

## Влияние локально-плоских искажений излучающего раскрыва на диаграмму направленности фазированной антенной решетки

М. Р. Бибарсов<sup>1,3</sup>✉, Г. Ш. Бибарсова<sup>1</sup>,  
Д. Д. Габриэльян<sup>2</sup>, С. В. Дворников<sup>1,3</sup>, Д. С. Федоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Военная академия связи, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГУП "РНИИРС", Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

✉bibarsovmr@rambler.ru

### Аннотация

**Введение.** В настоящее время на космических аппаратах различного назначения широко применяются фазированные антенные решетки (ФАР) больших геометрических размеров. Конструкция ФАР предполагает развертывание ее секций в космическом пространстве для формирования плоскости излучающего раскрыва. Однако при развертывании такой конструкции могут возникать локально-плоские нарушения излучающего раскрыва, что приводит в свою очередь к искажению исходного амплитудно-фазового распределения (АФР) при правильном развертывании антенны. В результате изменяется форма диаграммы направленности (ДН), в частности смещается ее главный максимум и увеличивается уровень боковых лепестков. В этих условиях для обеспечения формирования ДН с заданными параметрами необходимо корректировать АФР в ФАР.

**Цель работы.** Разработка метода, позволяющего при известных параметрах нарушений геометрии излучающего раскрыва корректировать АФР в ФАР.

**Материалы и методы.** Метод основан на условии минимизации среднеквадратического отклонения формируемой после коррекции ДН от исходной ДН в отсутствие нарушений раскрыва. Основой метода является формирование переопределенной системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), связывающей параметры нарушений геометрии с искажениями ДН. Каждое из уравнений СЛАУ соответствует определенному угловому направлению в пространстве, в котором накладывается условие совпадения исходной и корректируемой ДН.

**Результаты.** Предложен метод коррекции АФР при наличии локально-плоских нарушений излучающего раскрыва ФАР. Проведено исследование на основе численного моделирования взаимосвязи параметров нарушений и характеристик направленности. Приведены основные соотношения и результаты численного моделирования, в частности амплитудные распределения, а также сечения формируемых ДН и разности нормированных ДН при наличии погрешностей развертывания полотна ФАР без коррекции и с коррекцией АФР.

**Заключение.** Полученные результаты показывают, что при отсутствии коррекции АФР в раскрыве ФАР не обеспечивается формирование ДН с заданными параметрами. В частности, наблюдается смещение главного максимума ДН и изменение характера огибающей боковых лепестков. В то же время выполнение коррекции АФР позволяет сохранить ДН практически без изменения.

**Ключевые слова:** фазированная антенная решетка, излучающий раскрыв, амплитудно-фазовое распределение, локально-плоские нарушения, минимум среднеквадратического отклонения, диаграмма направленности

**Для цитирования:** Влияние локально-плоских искажений излучающего раскрыва на диаграмму направленности фазированной антенной решетки / М. Р. Бибарсов, Г. Ш. Бибарсова, Д. Д. Габриэльян, С. В. Дворников, Д. С. Федоров // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2023. Т. 26, № 1. С. 17–25. doi: 10.32603/1993-8985-2023-26-1-17-25

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.12.2022; принята к публикации после рецензирования 27.01.2023; опубликована онлайн 28.02.2023



## Effect of Locally Flat Distortions in the Radiating Aperture on the Radiation Pattern of a Phased Antenna Array

Marat R. Bibarsov<sup>1,3✉</sup>, Gulnara Sh. Bibarsova<sup>1</sup>,  
Dmitry D. Gabriel'ean<sup>2</sup>, Sergey V. Dvornikov<sup>1,3</sup>, Danil S. Fedorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Military Telecommunications Academy, St Petersburg, Russia

<sup>2</sup> FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", Rostov-on-Don, Russia

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St Petersburg, Russia

✉ bibarsovmr@rambler.ru

### Abstract

**Introduction.** Phased antenna arrays (PAA) of large geometric dimensions find wide application in various spacecraft systems. The PAA design assumes the deployment of its sections in outer space to form a plane of the radiating aperture. However, when implementing such a design, locally flat violations of the radiating aperture may occur. In turn, this may lead to distortion of the original amplitude and phase distribution (APD) under the correct antenna deployment. As a result, the shape of the radiation pattern (RP) changes, in particular, its main maximum shifts and the level of side lobes increases. Under these conditions, in order to ensure the formation of a pattern with the given parameters, it is necessary to correct the APD in a PAA.

**Aim.** To develop a method for correcting the APD in a PAA under the known parameters of violations in the radiating aperture geometry.

**Materials and methods.** The method is based on the condition of minimizing the root-mean-square deviation of the RP formed after correction from the original RP in the absence of aperture violations. The basis of the method is the formation of a redefined system of linear algebraic equations (SLAE) connecting the parameters of geometry violations with RP distortions. Each of the SLAE equations corresponds to a certain angular direction in space, in which the condition of coincidence of the original and corrected RP is imposed.

