



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-124-6-5-11>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.396.677.49

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ НА ПАРАМЕТРЫ ВЫПУКЛОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ДВОЙНОЙ КРИВИЗНОЙ

ЗАВАДСКИЙ С.А., ЮРЦЕВ О.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 15 апреля 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

Аннотация. В статье исследуется влияние взаимодействия между излучателями на электрические параметры выпуклой антенной решетки с двойной кривизной поверхности размещения излучателей. В качестве излучателей решетки использованы директорные антенны. Применен метод интегральных уравнений.

Ключевые слова: выпуклая антенная решетка, двойная кривизна, директорная антенна, взаимодействие излучателей, метод интегральных уравнений.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Завадский С.А., Юрцев О.А. Влияние взаимодействия между излучателями на параметры выпуклой антенной решетки с двойной кривизной. Доклады БГУИР. 2019; 6(124): 5-11.

MUTUAL COUPLING INFLUENCE ON PARAMETERS OF CONVEX DOUBLY CURVED ANTENNA ARRAY

ZAVADSKI S.A., YURTSEV O.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

Submitted 15 April 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

Abstract. In the article the mutual coupling between radiators influence on electrical parameters of convex antenna array with doubly curved radiators placement surface is investigated. Yagi-Uda antennas are used as radiators. The integral equations method is incorporated.

Keywords: convex antenna array, doubly curved, Yagi-Uda antenna, mutual coupling between radiators, integral equations method.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Zavadski S.A., Yurtsev O.A. Mutual coupling influence on parameters of convex doubly curved antenna array. Doklady BGUIR. 2019; 6(124): 5-11.

Введение

Выпуклые антенные решетки используются как решетки с конформным сканированием. Это цилиндрические, конические, сферические антенные решетки [1]. Выпуклые антенные решетки используются также как решетки, в которых поверхность размещения излучателей повторяет форму поверхности объекта, на котором они размещены. В этом случае в решетках используется фазовое сканирование. Несмотря на большое количество публикаций по выпуклым решеткам (см. список литературы в работе [1]), влияние взаимодействия между излучателями рассмотрено частично в отдельных работах, например, в работе [2]. В настоящей статье излагаются результаты исследования взаимодействия излучателей в выпуклых антенных решетках с двойной кривизной поверхности. В качестве излучателей используются директорные малоэлементные антенны. Численный анализ выполнен с использованием интегрального уравнения для тока в тонких проводниках. Для его решения применен метод Галеркина с импульсными функциями в качестве базисных и весовых [3]. Сделана оценка влияния взаимодействия между излучателями на распределение тока на входах излучателей, входное сопротивление ($Z = R + iX$) и коэффициент стоячей волны (КСВ) на входах излучателей, диаграмму направленности решетки и уровень поля излучения по кроссполяризации.

Результаты численного моделирования

Моделируемая решетка показана на рис. 1, *a*. Излучатели – директорные антенны с линейным вибратором, линейным рефлектором и одним линейным директором. На вибраторе маленьким кружком обозначена точка возбуждения излучателя – его вход. Излучатели занумерованы. Ряды излучателей в плоскости XZ (E -плоскости) – строки решетки, ряды излучателей в плоскости YZ (H -плоскости) – столбцы решетки. Число излучателей в строке – N_x , шаг расположения D_x . Число излучателей в столбце и шаг расположения – N_y , D_y . Радиусы кривизны поверхности расположения излучателей в этих плоскостях – R_x , R_y . Амплитудно-фазовое распределение (АФР) возбуждения излучателей – равномерное.

Геометрия излучателя подобрана на частоте 300 МГц так, чтобы без учета взаимодействия в составе решетки он был согласован с линией передачи, имеющей волновое сопротивление 50 Ом, и имел минимально возможное заднее излучение (параметр F/B): длина рефлектора (R) $L_r = 490$ мм, вибратора (V) – $L_v = 465$ мм, директора (D) – $L_d = 400$ мм; расстояния: $RV = 250$ мм, $VD = 180$ мм; диаметр проводника элементов – 10 мм. При этих параметрах численное моделирование дало результаты: входное сопротивление излучателя на частоте 300 МГц $Z = R + iX = 49,63 + i0,37$ (Ом), $F/B = 17$ дБ. Диаграмма направленности (ДН) излучателя в плоскости E и H показана на рис. 1, *b*.

