

О. С. Литвинов, А. А. Гилязова

**ОЦЕНКА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА
СОБСТВЕННЫХ ДИАГРАММ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ГРУПП ПОМЕХ НА ПРИЕМ ПОЛЕЗНОГО
СИГНАЛА ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ
АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ**

Представлены результаты численного моделирования воздействия одиночных помех и групп помех на главный лепесток диаграммы направленности линейной адаптивной антенной решетки с помощью метода собственных диаграмм, включая прием сигналов в полосе частот и коррелированных сигналов.

E-mail: OlegStLitvinov@yandex.ru; A.Giliazova@gmail.com

Ключевые слова: приемная адаптивная антенная решетка, диаграмма направленности, собственная диаграмма.

Одной из главных задач в быстро развивающейся области беспроводных систем связи является уменьшение вероятности ошибки с целью увеличения скорости передачи данных и повышения качества обслуживания пользователей. Эту проблему необходимо решать в сложных условиях распространения сигналов и при наличии жестких ограничений на частотную полосу сигналов и мощность передающих устройств. Решение такой проблемы возможно с использованием адаптивной антенной решетки (ААР) [1–3]. В связи с этим особый интерес представляет проведение оценки одиночного или группового воздействия помех на главный лепесток диаграммы направленности (ДН) ААР, поскольку такое воздействие оказывает негативное влияние на качество приема полезного сигнала. Подобные оценки ранее проводились в различных работах, например [4]. Новизна данного исследования состоит в том, что эти оценки проведены для метода собственных диаграмм более детально и систематически, проанализировано влияние ряда параметров – направлений прихода помех, углового расстояния между помехами, числа помех, степени их коррелированности между собой, ширины полосы пропускания.

Метод расчета. Оценку влияния помех на главный лепесток ДН ААР будем проводить на основе метода представления ДН ААР собственными диаграммами. К достоинствам метода относятся его геометрическая наглядность и наличие подробной литературы [4, 5] с описанием метода.

Рассмотрим N -элементную эквидистантную линейную фазированную антенную решетку, на которую одновременно с различных направлений действуют I источников помеховых сигналов.

Адаптивная диаграмма направленности этой решетки, представленная с помощью собственных диаграмм, имеет вид

$$G(\theta, t) = G_q(\theta) - \sum_{k=1}^N [1 \exp(\alpha_k t)] \left[\frac{\mu_k - \mu_{\min}}{1 + \mu_k} \right] \omega'_{qk} g_k(\theta), \quad (1)$$

где $G_q(\theta) = G(\theta, 0) = (\mathbf{w}_q^T \mathbf{s})$ – стационарная (исходная) диаграмма направленности; \mathbf{w}_q – вектор весовых коэффициентов стационарной диаграммы направленности, которые в расчетах считаем равными единице; $s_k = \exp[ju(2k - N - 1)]$; $u = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right) \sin(\beta)$; $\alpha_k = \frac{1 + \mu_k}{\tau_0}$; $\mu_k = \gamma \beta_k$; $\frac{\mu_k}{\mu_{\min}} = \frac{\beta_k}{\beta_0}$; $\omega_{qk} = \mathbf{e}_k^+ \mathbf{w}_q$; $g_k(\theta) = \mathbf{e}_k^T \mathbf{s} - k$ -я собственная диаграмма; $\tau_0 = \left(\frac{10}{\pi B_c} \right) \left[1 + \mu_{\min} \left(\frac{\beta_{\max}}{\beta_0} \right) \right]$; j – мнимая единица; t – момент времени, мкс; θ – угловая характеристика, град; d – расстояние между элементами решетки, нм; λ – рабочая длина волны, нм; B_c – ширина полосы пропускания, МГц; β_k – собственные значения ковариационной матрицы шума; \mathbf{e}_k – соответствующие собственные векторы [4].