**Results.** A method for correcting the APD in the presence of locally flat violations of the PAA radiating aperture is proposed. Numerical simulation of the relationship between the parameters of violations and the directional characteristics was carried out. The main relations and results of numerical simulation are presented, in particular, the amplitude distributions, as well as the cross sections of the formed RP and the difference of the normalized RP in the presence of errors in the deployment of the PAA web both without and with APD correction.

**Conclusion.** The results obtained show that, in the absence of APD correction in the PAA aperture, the formation of RP with the given parameters cannot be ensured. In particular, there is a shift of the main maximum of the RP and a change in the nature of the envelope of the side lobes. At the same time, APD correction makes it possible to maintain the RP practically unchanged.

**Keywords:** phased antenna array, radiating aperture, amplitude and phase distribution, locally flat violations, minimum root-mean-square deviation, radiation pattern

**For citation:** Bibarsov M. R., Bibarsova G. Sh., Gabriel'ean D. D., Dvornikov S. V., Fedorov D. S. Effect of Locally Flat Distortions in the Radiating Aperture on the Radiation Pattern of a Phased Antenna Array. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2023, vol. 26, no. 1, pp. 17–25. doi: 10.32603/1993-8985-2023-26-1-17-25

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

Submitted 26.12.2022; accepted 27.01.2023; published online 28.02.2023

**Введение.** Исследованию синтеза диаграмм направленности (ДН) фазированных антенных решеток (ФАР), которые находят широкое применение в различных радиотехнических системах, посвящено большое количество работ [1–14]. Однако использование ФАР больших геометрических размеров в космическом пространстве связа-

но с необходимостью применения развертываемых конструкций, что выявляет определенные особенности при формировании ДН с заданными параметрами. Развертывание таких конструкций сопряжено с возможным появлением локально-плоских нарушений излучающего раскрыва, как показано, например, на рис. 1.

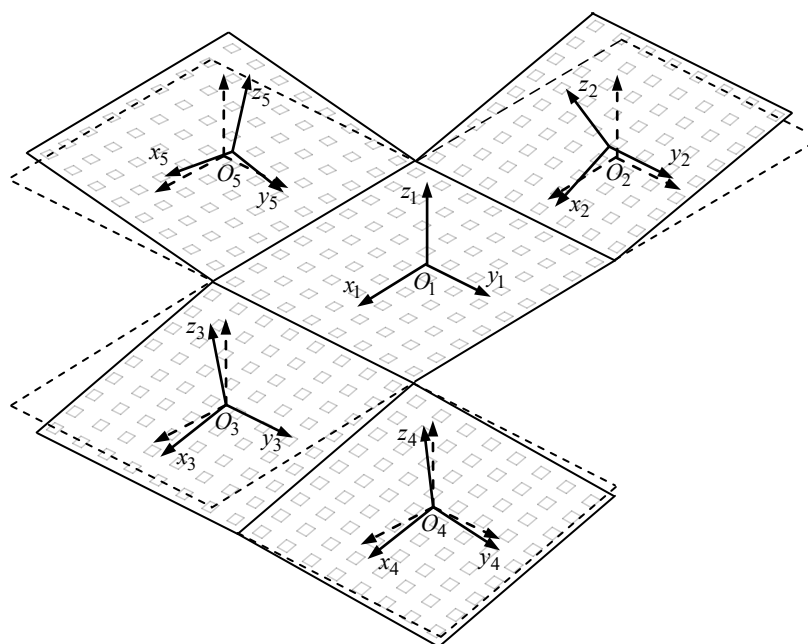


Рис. 1. Общее представление раскрыва ФАР после развертывания

Fig. 1. General view of the phased antenna arrays (PAA) aperture after deployment

Такие нарушения приводят к искажению амплитудно-фазового распределения (АФР) излучающего раскрыва ФАР и тем самым к смещению главного лепестка ДН и увеличению уровня бокового излучения. Вследствие больших высот расположения космических аппаратов даже незначительное смещение максимума ДН (единицы градусов) приводит к значительной ошибке направления приема радиосигнала на земной поверхности (десятки километров).

Целью настоящей статьи является разработка метода, позволяющего при известных параметрах нарушений геометрии излучающего раскрыва корректировать АФР в ФАР.

Задачи:

1. Разработка метода коррекции АФР при наличии локально-плоских нарушений излучающего раскрыва.
2. Исследование на основе численного моделирования взаимосвязи параметров искажений и характеристик направленности.

