

# Исследование методов повышения помехозащищенности НАП ГЛОНАСС

А.С Антонов, В.В. Баленков

АО «НПП «Радар ммс»

**Аннотация:** в докладе рассматриваются методы повышения помехозащищенности НАП в условиях воздействия преднамеренной имитационной помехи с помощью антенных решеток с управляемой диаграммой направленности. Приведены результаты компьютерного моделирования, позволяющего проводить сравнительный анализ различных методов помехоподавления. Рассматриваются возможности фокусировки диаграммы направленности в направлениях прихода спутниковых навигационных сигналов и создания «нуля» в направлении прихода помехи. Проанализирована зависимость потенциального уровня помехоподавления от угла места прихода помехи. Приведено сравнение двух методов оптимизации, используемых в качестве алгоритма помехоподавления.

**Ключевые слова:** антенны, антенные решетки, ГЛОНАСС, помехоустойчивость, радионавигация, спуфинг

## 1. Введение

Взаимодействие спутниковой группировки ГЛОНАСС с навигационной аппаратурой потребителя на сегодняшний день чувствительно к радиоэлектронному подавлению и воздействию информационного оружия. Целью постановки имитационных помех является подмена истинной навигационной информации на ложную. Для сведения вероятности обнаружения информационно-технического воздействия к минимуму мощность излучения подобных помех стараются подобрать такой, чтобы в точке приема она незначительно превышала мощность принимаемого со спутника навигационного сигнала. Одним из перспективных методов борьбы с преднамеренными помехами является использование в помехоустойчивой НАП антенных решеток (АР) с перестраиваемой диаграммообразующей схемой (ДОС) [1].

## 2. Исходные данные

С целью определения эффективности вариантов решения представленной выше задачи было проведено компьютерное моделирование. Задачами моделирования являлись:

- 1) Подавление одиночной имитационной помехи;
- 2) Исследование зависимости уровня подавления помехи от угла места прихода помехи
- 3) Сравнение методов оптимизации, используемых в качестве алгоритма помехоподавления

В качестве текущих координат спутников были использованы данные [2]. Точкой наблюдения был выбран город Санкт-Петербург [3]. Пересчет Кеплеровых элементов орбиты НКА в координаты полярной топоцентрической системы относительно выбранной точки наблюдения осуществлялся в соответствии с [4]. 9 из 24 НКА в точке наблюдения имеют координату угла места меньше  $85^\circ$  относительно зенита, т. е., согласно [2], являются видимыми. Рассматривался случай воздействия на помехоустойчивую НАП одной имитационной помехи, приходящей направления горизонта. Показателем качества подавления помехи считалось подавление мощности помехи на выходе АР. В качестве одиночного излучателя АР использовалась широкополосная антенна [5]. Количество  $N$  элементов АР равно 6, расположение элементов соответствует конфигурации «звезда» [6], расстояние между центральным и крайними элементами соответствует длине волны  $\lambda$  на верхней частоте диапазона L1 ГЛОНАСС [9]. Перестраиваемая ДОС обеспечивала

диапазон изменения нормированных амплитуд 0-1 с шагом 0,01 и диапазон изменения фаз 0-359 ° с шагом 1 °. Мощность принимаемых сигналов НКА в точке наблюдения равна -161 дБВт без учета коэффициента усиления (КУ) и поляризационных характеристик приемной антенны, мощность принимаемой помехи при аналогичных условиях -144 дБВт. При моделировании пренебрегалось величиной КУ антенны источника помехи, предположив, что в качестве постановщика помехи используется система, аналогичная по характеристикам системам, описанным в [7]. ДН таких антенн частотно-независимы в рамках диапазонов L1 и L2. Также считалось, что точка наблюдения и постановщик помехи не изменяют свое местоположение во времени.

Спектральные характеристики навигационных сигналов и помехи при приеме на одиночную антенну в диапазоне частот L1 и L2, соответствующие начальным условиям проведения моделирования, приведены на рис. 1. Исходное отношение мощности сигнала к мощности помехи (далее  $S/J$ ) составило -9,42 дБ.