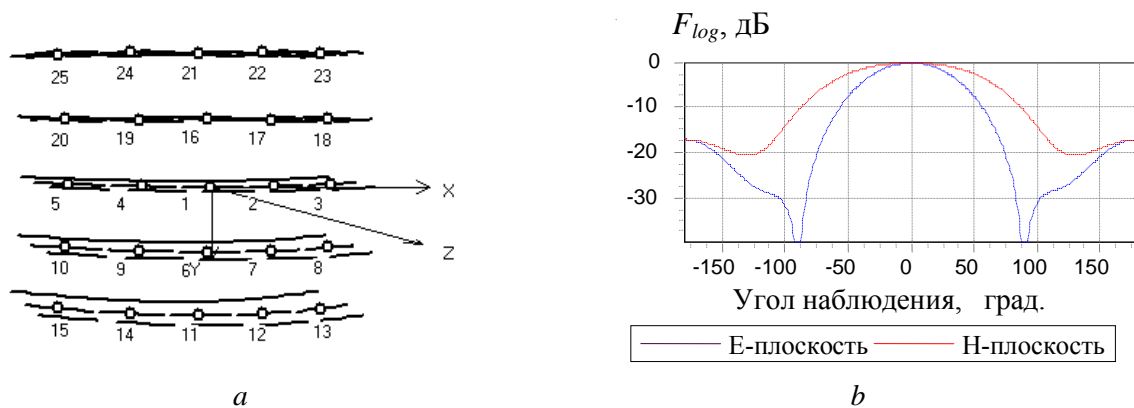


Рис. 1. Антенная решетка (*a*) и ДН отдельного излучателя (*b*)
Fig. 1. Antenna array (*a*) and the radiation pattern of the individual emitter (*b*)

Численное моделирование выполнено при различных геометрических параметрах решетки, но результаты исследования ниже демонстрируются для решетки с параметрами:

$N_x = N_y = 5$, $D_x = D_y = 0,5\lambda = 500$ мм и $0,7\lambda = 700$ мм (λ – длина волны); радиусы кривизны решетки $R_x = R_y = 4\lambda$.

На рис. 2 показано распределение амплитуды тока на входах излучателей при равномерном АФР в выпуклой решетке и, для сравнения, в плоской решетке с такими же геометрическими параметрами. Все излучатели возбуждаются напряжением 1 В. При этом без учета взаимодействия между излучателями в составе решетки амплитуда тока на входе равна 20 мА.