**Постановка задачи.** Рассмотрим развертываемую ФАР, излучающий раскрыв которой образован  $N$  секциями. Каждая секция содержит  $M_n$  ( $n=1, \dots, N$ ) излучателей. Развертывание ФАР происходит путем поворота секций вдоль осей  $O_n x_n$  или  $O_n y_n$  в зависимости от положения секции в составе излучающего рас-

крыва. Одна из секций (секция 1) жестко зафиксирована на корпусе носителя и не изменяет своего положения в ходе развертывания и эксплуатации. Остальные секции ФАР при этом формируют плоскость излучающего раскрыва после развертывания антенной системы. Ориентация секций в пространстве относительно друг друга определяется углами поворота  $\alpha_n^{(x)}$ ,  $\alpha_n^{(y)}$  вокруг, соответственно, осей  $O_n x_n$  и  $O_n y_n$ , связанных с секциями, как показано на рис. 1.

Система координат  $Oxyz$ , связанная с носителем антенны, задается следующим образом:

- оси  $Ox$  и  $Oy$  направлены вдоль строительных осей конструкции носителя;
- ось  $Oz$  направлена по нормали к плоскости центральной неподвижной секции ФАР из ее геометрического центра.

Системы координат  $O_n x_n y_n z_n$ , связанные с секциями ФАР, заданы следующим образом:

- ось  $O_n z_n$  направлена из центра  $n$ -й секции по нормали к ее плоскости;
- оси  $O_n x_n$ ,  $O_n y_n$  и  $O_n z_n$  при правильном развертывании антенны параллельны, соответственно, осям  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  и образуют правую систему координат.

Известными являются координаты излучателей в составе каждой секции, АФР, обеспечивающее при правильном развертывании антенны формирование ДН заданной формы, углы  $\alpha_n^{(x)}$ ,  $\alpha_n^{(y)}$ , определяющие погрешность развертывания соответствующей секции ФАР.

Требуется при неправильном развертывании антенны определить необходимое АФР в раскрывах ФАР, минимизирующее среднеквадратическое отклонение между формируемой при штатном развертывании антенны ДН  $F(\theta, \varphi)$  и заданной ДН  $F_0(\theta, \varphi)$ , соответствующей штатному развертыванию антенны:

$$\Delta = \frac{\int_0^\pi \int_0^\pi |F(\theta, \varphi) - F_0(\theta, \varphi)|^2 \Omega^2(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi}{\int_0^\pi \int_0^\pi |F_0(\theta, \varphi)|^2 \sin \theta d\theta d\varphi}, \quad (1)$$

где  $\Omega(\theta, \varphi)$  – весовая функция, учитывающая требования к точности приближения заданной и реализуемой ДН в различных угловых направлениях;

$$F_0(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} W_{n,m} E(\theta, \varphi; x_{n,m}, y_{n,m}); \quad (2)$$

$$F(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} A_{n,m} E(\theta_n, \varphi_n; x_{n,m}, y_{n,m}); \quad (3)$$

$W_{n,m}$  – комплексная амплитуда возбуждения  $m$ -го антенного элемента  $n$ -й секции, обеспечивающая формирование заданной ДН при отсутствии локально-плоских нарушений излучающего раскрыва;  $A_{n,m}$  – комплексная амплитуда возбуждения  $m$ -го антенного элемента  $n$ -й секции, обеспечивающая формирование ДН, наименее уклоняющейся от заданной в смысле (1) при наличии локально-плоских нарушений излучающего раскрыва;  $E(\theta_n, \varphi_n; x_{n,m}, y_{n,m}) = \exp\left\{-ik\left[\sin \theta_n (x_{n,m} \cos \varphi_n + y_{n,m} \sin \varphi_n)\right]\right\}$  – пространственный фазовый сдвиг для направления наблюдения  $(\theta_n, \varphi_n)$ ;

$\theta_n, \varphi_n$  – углы, задающие в системе координат  $O_n x_n y_n z_n$  направление, определяемое углами  $\theta$  и  $\varphi$  в системе координат  $Oxyz$ .

**Основные соотношения.** Взаимосвязь между парами углов  $\theta, \varphi$  и  $\theta_n, \varphi_n$ , определяющими направления прихода сигнала по отношению к нормали  $n$ -й секции в отсутствие искажений геометрии раскрыва ФАР, определяется матрицей  $T$ . При возникновении искажений геометрии раскрыва ФАР указанная взаимосвязь может быть представлена равенством

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_n \cos \varphi_n \\ \cos \theta_n \sin \varphi_n \\ \sin \theta_n \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \varphi \\ \cos \theta \sin \varphi \\ \sin \theta \end{pmatrix}, \quad (4)$$

в котором матрица  $T$  учитывает все необходимые повороты при развертывании  $n$ -й секции относительно системы координат  $Oxyz$ . Данная матрица может рассматриваться как частный случай матрицы Эйлера, соответствующий возможным поворотам сегмента относительно двух осей  $Ox$  и  $Oy$  [15, 16].