Предполагается, что в стационарном состоянии вплоть до момента времени $t = 0$ в каналах системы находится только собственный шум приемника, а в момент времени $t = 0$ включаются источники внешних помех. Среднее квадратичное значение напряжения собственного шума в каналах элементов антенны полагается одинаковым, $n_0 = 1$, поэтому собственное значение в стационарном состоянии $\beta_0 = |n_0|^2 = 1$. Это наименьшее собственное значение определяет минимальный коэффициент передачи в контуре подстройки $\mu_{\min} = \gamma \beta_0$. Для рассматриваемой схемы линейной ААР с управляемой диаграммой направленности удобно выбрать $\mu_{\min} = 1$.

Оценку воздействия группы помех на главный лепесток диаграммы направленности проведем на примере восьмизлементной линейной ААР с межэлементным расстоянием, равным половине длины волны, которая соответствует центральной частоте рабочего диапазона. Число степеней свободы такой решетки $(N - 1) = 7$, что дает максимальное число помех, которые в данном случае можно подавить с помощью алгоритма адаптации. Углы направления прихода сигналов будем измерять относительно оси главного лепестка (0°), совпадающей с направлением прихода полезного сигнала.

Для иллюстрации на рис. 1 приведены собственные диаграммы при наличии двух помех под углами 8° и 12° . Величина коэффициента усиления G , дБ, соответствует отклику антенны на сигнал единичной мощности, приходящий с указанного направления. В дальнейшем

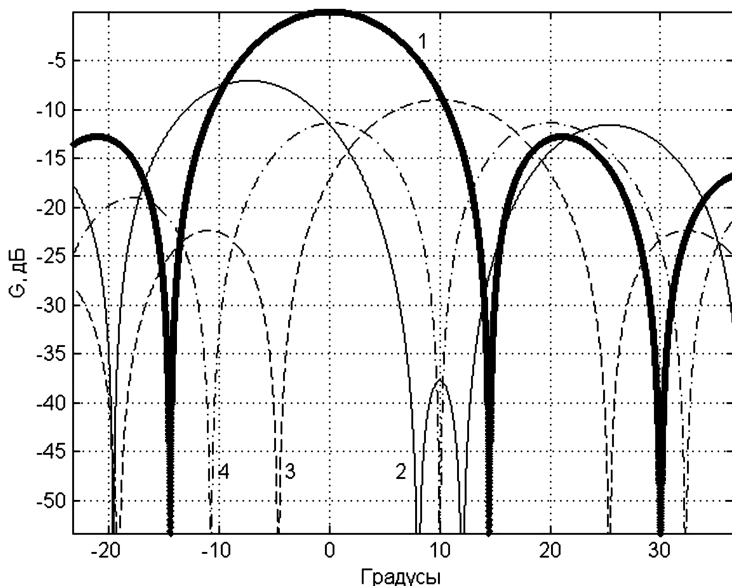


Рис. 1. Диаграмма направленности адаптивной антенной решетки при наличии двух помех:

1 – исходная (стационарная) ДН; 2 – ДН после адаптации; 3, 4 – собственные диаграммы

для удобства анализа на рисунках не будем изображать собственные диаграммы, а только исходную и результирующую ДН.

Влияние углового расстояния между помехами. Ширина главного лепестка для рассматриваемой ААР составляет около 28° (диапазон значений углов $-14^\circ \dots +14^\circ$). Оценим воздействие на главный лепесток ДН ААР источников узкополосных помех в диапазоне значений рабочих частот 0,35...0,8 ГГц при отношении мощности помехового сигнала к мощности полезного сигнала от 20 до 30 дБ.

Угловое расстояние между помехами удобно охарактеризовать параметром δ следующего вида:

$$\delta = 2 \frac{|\Delta\theta_{P_1} - \Delta\theta_{P_2}|}{\Delta\theta_{ГЛ}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $\Delta\theta_{ГЛ}/2$ – половина ширины главного лепестка ДН до адаптации; $\Delta\theta_{P_1}, \Delta\theta_{P_2}$ – углы от оси главного лепестка ДН до точек воздействия крайних помех в группе. Для одиночной помехи $\delta = 0$. Этот параметр обозначим как ширину полосы группы помех в долях полуширины лепестка, его применение удобно для групп равномерно распределенных помех примерно одинаковой мощности. В случае групп помех различной мощности или неравномерно распределенных помех более целесообразно применять другие характеризующие параметры, например дисперсии.