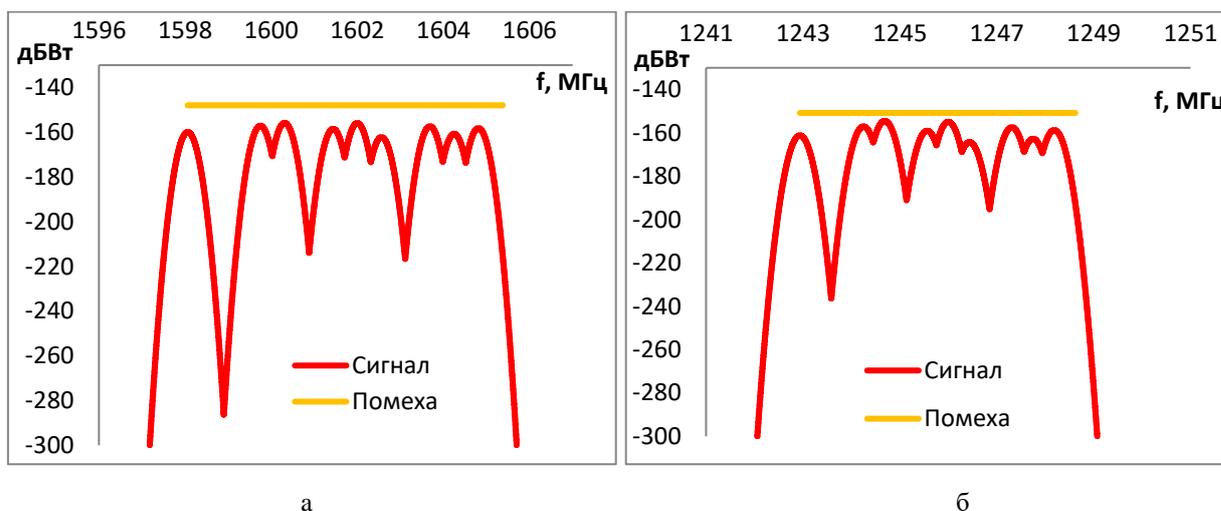


Рисунок 1. Спектральная характеристика на выходе антенны в диапазоне L1 (а) и L2 (б)

### 3. Подавление одиночной имитационной помехи

Если НАП известна эфемеридная информация НКА или данные альманаха, то для увеличения  $S/J$  в условиях воздействия направленной помехи можно осуществить процедуру, называемую фокусировкой. Под этим термином понимается максимизация КУ АР в направлениях на один или несколько спутников. Для формирования требуемой ДН необходимо решить задачу поиска оптимального амплитудно-фазового распределения (АФР) АР. В качестве метода оптимизации использовался перебор по сетке [8]. Выигрыш относительно приема на одиночную антенну составил 3,3 дБ. Количество математических операций совершенное алгоритмом  $\tau$  равнялось 31828320.

С помощью алгоритма перебора по сетке подбиралось АФР, обеспечивающее в частотных диапазонах L1 и L2 «нули» ДН в направлении помехи ( $\varphi = 0^\circ, \theta = 90^\circ$ ). Под созданием «нуля» ДН подразумевается минимизация КУ в определенном направлении. Выигрыш относительно приема на одиночную антенну составляет 25,05 дБ. Количество математических операций  $\tau$ , совершенное алгоритмом  $\tau$  равнялось 55658160.

Из нескольких вариантов комбинации фокусировки и создания «нуля» перспективным представляется алгоритм последовательного использования создания «нуля» и фокусировки. АФР, полученное после решения первой задачи, используется в качестве стартового для решения второй задачи. Дополнительный выигрыш составляет 0,25 дБ. Количество математических операций, совершенное алгоритмом  $\tau$  равнялось 66267600.

#### 4. Исследование зависимости уровня подавления помехи от угла места прихода помехи

Угол места прихода помехи  $\theta = 90^\circ$  соответствует работе наземного источника помехи, расположенного на расстоянии нескольких км от НАП. В случае использования в качестве носителя источника помехи летательного аппарата угол места может быть меньше  $90^\circ$ . На рис. 2 приведены зависимости выигрыша  $S/J$  от угла места прихода помехи. Максимальное число математических операций  $\tau$  равнялось 455874720.