Коррекция АФР в раскрыве ФАР выполняется в соответствии с условием, представленным в (1) и (4) с учетом представления ДН формулами (2) и (3), соответствующими случаям наличия и отсутствия искажений геометрии излучающего раскрыва. Амплитудно-фазовое распределение, обеспечивающее минимизацию (1), определяется из решения переопределенной системы линейных алгебраических уравнений, связывающей параметры нарушений геометрии с искажениями ДН. Система уравнений получена для различных направлений, в которых накладывается условие совпадения заданной и формируемой ДН [17–19].

Приведенные соотношения определяют ДН ФАР с локально-плоскими нарушениями излучающего раскрыва и позволяют представить статистические характеристики погрешности оценивания ДН при возникновении таких нарушений.

**Результаты моделирования.** На рис. 2 приведена геометрия излучающего раскрыва ФАР, на примере которой проведены исследования влияния возникающих локально-плоских нарушений излучающего раскрыва на ДН.

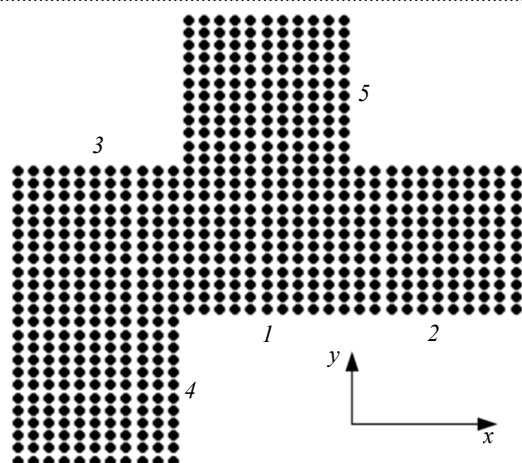


Рис. 2. Геометрия излучающего раскрыва ФАР

Fig. 2. Geometry of the PAA radiating aperture

Излучающий раскрыв ФАР образован пятью секциями по 132 (11 рядов по 12 излучателей в каждом). В каждой из секций при штатном развертывании предполагается формирование равноамплитудного синфазного распределения.

На рис. 3–5 приведены результаты численного моделирования в математической программной среде Mathcad 15, полученные при следующих погрешностях развертывания излучающего раскрыва:  $\theta_4^{(x)} = 5^\circ$ ,  $\theta_5^{(x)} = 5^\circ$ ,  $\theta_2^{(y)} = 5^\circ$  (по-

грешности развертывания относительно остальных осей отсутствуют).

На рис. 3 приведены амплитудные распределения, соответственно, в первой–пятой секциях ФАР при указанных погрешностях развертывания излучающего раскрыва.

На рис. 4, соответственно, показаны поперечные сечения формируемых ДН при наличии указанных погрешностей развертывания без коррекции (штриховая линия) и с коррекцией (сплошная линия) АФР. Приведенные результаты показывают, что локально-плоские нарушения геометрии излучающего раскрыва без проведения коррекции АФР приводят к смещению положения главного максимума ДН и росту уровня бокового излучения.

На рис. 5 для двух ортогональных сечений приведены разности нормированных ДН, получаемые без коррекции (сплошная линия) и с коррекцией (штриховая линия) АФР.

Возникающее смещение главного луча ДН при возникновении локально-плоских нарушений геометрии излучающего раскрыва приводит к значительному различию между заданной и формируемой ДН. В системах связи такое расхождение ДН практически не приводит к