Ток на входе, мА

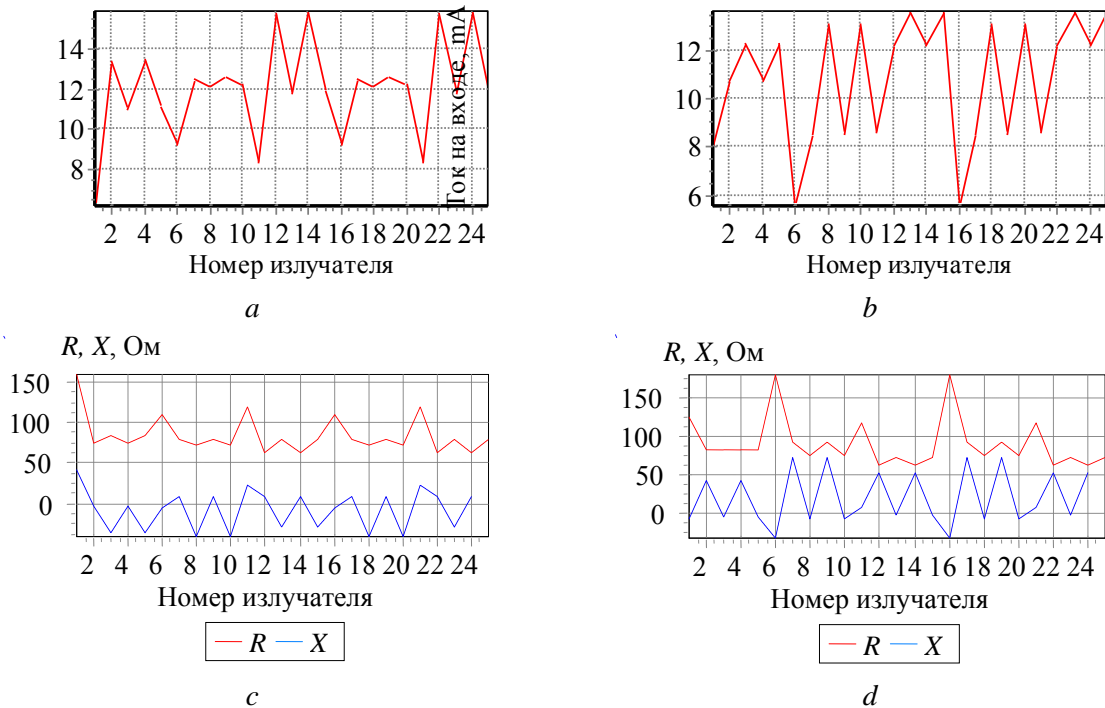


Рис. 2. Распределение тока на входах излучателей и входное сопротивление для выпуклой решетки (a, c) и для плоской решетки (b, d) при равномерном АФР возбуждения излучателей

Fig. 2. The current distribution at the inputs of the emitters and the input impedance for the convex grid (a, c) and for the flat grid (b, d) with uniform amplitude and phase distribution of the emitters excitation

На рис. 3 изображены ДН. Сравнение рис. 1 с рис. 2 и 3 позволяет сделать следующие выводы.

1. При равномерном АФР возбуждения излучателей распределение тока на входах излучателей существенно неравномерно. Максимальная амплитуда тока – в верхней и нижней строках решетки, а в каждой строке – в излучателях, соседних с центральным излучателем. Эта неравномерность возрастает с уменьшением радиусов кривизны решетки и с уменьшением шага расположения излучателей в решетке.

2. В выпуклой решетке взаимодействие между излучателями приводит к меньшим изменениям во входном сопротивлении, чем в плоской решетке (рис. 2). Это объясняется тем, что в выпуклой решетке оси излучателей не параллельны, и это приводит к уменьшению степени взаимодействия между ними.

3. Уровень поля по кроссполаризации в плоской решетке равен нулю и увеличивается с уменьшением радиусов кривизны выпуклой решетки, хотя степень взаимодействия между излучателями при этом уменьшается (рис. 3, c, d).

4. При уменьшении радиусов кривизны угол между осями смежных излучателей растет, и это приводит к некоторому росту бокового и заднего излучения (рис. 3, a, b).

