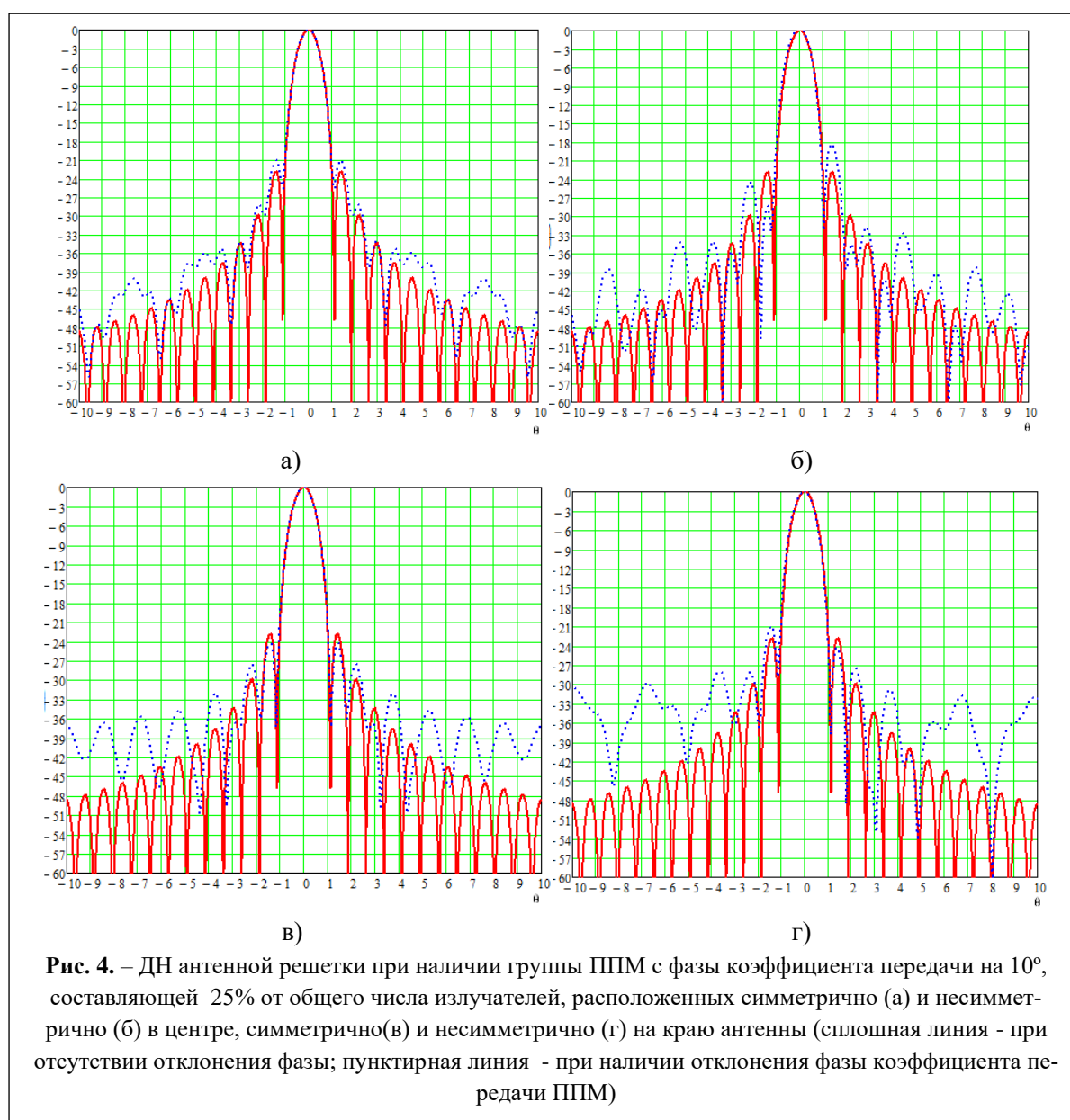
Был выполнен расчет количества излучателей и геометрических размеров антенной решетки для частоты 9 ГГц. Были получены значения количества излучателей в каждой



линейке антенной решетки и количество линеек равным 144. На рис. 1 приведена ДН антенной решетки при точном соблюдении заданного амплитудного распределения, согласно (1).

Анализ технической документации на современные ППМ показал, что для исследования влияния нестабильности коэффициента их передачи величину изменения этого параметра можно задать в пределах 0,4 дБ, а предельное отклонение фазы коэффициента передачи - 10° . При выполнении исследований влияния нестабильности коэффициента передачи и отклонения фазы были приняты следующие упрощающие предположения: рассматривались группы ППМ, составляющих 5, 10, 25 и 40 % от всего количества излучателей

антенной решетки, что позволило оценить предельное влияние указанных факторов на ДН АФАР.



Влияние нестабильности коэффициента передачи ППМ на ДН АФАР

При оценке влияния нестабильности коэффициентов передачи ППМ были рассмотрены случаи расположения группы указанных ППМ симметрично и несимметрично относительно середины антенной решетки в центре и с краю. На рис. 2 показаны ДН АФАР с группой ППМ излучателей, составляющих 5, 10, 25 и 40% от всех излучателей антенны и расположенных в центре несимметрично относительно середины антенны, а на рис.3 - с краю антенной решетки.