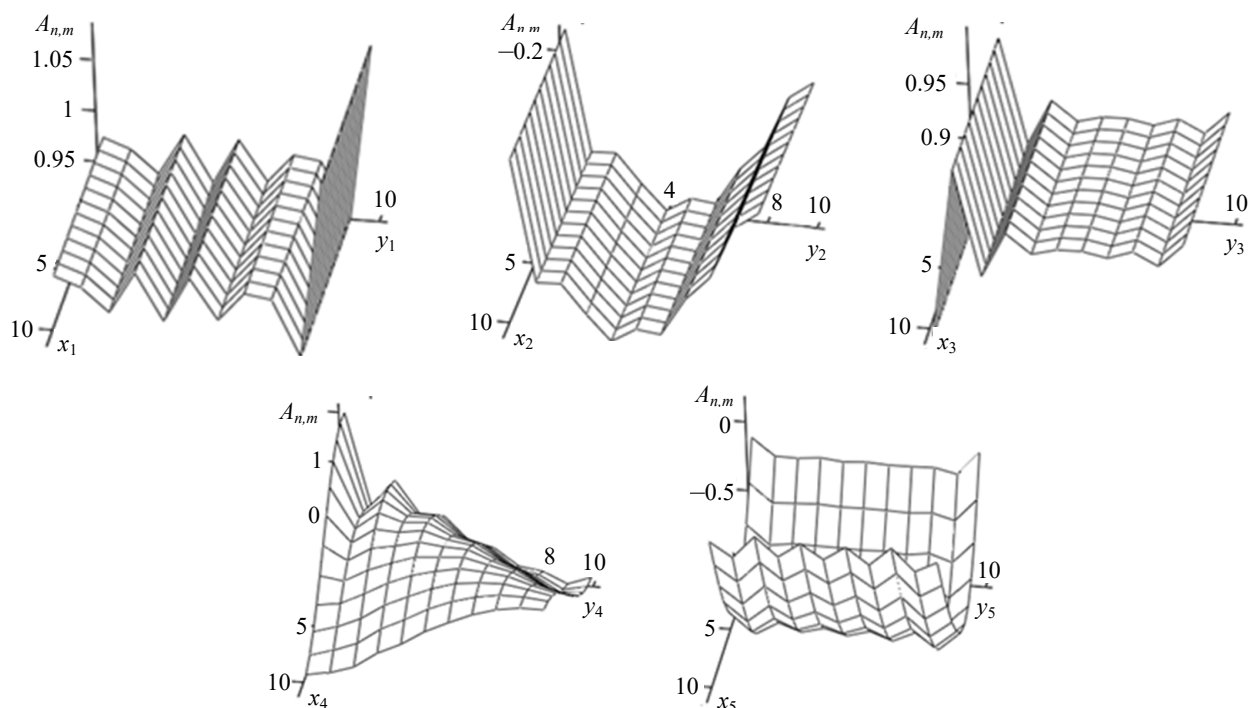


Рис. 3. Амплитудные распределения

Fig. 3. Amplitude distributions

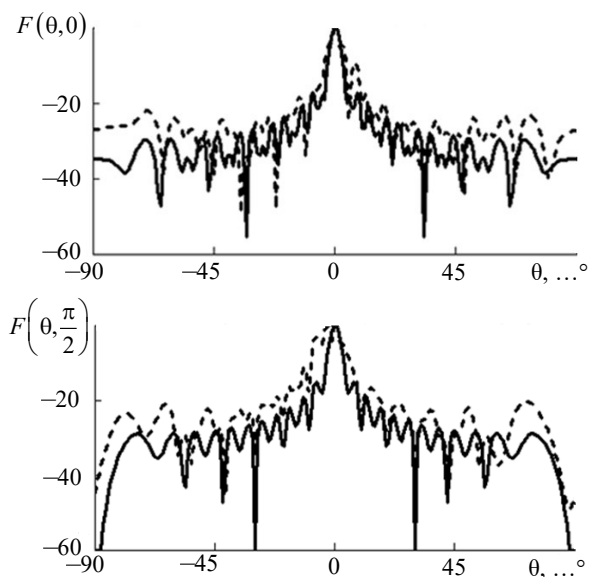


Рис. 4. Поперечные сечения формируемых ДН  
 Fig. 4. Cross sections of formed radiation pattern (RP)

изменению характеристик канала связи. Однако в системах радиолокации это приводит к ошибкам определения углового положения объекта или искажениям в получаемых радиолокационных изображениях.

Результаты, получаемые при других сочетаниях погрешностей развертывания сегментов ФАР, не имеют принципиальных отличий от приведенных на рис. 3–5.

**Заключение.** Рассмотрено современное состояние подхода к синтезу ДН ФАР больших геометрических размеров, располагающихся в космическом пространстве. В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Представлены основные соотношения, определяющие метод коррекции АФР при воз-

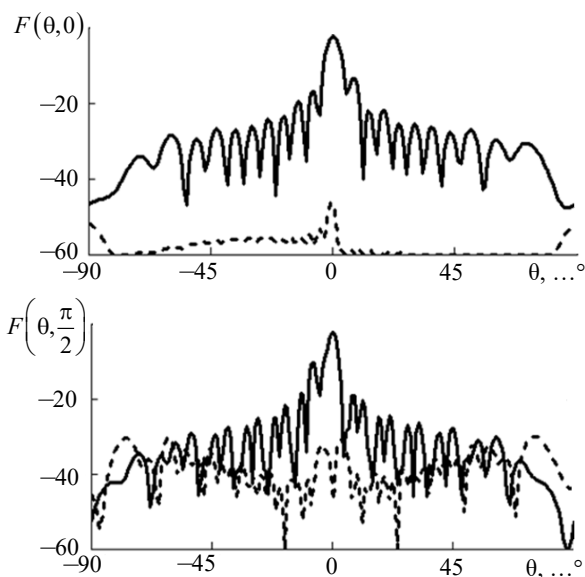


Рис. 5. Нормированные разности формируемых ДН  
 Fig. 5. Normalized differences of formed RP

никновении локально-плоских нарушений геометрии излучающего раскрыва ФАР.