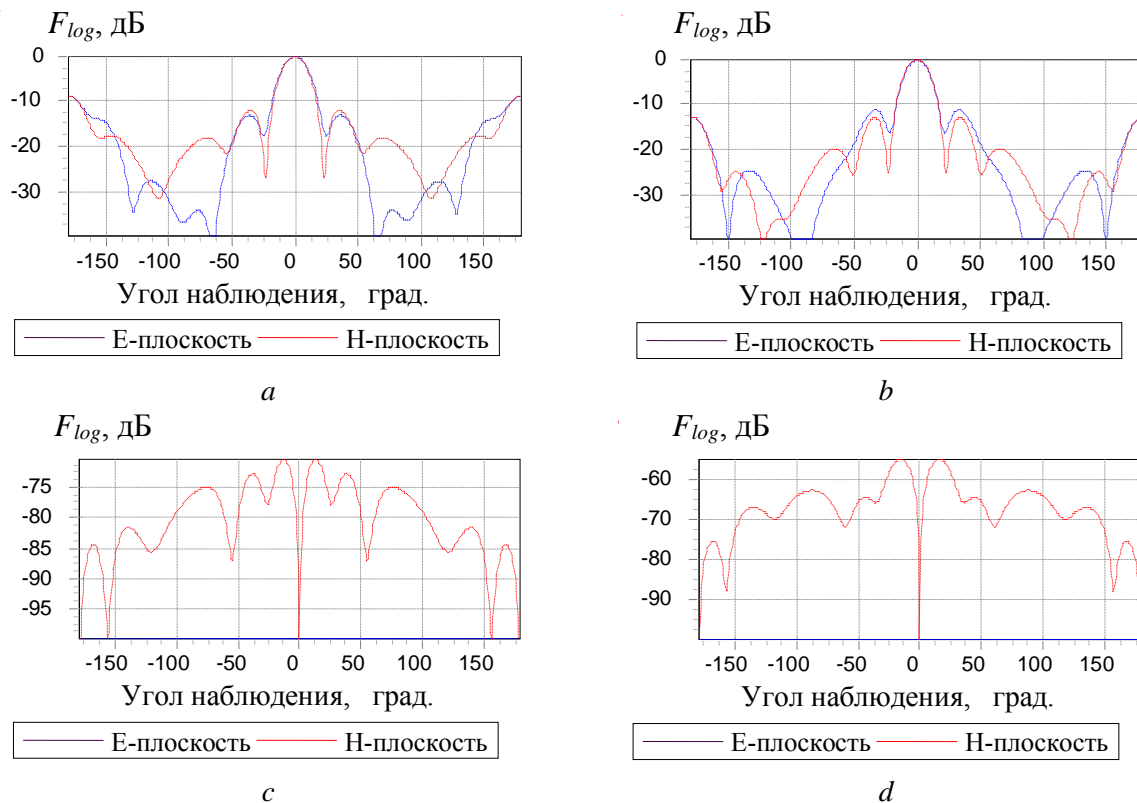


Рис. 3. Диаграмма направленности: выпуклой решетки по основной поляризации (а), плоской решетки по основной поляризации (b), выпуклой решетки с радиусами кривизны $R_x = R_y = 4\lambda$ по кроссполяризации (c), выпуклой решетки с радиусами кривизны $R_x = R_y = 2\lambda$ по кроссполяризации (d)

Fig. 3. Radiation pattern: the convex grid in the main polarization (a), the planar grid in the main polarization (b), the convex grid with curvature radius $R_x = R_y = 4\lambda$ in the cross polarization (c), the convex grid with curvature radius $R_x = R_y = 2\lambda$ in the cross polarization (d)

Влияние на указанные выше электрические параметры шага размещения излучателей в строках и в столбцах иллюстрирует рис. 4, на котором показаны зависимости входного сопротивления и ДН выпуклой решетки при нескольких значениях шага. При этом надо учесть, что с ростом шага и при сохранении всех других геометрических параметров решетки увеличивается апертура решетки, уменьшается степень взаимодействия излучателей, амплитудное распределение токов на входах излучателей становится ближе к задаваемому амплитудному распределению возбуждения излучателей. Но одновременно растет угол между осями смежных излучателей, в результате чего амплитудное распределение поля на эквивалентном плоском раскрыве становится все более спадающим к концам решетки. Это ведет к уменьшению уровня первых боковых лепестков и росту уровня дальних боковых лепестков ДН в тех направлениях, в которые ориентированы оси крайних излучателей.

Уровень ближних и дальних боковых лепестков практически не зависит от амплитудного распределения (АР) возбуждения излучателей. Для иллюстрации этого на рис. 5 приведена ДН решетки в двух главных плоскостях для выпуклой решетки (a) и для плоской решетки (b) при АР, уменьшающемся по закону косинуса от максимума в центре строки до 10 % от максимума в крайних излучателях строки. В столбцах АР – равномерное. Шаг расположения излучателей в решетке $D_x = D_y = \lambda$. Из сравнения рис. 5, a и рис. 4, d следует, что уровень боковых лепестков (УБЛ) не очень снизился за счет влияния АР. Это объясняется влиянием взаимосвязи на распределение тока в зависимости от номера излучателя. Для сравнения, в плоской решетке с теми же параметрами без учета взаимосвязи уровень первых боковых лепестков при указанном выше АР снижается до значения -34 дБ.