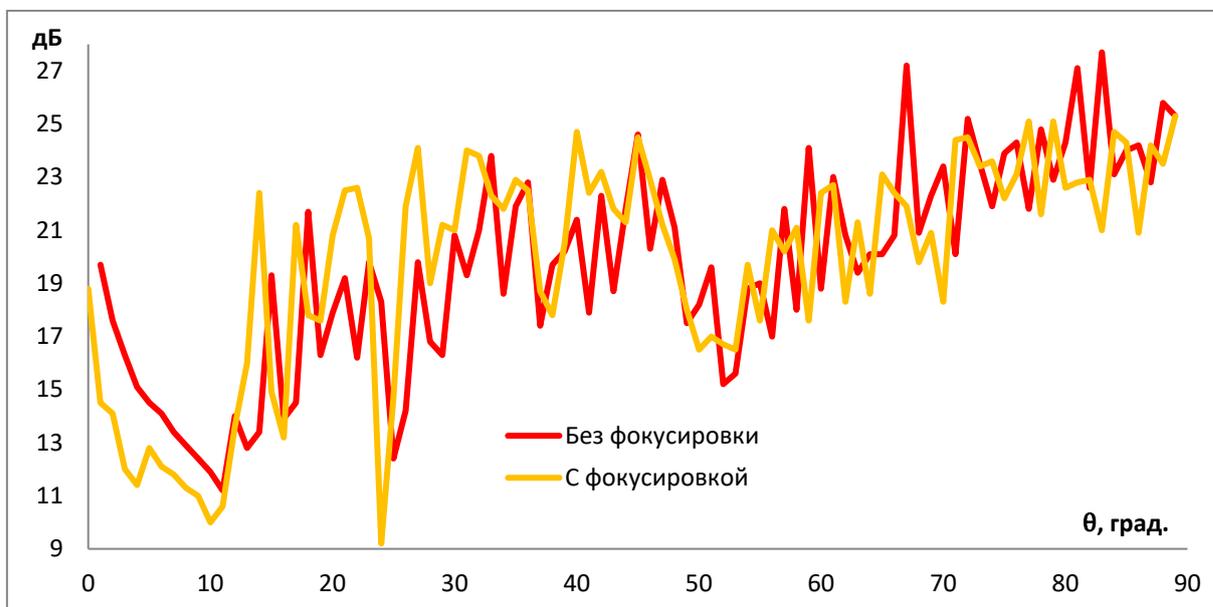
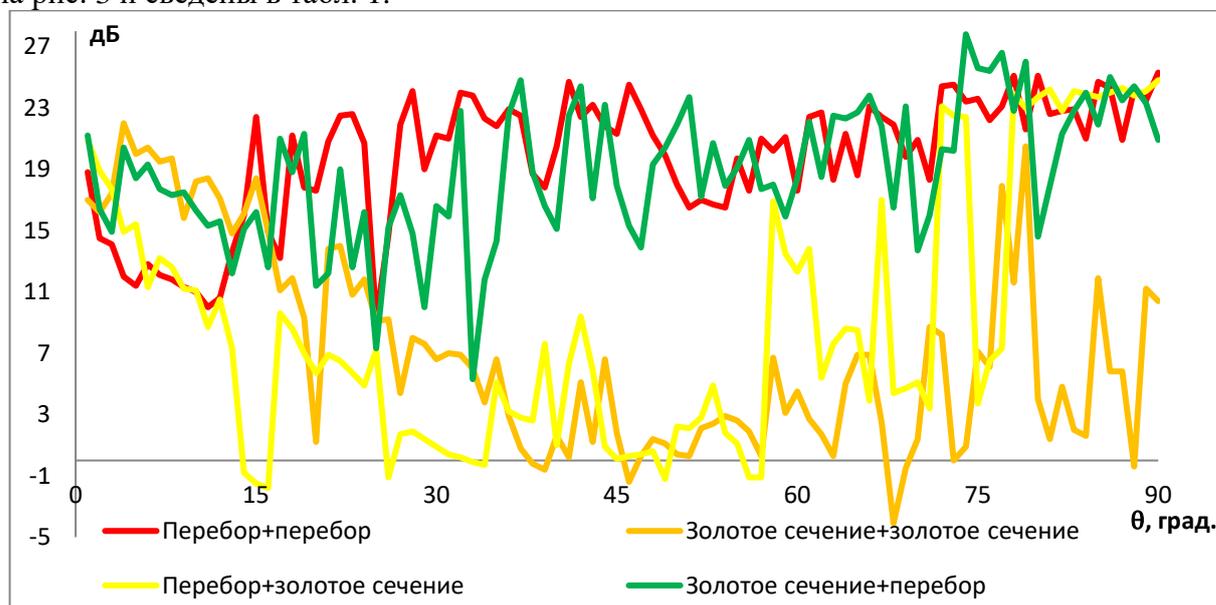