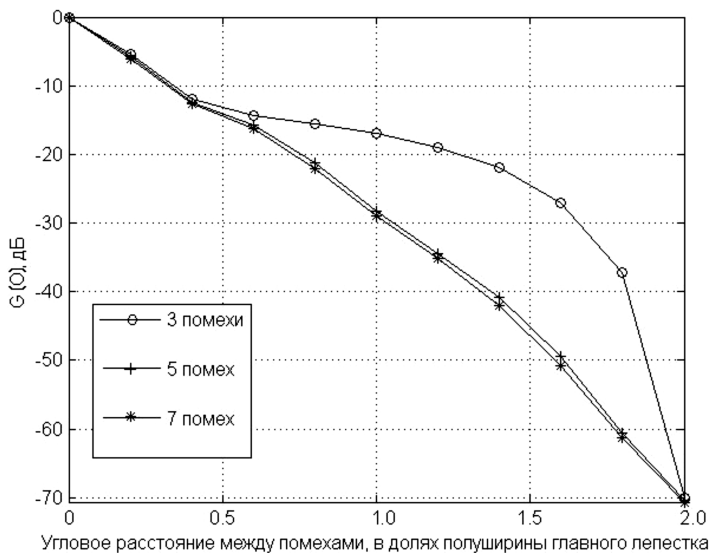


Рис. 2. Зависимость $G(0)$ от δ для групп помех с центром на краю главного лепестка

Зависимость коэффициента усиления G от δ для групп помех с центром на краю главного лепестка показана на рис. 2. При $\delta > 0,5$ значения коэффициента усиления для такой группы помех уменьшаются более чем на 15 дБ. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента усиления G от δ для групп помех с центром в середине первого лепестка. Поскольку такие группы помех не задевают главный лепесток, уменьшение значения коэффициента усиления для них не превышает 10 дБ, что гораздо меньше, чем в случае, показанном на рис. 2.

Относительно малая степень уменьшения G в группе трех помех на рис. 3 объясняется тем, что для $100 \% < \delta < 200 \%$ эта группа представляет собой одну помеху, приходящую на центр первого лепестка, и две помехи по склонам, с ростом δ приближающиеся к краям этого лепестка и ввиду этого оказывающие малое влияние.

Наибольшее влияние на коэффициент усиления ДН ААР оказывают помехи, приходящие на склон главного лепестка: чем ближе к оси главного лепестка, тем сильнее это влияние.

Влияние степени коррелированности помех. Корреляция различных помеховых сигналов, принимаемых ААР, может иметь место, например, при отражении сигналов от поверхности Земли или от стен зданий, распространении в слоистых средах и др. На практике наибольшее значение имеет случай двух коррелированных сигналов, в то время как интенсивностью сигналов, соответствующих повторным отражениям или переотражениям более высоких порядков, можно пренебречь. Коэффициент корреляции зависит от статистических свойств

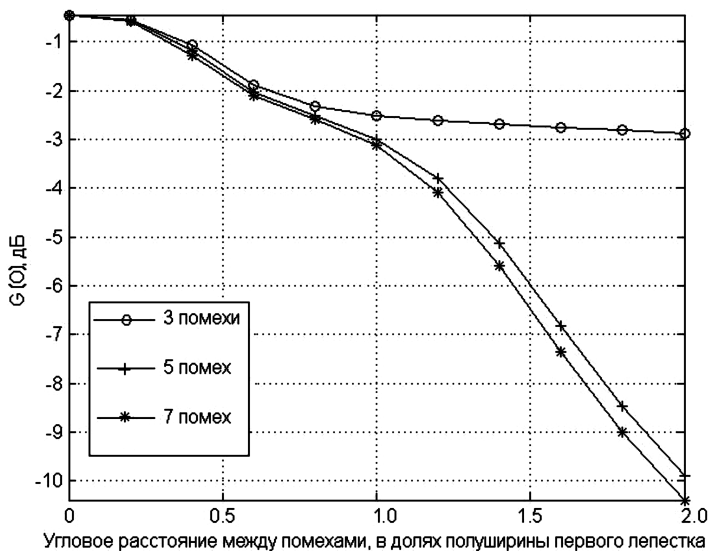


Рис. 3. Зависимость $G(0)$ от δ для групп помех с центром в середине первого лепестка

канала распространения и степени пространственной когерентности излучения источника помех [1].