2. Получены результаты исследований влияния локально-плоских нарушений геометрии излучающего раскрыва на характеристики направленности.

3. Показано, что при ошибках развертывания секций на единицы градусов предлагаемый метод позволяет восстанавливать характеристики направленности ФАР.

4. Направления дальнейших исследований связаны с анализом изменений ДН при возникновении не только локально-плоских нарушений геометрии раскрыва, но и нарушения его плоскостности, и, соответственно, с разработкой метода коррекции АФР в этом случае.

#### Авторский вклад

**Бибарсов Марат Рашидович** – теоретическое обоснование метода коррекции АФР в раскрыве ФАР.  
**Бибарсова Гульнара Шихмуратовна** – обработка результатов и формирование структуры статьи.  
**Габриэлян Дмитрий Давидович** – общая идея метода коррекции АФР в раскрыве ФАР.  
**Дворников Сергей Викторович** – постановка задачи коррекции АФР в раскрыве ФАР.  
**Федоров Данил Сергеевич** – компьютерное моделирование.

#### Author's contribution

**Marat R. Bibarsov**, theoretical substantiation of the APD correction method in the PAA aperture.  
**Gulnara Sh. Bibarsova**, processing the results and forming the structure of the article.  
**Dmitry D. Gabrielyan**, the general idea of the APD correction method in the PAA aperture.  
**Sergey V. Dvornikov**, setting the problem of APD correction in the PAA aperture.  
**Danil S. Fedorov**, computer modeling.

### Список литературы

1. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев; под ред. Д. И. Воскресенского. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Радиотехника, 2006. 376 с.
2. Воскресенский Д. И., Котов Ю. В., Овчинникова Е. В. Тенденции развития широкополосных фазированных антенных решеток (обзор работ) // Антенны. 2005. № 11 (102). С. 7–21.
3. Григорьев Л. Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. М.: Радиотехника, 2010. 144 с.
4. Хансен Р. С. Фазированные антенные решетки. 2-е изд. М.: Техносфера, 2012. 560 с.
5. Balanis C. A. Antenna Theory: Analysis and Design. 3rd ed. N. J.: John Wiley & Sons, 2005. 1136 p.
6. Зелкин Е. Г., Кравченко В. Ф. Синтез антенн на основе атомарных функций: в 2 кн. Кн. 2. М.: ИПРЖР, 2003. 72 с.
7. Volakis J. L. Antenna Engineering Handbook. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 2007. 1755 p.
8. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг – задачи, методы, средства / под ред. А. М. Рембовского. М.: Горячая линия-Телеком, 2010. 624 с.
9. Nelson Jorge G. F. Design and Implementation of a Closed Cylindrical BFN-Fed Circular Array Antenna for Multiple-Beam Coverage in Azimuth // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2012. Vol. 60, iss. 2. P. 863–869. doi: 10.1109/TAP.2011.2174956
10. Wideband and High-Gain Uniform Circular Array With Calibration Element for Smart Antenna Application / Tian Li, Fu-Shun Zhang, Fan Zhang, Ya-Li Yao, Li Jiang // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2016. Vol. 15. P. 230–233. doi: 10.1109/LAWP.2015.2438868
11. Кременецкий С. Д. Прикладные математические модели для решения задач синтеза, восстановления и коммуникаций // Антенны. 2004. Вып. 8–9. С. 88–96.
12. Miligan T. A. Modern antenna design. 2<sup>nd</sup> ed. N. J.: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 632 p.
13. Modern Antennas / S. Drabowitch, A. Papiernik, H. D. Griffiths, J. Encinas, B. L. Smith. New York: Springer, 2005. 703 p. doi: 10.1007/978-0-387-26231-4
14. Самойленко В. И., Шишов Ю. А. Управление фазированными антенными решетками / под ред. Г. Г. Бубнова. М.: Радио и связь, 1983. 240 с.
15. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. 4-е изд. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 552 с.
16. Габриэлян Д. Д., Волошин В. А., Оводов О. В. Синтез амплитудно-фазового распределения в антенных решетках с произвольным контуром // Антенны. 2010. № 2. С. 44–47.
17. Сравнение методов синтеза диаграмм направленности плоской фазированной антенной решетки с эллиптической формой границы раскрытия / В. А. Волошин, Д. Д. Габриэлян, А. Ю. Ларин, О. В. Оводов // Антенны. 2012. Вып. 9 (184). С. 62–65.
18. Synthesis of Amplitude-phase Distribution on Non-planar Surface on Given Vector Pattern / D. D. Gabriel'ayn, V. I. Demchenko, D. S. Fedorov, D. S. Fedorov // IEEE Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). Divnomorskoe, Russia, 26–30 June 2017. IEEE, 2017. P. 287–290. doi: 10.1109/RSEMW.2017.8103652
19. Синтез амплитудно-фазового распределения в квазиколецевой антенной решетке / М. Р. Бибарсов, Е. В. Грибанов, Д. Д. Габриэлян, Ден. С. Федоров, Дан. С. Федоров // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. Вып. 2. С. 28–33.