Рисунок 2. Зависимость выигрыша  $S/J$  от угла места прихода помехи

#### 5. Сравнение методов оптимизации

Одним из способов уменьшения числа математических операций поиска требуемого АФР может быть сокращение числа шагов алгоритма. Реализовать это, не изменяя минимальный шаг амплитуды и фазы, возможно, используя в качестве алгоритма оптимизации вместо метода перебора по сетке метод золотого сечения [8]. Моделирование зависимости уровня подавления помехи от угла места прихода помехи производилось для 4-х комбинаций создания «нуля» с дополнительной фокусировкой. Результаты приведены на рис. 3 и сведены в табл. 1.



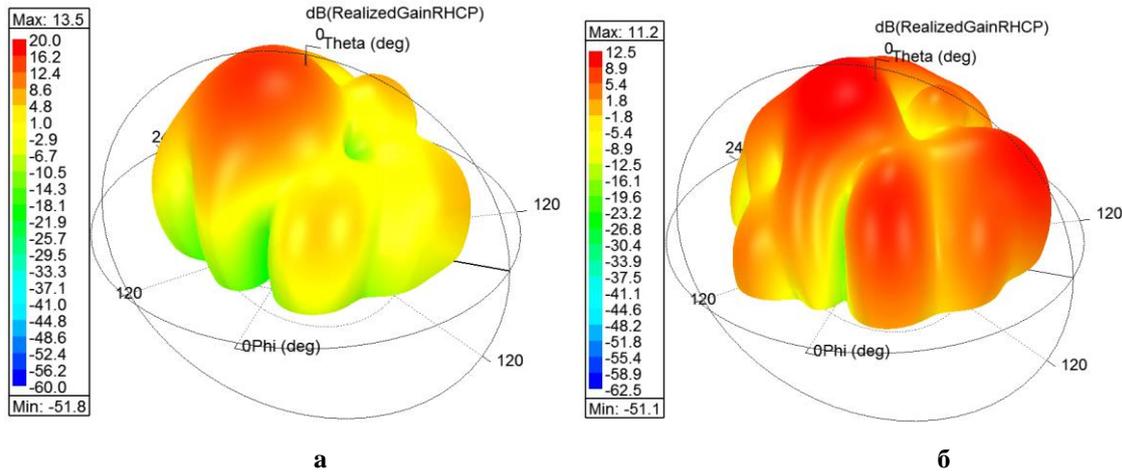
**Рисунок 3.** Зависимость уровня подавления помехи от угла места прихода помехи для различных комбинаций алгоритмов создания «нуля» и фокусировки

**Таблица 1.** Сравнительные характеристики различных комбинаций алгоритмов создания «нуля» и фокусировки

	Перебор по сетке + перебор по сетке	Метод золотого сечения + метод золотого сечения	Перебор по сетке + метод золотого сечения	Метод золотого сечения + перебор по сетке
$\max(\tau)$	455874720	309831300	309254400	319286940
$\overline{S/J}$ , дБ	19,75	7,28	9,06	18,79