Для коррелированных сигналов различных источников корреляционная матрица будет определяться как

$$M = \overline{n_0^2} E_N + \overline{n_0^2} \sum_{k=1}^I \sum_{i=1}^I \sqrt{\nu_k \nu_i} \rho_{ki} s_k s_i^T, \quad (3)$$

где E_N — единичная матрица, т.е. диагональная матрица из N элементов, равных единице; ν_i — мощность i -го источника сигнала ($i = 1, 2, \dots, I$), выраженная по отношению к средней мощности собственных шумов на выходе приемных элементов; ρ_{ki} — коэффициент корреляции сигнала от k -го и i -го источников [1].

Для случая некоррелированных сигналов это выражение упрощается до [1]:

$$M = \overline{n_0^2} E_N + \overline{n_0^2} \sum_{i=1}^I \nu_i s_i^* s_i^T. \quad (4)$$

Зависимость коэффициента усиления ДН ААР от коэффициента корреляции помех между собой для случая помех, приходящих на главный лепесток, представлена на рис. 4. При приближении коэффициента корреляции к единице коэффициент усиления ДН ААР растет, т.е. условия приема полезного сигнала улучшаются. При повышении коэффициента корреляции до единицы $G(0)$ увеличивается с $-43,4$ дБ до -13 дБ, впрочем, оставаясь все-таки низким.

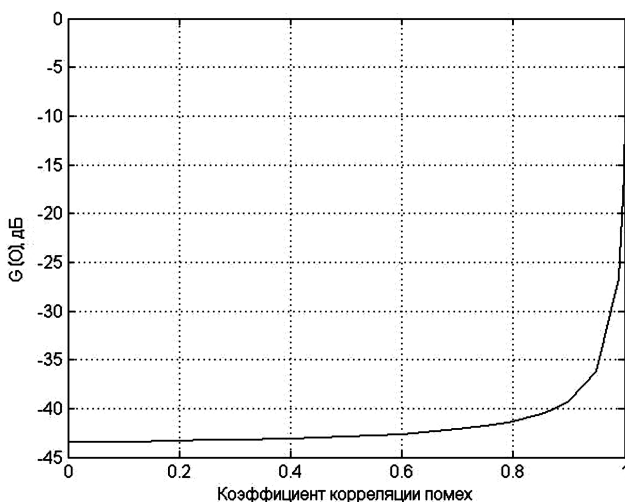


Рис. 4. Влияние коэффициента корреляции помех, приходящих под углами 2° и 6° на коэффициент усиления ДН ААР в направлении прихода полезного сигнала

При подавлении некоррелированных помех их обрабатывают как два отдельных сигнала, в результате чего при определенных условиях могут увеличиваться потери полезного сигнала, особенно если помехи приходят по главному лепестку ДН. Когда же помехи коррелированы, они обрабатываются как один сигнал, и в этом случае можно отметить уменьшение потерь полезного сигнала.

При подавлении помех, приходящих на боковые лепестки, также существует зависимость изменения $G(0)$ от корреляции этих помех, но выражена слабее. Так, при помехах, приходящих под углами 18° и 22° (первый лепесток ДН), коэффициент усиления ААР в направлении полезного сигнала изменяется в зависимости от коэффициента корреляции этих помех между собой в диапазоне значений от $-0,48$ дБ до $-0,38$ дБ.

Влияние ширины полосы пропускания. Графики процесса адаптации при различной ширине полосы пропускания B_c представлены на рис. 5, на котором видно, что ширина полосы пропускания оказывает существенное влияние на скорость адаптации. Теоретически при бесконечном времени адаптации конечный результат будет одинаковым независимо от ширины полосы пропускания, что можно показать, если подставить в выражение (1). Практически время, которое необходимо алгоритму на адаптацию, всегда конечно, поэтому результат адаптации будет зависеть от ширины полосы пропускания: чем шире полоса, тем быстрее осуществляется подавление помех.