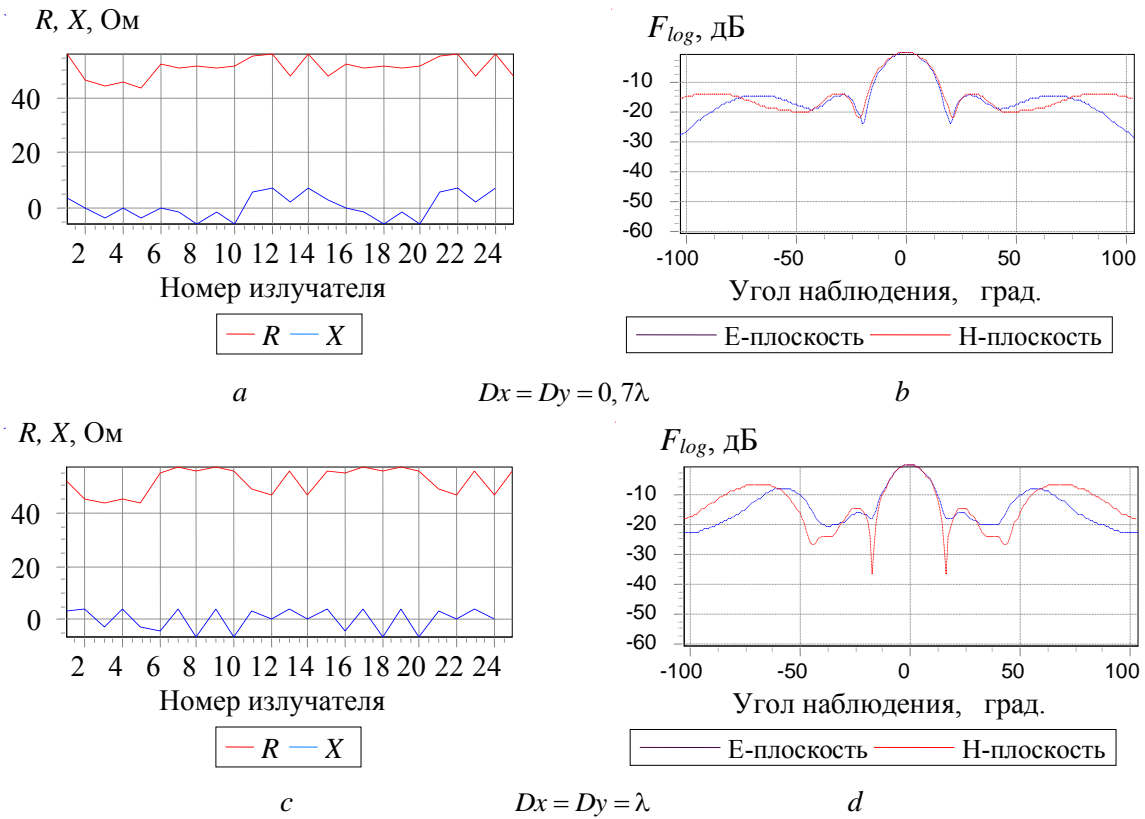


Рис. 4. Входное сопротивление излучателей и ДН выпуклой антенной решетки при разных значениях шага размещения излучателей
Fig. 4. The input impedance of the emitters and radiation pattern of the convex antenna array for different values of the pitch

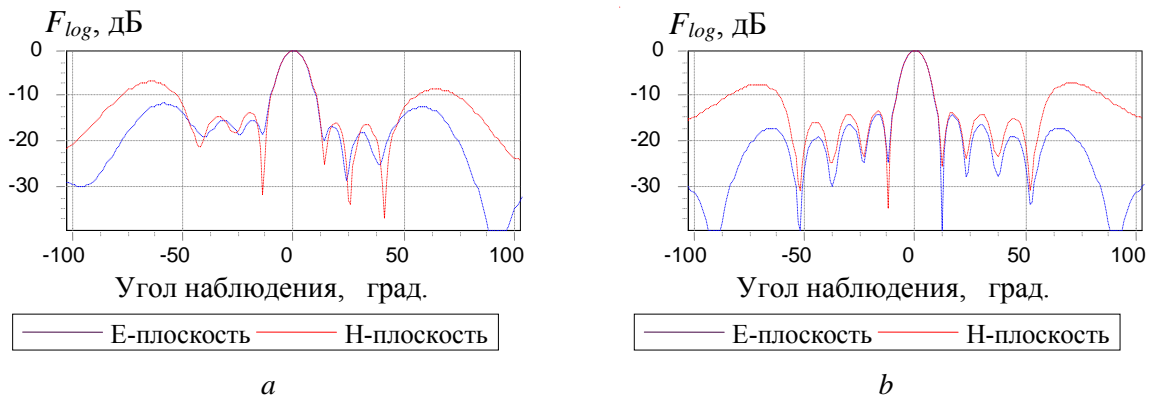


Рис. 5. ДН решетки в двух главных плоскостях для спадающего к концам строк амплитудного распределения возбуждения: для выпуклой решетки (a), для плоской решетки (b)
Fig. 5. Radiation pattern lattice in two principal planes for the amplitude distribution of excitation falling to the ends of the rows: for a convex lattice (a), for a planar lattice (b)

Необходимо отметить еще одну особенность выпуклой решетки с двойной кривизной (рис. 1, a). Это зависимость ДН в плоскости строк от числа строк, чего нет, как известно, в плоской решетке с прямоугольной схемой расположения излучателей и разделяющимся по координатам АФР возбуждения излучателей. На рис. 6 для иллюстрации этого свойства показана ДН в главных плоскостях для решетки с числом излучателей в строке $N_x = 3$ (в E -плоскости), шагом размещения излучателей $Dx = Dy = \lambda$ и числом строк: $N_y = 1$ – (a) и $N_y = 7$ – (b). Этот эффект выражается сильнее с увеличением углового сектора, занятого решеткой, по отношению к центрам кривизны поверхности решетки в главных плоскостях.