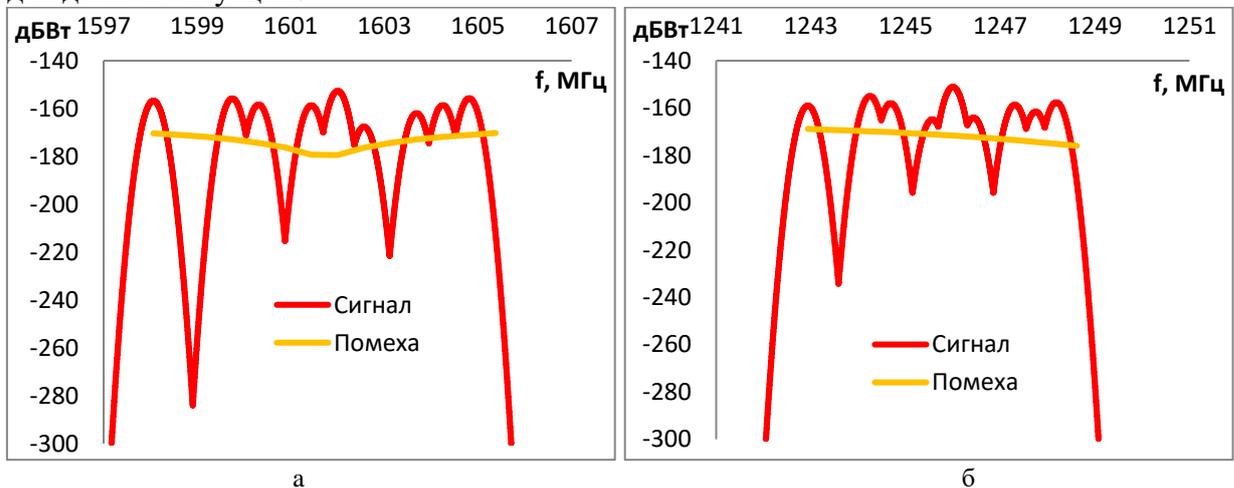
По результатам, приведенным на рис. и в табл. видно, что метод золотого сечения в качестве алгоритма поиска АФР для создания «нуля» ДН в направлении прихода помехи позволяет сократить количество математических операций в 1,4 раза, при этом итоговый выигрыш  $S/J$  в среднем уменьшится на 0,96 дБ.

На рис. 4 для примера результата приведены ДН АР после создания «нуля» методом золотого сечения и дополнительной фокусировки перебором по сетке в направлении  $\varphi = 0^\circ, \theta = 74^\circ$ .



**Рисунок 4.** ДН АР после подавления помехи в направлении  $\varphi=0^\circ, \theta=74^\circ$  на центральных частотах диапазонов L2 (а) и L1 (б)

На рис. 5 приведены спектральные характеристики навигационных сигналов и помехи для данной ситуации.



**Рисунок 5.** Спектральная характеристика на выходе АР после подавления помехи в направлении  $\varphi=0^\circ, \theta=74^\circ$  в диапазоне L1 (а) и L2 (б)

## 6. Выводы

1) Использование антенных решеток с адаптивной ДН является перспективным способом подавления информационно-технического воздействия в помехоустойчивой НАП.

2) Эффективным способом подавления маломощной имитационной помехи является создание «нуля» ДН в направлении прихода помехи.

3) Фокусировка ДН в направлении НКА может использоваться в качестве дополнительного инструмента подавления помехи после создания «нуля» ДН. В этом случае возможно получение дополнительного выигрыша в S/J от 9 до 27 дБ относительно приема на одиночную антенну для любого угла места прихода помехи, из которых до 7 дБ дает дополнительная фокусировка.

4) Из 4-х рассмотренных комбинаций методов создания «нуля» и фокусировки ДН по критериям качества помехоподавления и быстродействия оптимальной является комбинация создания нуля методом золотого сечения с дополнительной фокусировкой перебором по сетке.

### Список литературы

1. Гарин Е. Н., Копылов В. А., Ратушняк В. Н., Лютиков И. В. Современное развитие ГНСС ГЛОНАСС и GPS // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия: техника и технологии. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018 г.. – 11(3). – стр. 313-317.
2. ИАЦ КВНО ФГУП ЦНИИмаш – <http://www.glonass-iac.ru>
3. Даринский А. В. География Ленинграда. – Ленинград: Лениздат, 1982.
4. Инженерный справочник по космической технике. Под общей редакцией профессора, доктора технических наук А. В. Солодова. // Москва: Воениздат, 1969. – 696 стр. с иллюстр.
5. Антонов А.С., Баленков В.В., Капылов Е.Л. Широкополосная антенна круговой поляризации для системы ГЛОНАСС. Вопросы радиоэлектроники, 2021. № 3.
6. Банков С. Е. Антенны спутниковых навигаторов. – Москва: Издательство «Перо», 2014.
7. Немов А. В. Цифровые антенные решетки: новое качество спутниковых радионавигационных систем. – Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2014.
8. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: Перевод с английского. – Москва.: Мир, 1985. – 509 с., ил.