Основные параметры помех, рассмотренные в работе, влияют на качество приема полезного сигнала линейной эквидистантной адап-

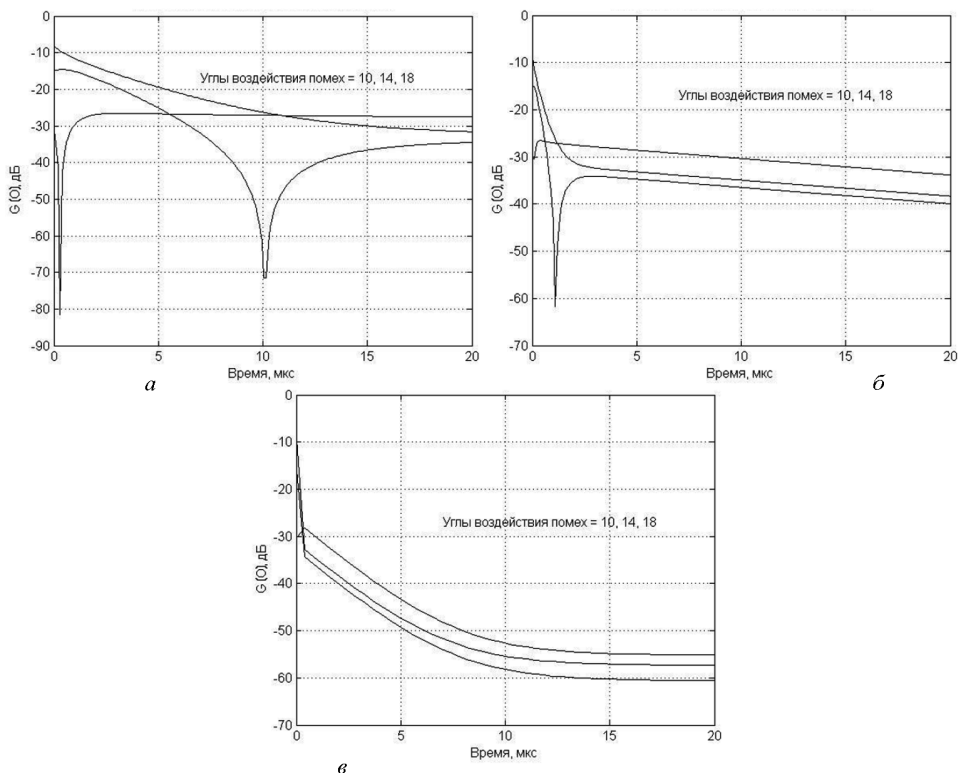


Рис. 5. Процесс адаптации при различной ширине полосы пропускания:
а – 5 МГц; *б* – 45 МГц; *в* – 450 МГц

тивной антенной решеткой. Ключевым параметром, оказывающим наибольшее влияние, является направление прихода сигнала и степень его близости к оси главного лепестка. Также заметное влияние оказывают степень коррелированности принимаемых сигналов помех и время усреднения принимаемых сигналов. Полученные результаты позволяют проводить оценку влияния помех на основной лепесток ДН ААР в соответствии с текущей сигнально-помеховой обстановкой в конкретном расположении средства связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пистолькорс А. А., Литвинов О. С. Введение в теорию адаптивных антенн. – М.: Наука, 1991. – 200 с.
2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
3. Ганзий Д. Д., Трошин Г. И. Элементарная база и узлы адаптивных антенных устройств. – М.: Новые технологии, 2011. – 128 с.
4. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: пер. с англ. / под ред. В.А. Лексаченко. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
5. Gabriel W. F. Adaptive arrays: An introduction. // Proc. IEEE. – Vol. 64, no. 2. – February, 1976. – P. 239–272.

Статья поступила в редакцию 05.07.2012