

# Алгоритм подавления спуфинга для ПНАП ГЛОНАСС гражданских потребителей

А.А. Сергеевич

АО «НПП «Радар ммс»

**Аннотация:** в докладе рассматривается метод подавления помехи, воздействующей на навигационную аппаратуру потребителя и имитирующую гражданские сигналы ГЛОНАСС. Метод основан на использовании антенных решеток с управляемой диаграммой направленности. Приведены результаты сравнительного анализа различных методов помехоподавления. Рассматриваются возможности создания «нуля» в направлении прихода помехи с последующей дополнительной фокусировкой. 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

В современном мире глобальные системы навигации нашли широкое применение среди гражданского населения для определения местоположения и прокладывания маршрутов движения [1]. В то же время, гражданская навигационная аппаратура потребителя, например, автомобильные терминалы системы «ЭРА-ГЛОНАСС», может быть подвержена воздействию спуфинга. Спуфингом называется вид информационной атаки, при которых с помощью специального устройства, работающего на частотах спутниковой системы, аппаратуре потребителя под видом истинного сигнала посылаются ложные с немного более высоким уровнем сигнала [2]. Одним из перспективных методов подавления спуфинга является использование адаптивных антенных решеток (АР) с перестраиваемой диаграммой направленности (ДН).

## 2. Постановка задачи

Задача подавления имитационной помехи, воздействующей на навигационную аппаратуру потребителя, может быть решена с помощью формирования приемной ДН с «нулем» в угловом направлении прихода воздействия. Создать такую ДН можно используя в качестве приемной антенны АР с диаграммообразующей схемой (ДОС), управляемой специальным алгоритмом, анализирующим текущую сигнально-помеховую обстановку и решающим задачу поиска требуемого амплитудно-фазового распределения (АФР). Управляемый антенный модуль, перспективный для использования в качестве одиночного элемента в подобных АР, представлен в [3], возможная блок-схема алгоритма помехоподавления представлена в [4]. ДН, требуемая для подавления имитационной помехи, приходящей с углового направления  $\varphi_J$ ,  $\theta_J$ , есть функция, удовлетворяющая условию:

$$G_{L1}(\varphi_J, \theta_J) \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $G(\varphi_J, \theta_J)$  – коэффициент усиления (КУ) в направлении прихода помехи. Данная задача может решаться одним из численных методов нахождения экстремума функции в некоторой области значений аргументов, ограниченной техническими

возможностями ДОС и АР. Решение данной задачи может стать стартовым значением аргумента для дальнейшего решения системы:

$$\begin{cases} G_{L1}(\varphi_{s1}, \theta_{s1})/G_{L1}(\varphi_J, \theta_J) \rightarrow \max \\ G_{L1}(\varphi_{s2}, \theta_{s2})/G_{L1}(\varphi_J, \theta_J) \rightarrow \max \\ G_{L1}(\varphi_{s3}, \theta_{s3})/G_{L1}(\varphi_J, \theta_J) \rightarrow \max \\ G_{L1}(\varphi_{s4}, \theta_{s4})/G_{L1}(\varphi_J, \theta_J) \rightarrow \max \end{cases} \quad (2)$$

где  $s_1 \dots s_4$  – индексы, обозначающие направления на 4 спутника. Данная система описывает задачу фокусировки ДН в направлениях приходов сигналов при условии сохранения «нуля» в направлении прихода помехи.

Было проведено компьютерное моделирование, целями которого являлись:

- 1) Определение зависимости выигрыша в отношении сигнал/помеха  $SJR$  в зависимости от угла  $\theta$  прихода имитационной помехи;
- 2) Сравнение методов оптимизации, используемых в качестве алгоритма помехоподавления;

Исходные данные моделирования представлены в [3] и вынесены в таблицу 1.

Таблица 1.

Точка наблюдения	59° 57' с. ш. 30° 19' в. д.
Координаты спутников	Согласно [5]
Направление прихода имитационной помехи	$\varphi = 0, \theta \in (0..90)$
Элемент АР	Представлен в [3]
Количество $N$ элементов АР	6
Межэлементное расстояние	$\lambda$ (L1)
Шаг перестройки амплитуды ДОС	0,01
Шаг перестройки фазы ДОС	1°
Конфигурация АР	«звезда»

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, соответствующие начальным условиям проведения моделирования, приведены на рис. 1.