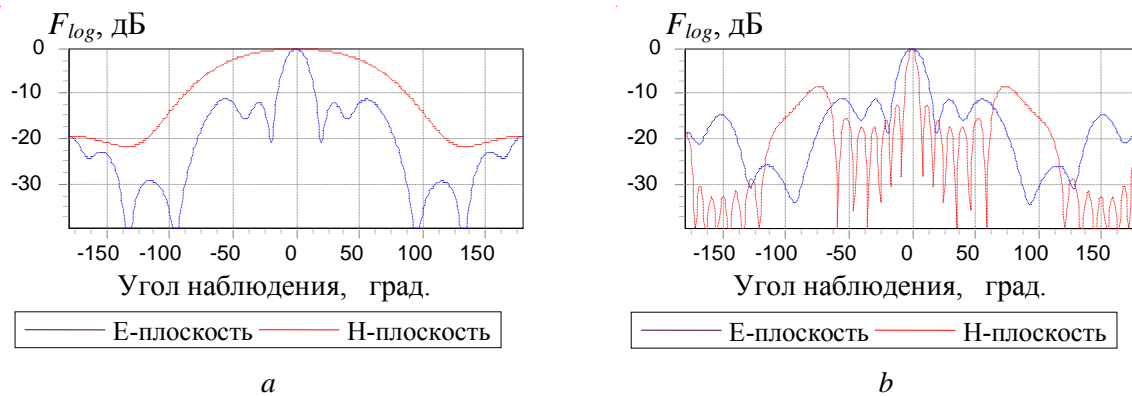


Рис. 6. ДН в главных плоскостях для решетки с числом излучателей в строке $N_x = 3$, шагом размещения излучателей $D_x = D_y = \lambda$ и числом строк $N_y = 1$ (a) и $N_y = 7$ (b)

Fig. 6. Radiation pattern lattice in two principal planes for the grid with the number of emitters per row $N_x = 3$, pitch of emitters $D_x = D_y = \lambda$ and the number of rows $N_y = 1$ (a) and $N_y = 7$ (b)

Заключение

Проведен численный анализ влияния взаимодействия между излучателями на параметры выпуклой антенной решетки с двойной кривизной. Показано, что при равномерном АР возбуждения излучателей распределение тока на их входах существенно неравномерно. Это приводит к изменению параметров ДН и входного сопротивления излучателей. В выпуклой решетке взаимодействие между излучателями приводит к меньшим изменениям во входном сопротивлении, чем в плоской решетке. Это объясняется тем, что в выпуклой решетке оси излучателей не параллельны, и это приводит к уменьшению степени взаимодействия между излучателями.

Список литературы

1. Воскресенский Д.И., Пономарев Л.И. Выпуклые сканирующие антенны. М.: Сов. радио, 1977. 207 с.
2. Юрцев О.А., Завадский С.А. Влияние взаимодействия между излучателями на характеристики дуговых вибраторных антенных решеток // Доклады ТУСУР. 2018. Т. 21, № 1. С. 17–21.
3. Вычислительные методы в электродинамике: перевод с англ. / под ред. Р. Митры. М.: Мир, 1977. 243 с.

References

1. Voskresenskij D.I., Ponomarev L.I. Vypuklye skanirujushhie anteny. M.: Sov. radio, 1977. 207 s. (in Russ.)
2. Jurcev O.A., Zavadskij S.A. Vlijanie vzaimodejstvija mezhdru izluchateljami na harakteristiki dugovyh vibratoryh antennyh reshetok // Doklady TUSUR. 2018. T. 21, № 1. S. 17–21. (in Russ.)
3. Vychislitel'nye metody v jelektrodinamike: perevod s angl. / pod red. R. Mitry. M.: Mir, 1977. 243 s. (in Russ.)

Сведения об авторах

Завадский С.А., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Юрцев О.А. (1933–2019), д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники БССР.

Information about the authors

Zavadski S.A., PG student of information radiotechnologies department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Yurtsev O.A. (1933–2019), D.Sci, professor, Honored worker of science and technology of BSSR.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-89-43;

Завадский Сергей Анатольевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki str., 6,
Belarussian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-17-293-89-43;

Zavadski Sergey Anatolyevich