### Информация об авторах

**Бибарсов Марат Рашидович** – кандидат технических наук (1999), доцент (2007), старший преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, доцент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Автор 179 научных работ. Сфера научных интересов – системы передачи и приема информации; адаптивные антенные системы.

Адрес: Военная академия связи, пр. Тихорецкий, д. 3, Санкт-Петербург, 194064, Россия  
E-mail: Bibarsovmr@rambler.ru

**Бибарсова Гульнара Шихмуратовна** – кандидат педагогических наук (2006), доцент кафедры военной политической работы в войсках (силах) Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Автор 103 научных работ. Сфера научных интересов – правовое обеспечение информационных и коммуникационных технологий.

Адрес: Военная академия связи, пр. Тихорецкий, д. 3, Санкт-Петербург, 194064, Россия  
E-mail: bgsh2@rambler.ru

**Габриэлян Дмитрий Давидович** – доктор технических наук (1997), профессор (2000), заместитель начальника ФГУП "Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи". Автор 321 научных работ. Сфера научных интересов – электродинамика; устройства СВЧ; антенны; антенные решетки; комплексные системы связи.

Адрес: ФГУП "РНИИРС", ул. Нансена, д. 130, Ростов-на-Дону, 344038, Россия  
E-mail: rniirs@rniirs.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9883-8826>

**Дворников Сергей Викторович** – доктор технических наук (2009), профессор (2014) кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Автор 420 научных работ. Сфера научных интересов – радиотехника; системы передачи и приема информации; сигнально-кодовые конструкции.

Адрес: Военная академия связи, пр. Тихорецкий, д. 3, Санкт-Петербург, 194064, Россия

E-mail: practcdsv@yandex.ru

https://orcid.org/0000-0002-4889-0001

**Федоров Данил Сергеевич** – магистр по направлению "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" (2013, Южный федеральный университет), аспирант ФГУП "Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи". Автор 6 научных работ. Сфера научных интересов – радиофизика, радиотехника.

Адрес: ФГУП "РНИИРС", ул. Нансена, д. 130, Ростов-на-Дону, 344038, Россия

E-mail: dant65 @yandex.ru

## References

1. Voskresensky D. I., Gostyukhin V. L., Maksimov V. M., Ponomarev L. I. *Ustrojstva SVCh i anteny* [Microwave Devices and Antennas]. Ed. by D. I. Voskresensky. 2nd ed. Moscow, *Radiotekhnika*, 2006, 376 p. (In Russ.)
2. Voskresensky D. I., Kotov Yu. V., Ovchinnikova E. V. Trends in the Development of Broadband Phased Antenna Arrays (review of works). *Antenna*. 2005, no. 11 (102), pp. 7–21. (In Russ.)
3. Grigoriev L. N. *Cifrovoe formirovanie diagrammy napravlenosti v fazirovannykh antennnykh reshetkakh* [Digital Beamforming in Phased Antenna Arrays]. Moscow, *Radiotekhnika*, 2010, 144 p. (In Russ.)
4. Hansen R. S. *Phased Antenna Arrays*. 2nd ed. New Jersey, John Wiley & Sons, 2009, 551 p.
5. Balanis C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3rd ed. New Jersey, John Wiley & Sons, 2005, 1136 p.
6. Zelkin E. G., Kravchenko V. F. *Sintez antenn na osnove atomarnykh funktsiy* [Antenna Synthesis Based on Atomic Functions]. Moscow, *IPRZhR*, 2003, 72 p. (In Russ.)
7. Volakis J. L. *Antenna Engineering Handbook*. 4th ed. McGraw-Hill, 2007, 1755 p.
8. Rembovsky A. M., Ashikhmin A. V., Kozmin V. A. *Radiomonitoring – zadachi, metody, sredstva* [Radio Monitoring – Tasks, Methods, Means]. Moscow, *Online-Telecom*, 2010, 624 p. (In Russ.)
9. Nelson Jorge G. F. Design and Implementation of a Closed Cylindrical BFN-Fed Circular Array Antenna for Multiple-Beam Coverage in Azimuth. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2012, vol. 60, iss. 2, pp. 863–869. doi: 10.1109/TAP.2011.2174956
10. Tian Li, Fu-Shun Zhang, Fan Zhang, Ya-Li Yao, Li Jiang. Wideband and High-Gain Uniform Circular Array With Calibration Element for Smart Antenna Application. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2016, vol. 15, pp. 230–233. doi: 10.1109/LAWP.2015.2438868
11. Kremenetsky S. D. *Applied Mathematical Models for Solving Problems of Synthesis, Restoration and Communications*. *Antenna*. 2004, vol. 8–9, pp. 88–96. (In Russ.)
12. Miligan T. A. *Modern Antenna Design*. 2nd ed. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2005, 632 p.
13. Drabowitch S., Papiernik A., Griffiths H. D., Encinas J., Smith B. L. *Modern Antennas*. Springer, 2005, 703 p. doi: 10.1007/978-0-387-26231-4
14. Samoilenko V. I., Shishov Yu. A. *Upravlenie fazirovannykh antennnykh reshetkami* [Control of phased antenna arrays]. Moscow, *Radio and communication*, 1983, 240 p. (In Russ.)
15. Gantmakher F. R. *Teoriya matrits* [Matrix theory]. 4th ed. Moscow, *Nauka*, 1988, 552 p. (In Russ.)
16. Gabrielyan D. D., Voloshin V. A., Ovodov O. V. Synthesis of the Amplitude-Phase Distribution in Antenna Arrays with an Arbitrary Contour. *Antenna*. 2010, no. 2, pp. 44–47. (In Russ.)
17. Voloshin V. A., Gabrielyan D. D., Larin A. Yu., Ovodov O. V. Comparison of Methods for Synthesizing Radiation Patterns of a Flat Phased Antenna Array with an Elliptical Aperture Boundary. *Antenna*. 2012, vol. 9 (184), pp. 62–65. (In Russ.)
18. Gabrial'ayn D. D., Demchenko V. I., Fedorov D. S., Fedorov D. S. Synthesis of Amplitude-phase Distribution on Non-planar Surface on Given Vector Pattern. *IEEE Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*. *Divnomorskoe*, Russia, 26–30 June 2017. *IEEE*, 2017, pp. 287–290. doi: 10.1109/RSEMW.2017.8103652
19. Bibarsov M. R., Gribanov E. V., Gabrielyan D. D., Fedorov. Dan. S., Fedorov Den. S. Synthesis of the Amplitude-Phase Distribution in a Quasi-Ring Antenna Array. *J. of the Russian Universities. Radioelectronics*. 2017, vol. 2, pp. 28–33. (In Russ.)