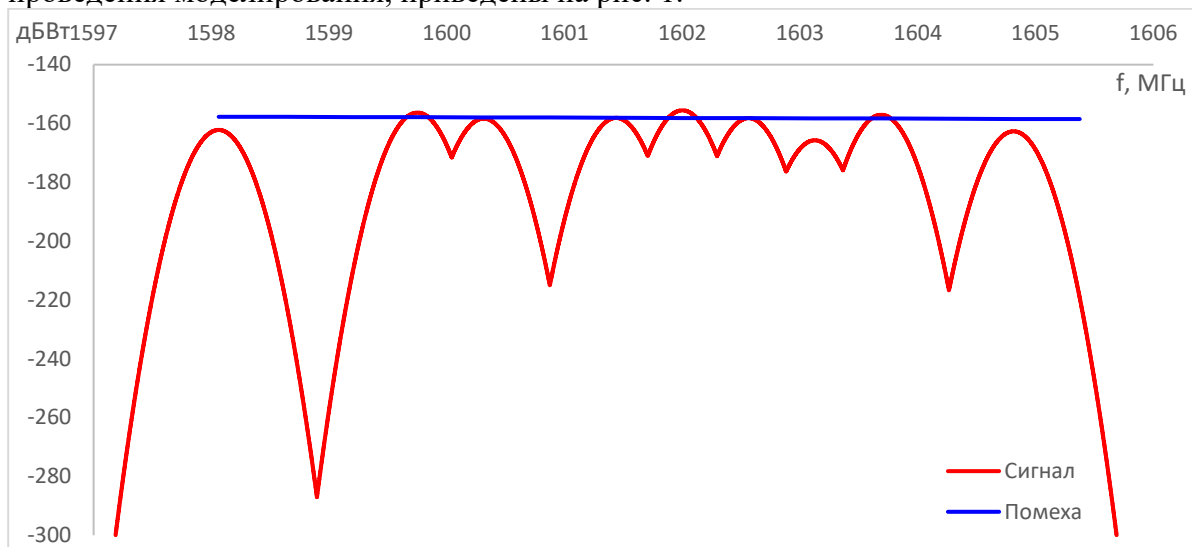


Рисунок 1. Спектральная характеристика на выходе антенны в диапазоне L1

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

На рис. 2 приведены зависимости выигрыша  $SJR$  от угла места прихода помехи. В качестве метода решения оптимизационной задачи использовался перебор по сетке [6].

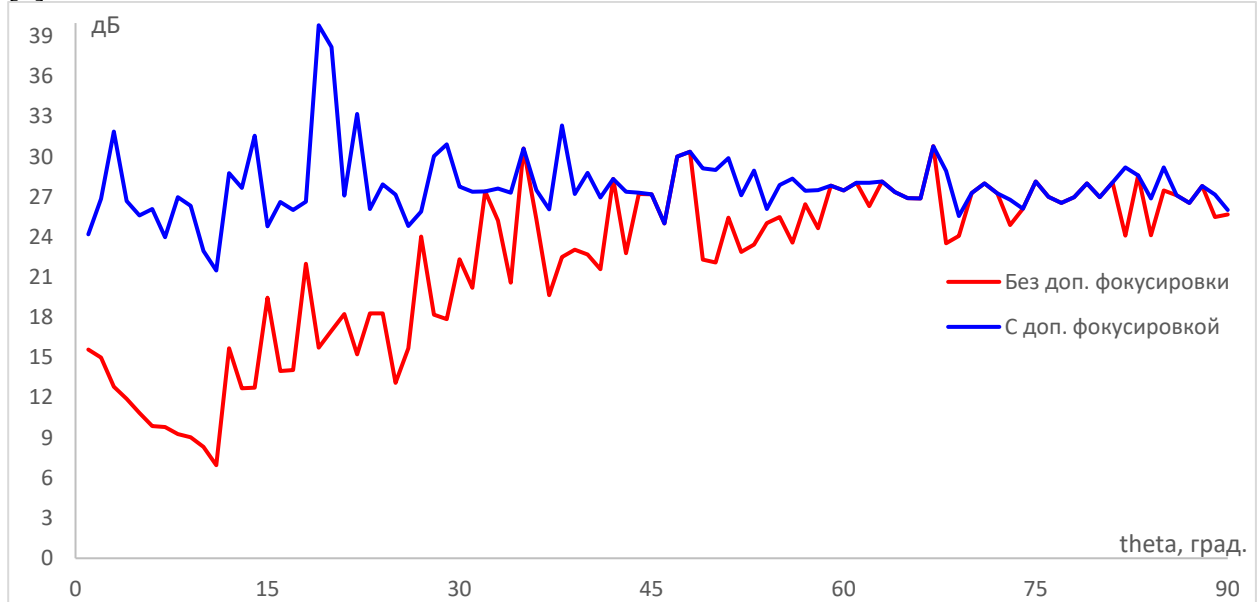


Рисунок 2. Зависимость выигрыша  $SJR$  от угла места прихода помехи

Из графика видно, что дополнительная фокусировка дает выигрыш в  $SJR$  в среднем на 5,63 дБ больше при углах места прихода помехи  $\theta < 45^\circ$ . Общее время работы алгоритма для всех углов  $\theta$  можно оценить согласно [4], для перебора по сетке:

$$t_a = (t_l + t_o) \cdot \tau_a \cdot N \cdot \tau_{st} \quad (3)$$

где  $t_l$  – латентное время расчета точек ДН  $\sim 60$  нс,  $t_o$  – время выполнения всех математических операций расчета точек ДН  $\sim 10$  нс,  $\tau_a$  – количество значений, принимаемых аргументом – 460,  $N$  – количество антенн в АР – 6,  $\tau_{st}$  – число шагов алгоритма до достижения требования сходимости. Таким образом, общее время работы составило 0,2 с для алгоритма без фокусировки (суммарное  $\tau_{st} = 1027$ ; 2,2 мс в среднем на одно направление) и 0,23 с для алгоритма с фокусировкой ((суммарное  $\tau_{st} = 1207$ ; 2,59 мс в среднем на одно направление).

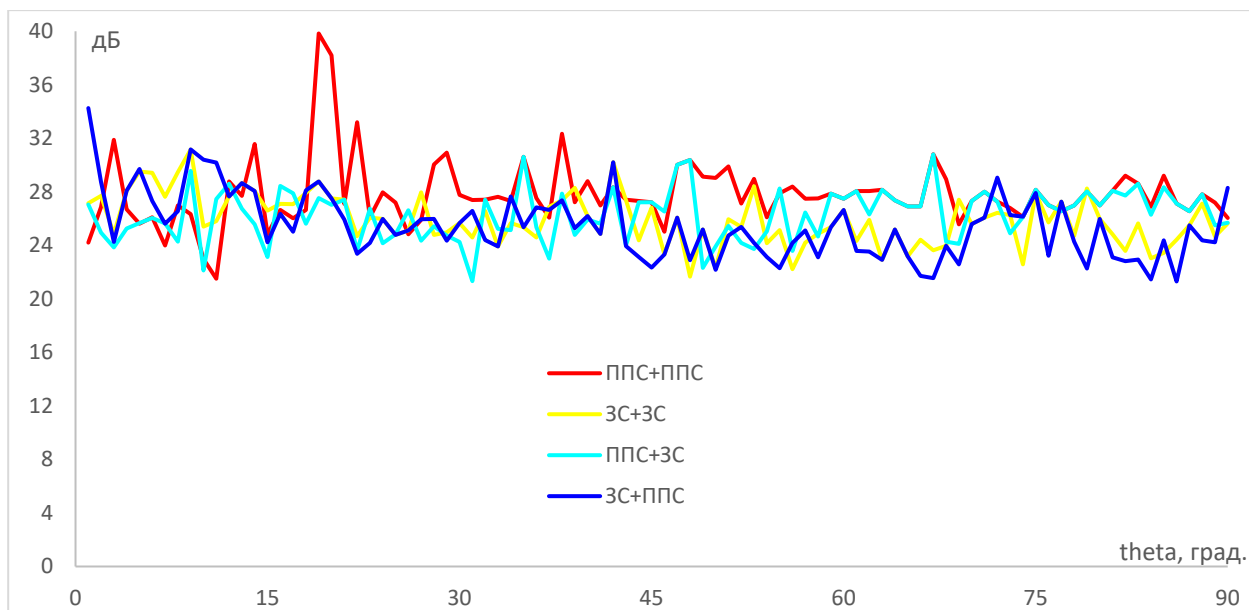
### 4. Сравнение методов оптимизации

Использование в качестве алгоритма оптимизации метода золотого сечения [7] позволяет сократить значение  $\tau_a$  до 25. Время работы данного алгоритма можно оценить по формуле:

$$t_a = (t_p + t_l + t_o) \cdot \tau_a \cdot N \cdot \tau_{st} \quad (4)$$

где  $t_p$  – время расчета значений аргументов следующей итерации по пропорциям золотого сечения  $\sim 170$  нс.