Анализ полученных результатов показал различие влияния нестабильности коэффициента передачи группы ППМ. по-разному

расположенных относительно средней точки антенной решетки. В частности, влияния группы ППМ с коэффициентом передачи, отличающимся от номинального на 0,4 дБ, расположенных с краю антенной решетки проявилось сильнее в области бокового излучения, по сравнению с случаем их расположения в центральной части антенной решетки. Обобщенные результаты оценки влияния нестабильности коэффициента передачи группы ППМ излучателей АФАР приведены в Таблице 1.

Влияние отклонения фазы коэффициента передачи ППМ на ДН АФАР

В отличие от влияния нестабильности коэффициента передачи ППМ на ДН АФАР влияние отклонения фазы дополнительно проявляется в отклонении главного лепестка от направления осевого перпендикуляра. На рис. 4 показаны ДН антенной решетки при наличии группы ППМ с отклонением по фазе на 10° при условии доли таких ППМ от общего количества 25% при расположении их в центре и с

Анализ сводных результатов, приведенных в Таблицах 2 и 3, показывает, что несимметричное расположение излучателей с отклонением по фазе коэффициентов передачи ППМ приводит к большему изменению ДН, особенно в отношении смещения направления максимального излучения.

Заключение

Таким образом полученные результаты оценки влияния нестабильности параметров

Таблица 1 Влияние нестабильности коэффициента передачи ППМ излучателей на направленные свойства АФАР - максимальный уровень бокового излучения в ДН

| Расположение ППМ | Доля ППМ с отклонением коэффициента передачи на 0,4 дБ в общем количестве ППМ АФАР, % | | | |
|------------------------|---|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 25 | 40 |
| В центре несимметрично | -22 | -21,7 | -21,4 | -21,5 |
| В центре симметрично | -22 | -22,1 | -22,5 | -22,8 |
| С краю несимметрично | -24,3 | -25,3 | -24,3 | -23,4 |
| С краю симметрично | -24,1 | -25,2 | -24,3 | -22,9 |

краю решетки симметрично и несимметрично относительно середины.

В Таблицах 2 - 3 приведены значения максимального уровня бокового излучения в ДН антенны и указано смещение главного лепестка при наличии группы ППМ с отклонением фазы коэффициента передачи на 10° .

ППМ на ДН АФАР показали зависимость этого влияния от доли таких модулей в общем количестве и от симметричности их расположения на антенной решетке. Приведенные значения параметров ДН в данном случае можно рассматривать, как предельные значения, характеризующие изменение

Таблица 2 Влияние отклонения фазы коэффициента передачи ППМ излучателей на направленные свойства АФАР - максимальный уровень бокового излучения в ДН

| Расположение ППМ | Доля ППМ с отклонением фазы на 10° в общем количестве ППМ АФАР, % | | | |
|------------------------|--|-------|--------|-------|
| | 5 | 10 | 25 | 40 |
| В центре несимметрично | -22,3 | -22,1 | -21, | -21,4 |
| В центре симметрично | -21,7 | -20,8 | -18,85 | -19,2 |
| С краю несимметрично | -22,9 | -22,8 | -21,3 | -22,3 |
| С краю симмет- | -22,9 | -25,2 | -24,3 | -21,9 |

направленных свойств АФАР, так как принималось расположение ППМ с отклонениями параметров от номинальных в виде отдельной группы в составе антенной решетки.

Литература

1. Воскресенский, Д.И. Активные антенные решетки (обзор) / Д.И. Воскресенский; под ред. Д.И. Воскресенского. – М.: Известия ВУЗов МВ и ССО. Радиоэлектроника, 2004. – 488с.

антенных решетках / Л.Н. Григорьев; под. ред. И. А. Кузьмина. – М.: Радиотехника, 2010. – 144 с.

3. Карасев, М.С. Перспективный многофункциональный префо-передающий модуль АФАР Х-диапазона / М.С. Карасев, А.Г. Далингер, С.В. Шацкий, В.А. Жерновенков // Электронная техника - Серия 1. СВЧ-техника. Выпуск 1 (532). - С. 45-48

4. Кочетков, В.А. Численные методы и инструменты моделирования антенных решёток СВЧ диапазона / В.А. Кочетков; под ред. В.А. Кочеткова – М.: Известия ТГУ, 2021. – 101 с.

Таблица 3 Влияние отклонения фазы коэффициента передачи ППМ излучателей на направленные свойства АФАР - направление максимального излучения в ДН

| Расположение ППМ | Доля ППМ с отклонением фазы на 10° в общем количестве ППМ АФАР, % | | | |
|------------------------|---|------|------|------|
| | 5 | 10 | 25 | 40 |
| В центре несимметрично | 0 | 0,23 | 1,15 | 2,3 |
| В центре симметрично | 0 | 0 | 0 | 0 |
| С краю несимметрично | 0,14 | 0,34 | 1,5 | 2,5 |
| С краю симметрично | 0 | 0,13 | 0,23 | 0,33 |

2. Григорьев, Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных

Поступила 07 мая 2023 г.

This article presents the results of a study of the effect of changing the parameters of the receiving and transmitting modules (PPM) on the directional properties of active antenna arrays (AFAR). Four options for the location of the PPM with the introduced limiting variations of the transmission coefficient and phase are considered. The results of calculating the AFAR DN in the presence of a group of PM with parameters different from their nominal values are obtained.

Keywords: active phased array antennas, directional pattern, receiving and transmitting modules.

Федосеева Елена Валерьевна – д.т.н., доцент, профессор кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.

Захаров Алексей Игоревич – магистрант кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: zaharov.sania2017@yandex.ru.

Кокуров Никита Викторович – студент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: n.kokurov@yandex.ru.

Адрес: 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.