## Information about the authors

**Marat R. Bibarsov**, Cand. Sci. (Eng.) (1999), Associate Professor (2007), Senior Lecturer of the Radio Communications Department of the Military Telecommunications Academy, Associate Professor of the Department of Radio-engineering and Fiber-optic Complexes of the Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Влияние локально-плоских искажений излучающего раскрытия на диаграмму направленности фазированной антенной решетки  
Effect of Locally Flat Distortions in the Radiating Aperture on the Radiation Pattern of a Phased Antenna Array



tion. The author of 179 scientific publications. Area of expertise: information transmission and reception systems; adaptive antenna systems.

Address: Military Telecommunications Academy, 3, Tikhoretsky Ave., St Petersburg 194064, Russia

E-mail: bibarsovmr@rambler.ru

**Gulnara Sh. Bibarsova**, Cand. Sci. (Pedagogical) (2006), Associate Professor of the Department of Military-Political Work in the Troops (forces) of the Military Telecommunications Academy. The author of 103 scientific publications. Area of expertise: legal support of information and communication technologies.

Address: Military Telecommunications Academy, 3, Tikhoretsky Ave., St Petersburg 194064, Russia

E-mail: bgsh2@rambler.ru

**Dmitry D. Gabrielyan**, Dr Sci. (Eng.) (1997), Professor (2000), Deputy Head of the Scientific and Technical Complex of the Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications. The author of 321 scientific publications. Area of expertise: electrodynamics; microwave devices; antennas; antenna arrays; complex communication systems.

Address: FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", 130, Nansen St., Rostov-on-Don 344038, Russia

E-mail: rniirs@rniirs.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9883-8826>

**Sergey V. Dvornikov**, Dr Sci. (Eng.) (2009), Professor (2014) of the Radio Communication Department of the Military Telecommunications Academy, Professor of the Department of Radio-engineering and Fiber-optic Complexes of the Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. The author of 420 scientific publications. Area of expertise: radio technology; information transmission and reception systems; signal-code structures.

Address: Military Telecommunications Academy, 3, Tikhoretsky Ave., St Petersburg 194064, Russia

E-mail: practicsv@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

**Danil S. Fedorov**, Graduated from the Southern Federal University, Master's degree in "Infocommunication technologies and communication systems" (2013), postgraduate student of the Federal State Unitary Enterprise "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications". Author of 6 scientific publications. Research interests: radiophysics, radio engineering.

Address: FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", 130, Nansen St., Rostov-on-Don 344038, Russia

E-mail: dant65 @yandex.ru

---