Производилось моделирование зависимости уровня подавления помехи от угла места прихода помехи производилось 4-х комбинаций методов создания «нуля» с дополнительной фокусировкой. Результаты приведены на рис. 3 и сведены в табл. 2.



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

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики различных комбинаций алгоритмов создания «нуля» и фокусировки

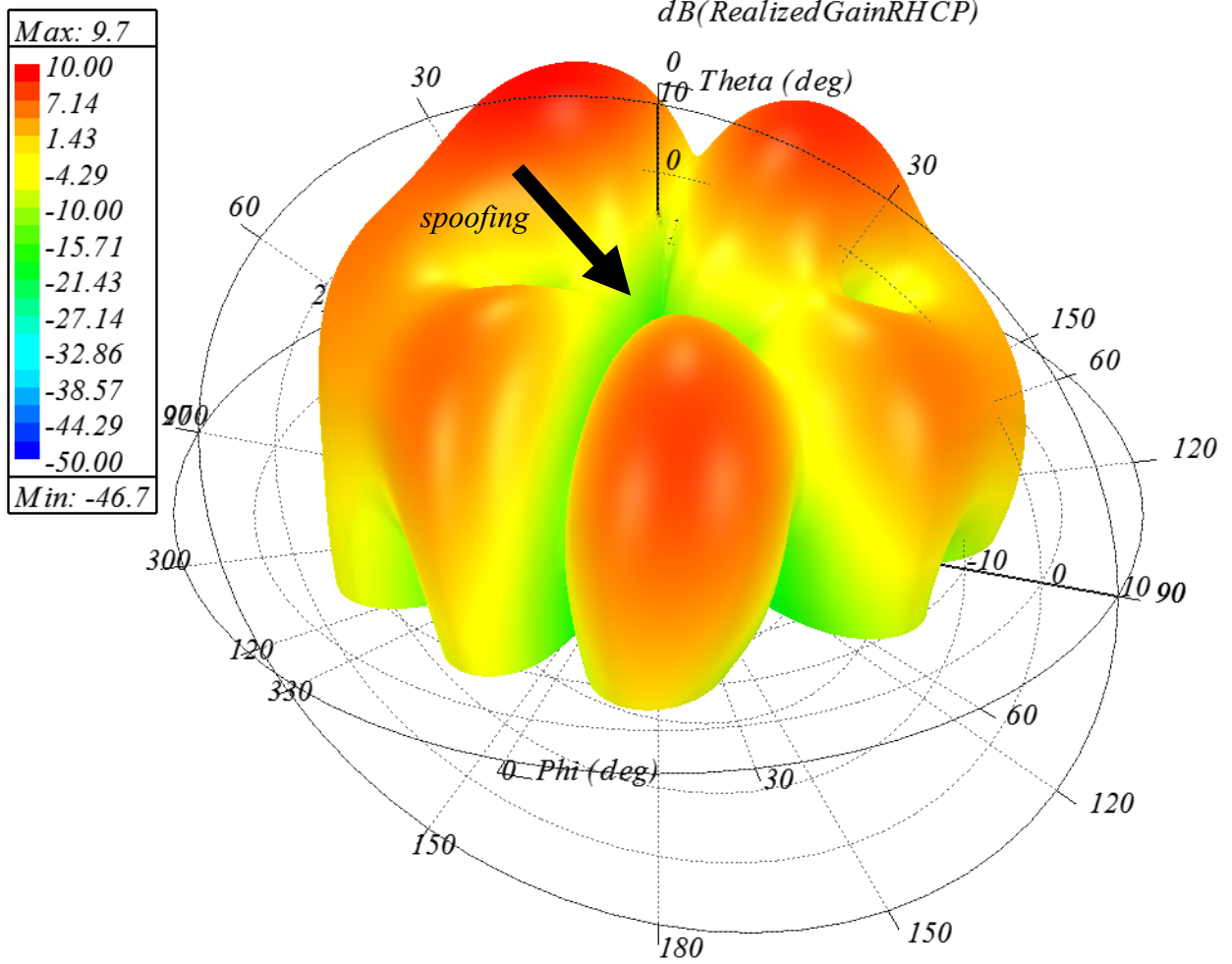
Метод создания «нуля»	Метод фокусировки	Средний выигрыш в $SJR$ , дБ	Общее время работы, с	Среднее время подавления одной помехи, мс
ППС*	ППС	27,81	0,23	2,59
ЗС**	ЗС	25,92	1,81	20,14
ППС	ЗС	26,28	0,57	6,32
ЗС	ППС	25,46	1,47	16,39

\*– перебор по сетке

\*\*– метод золотого сечения

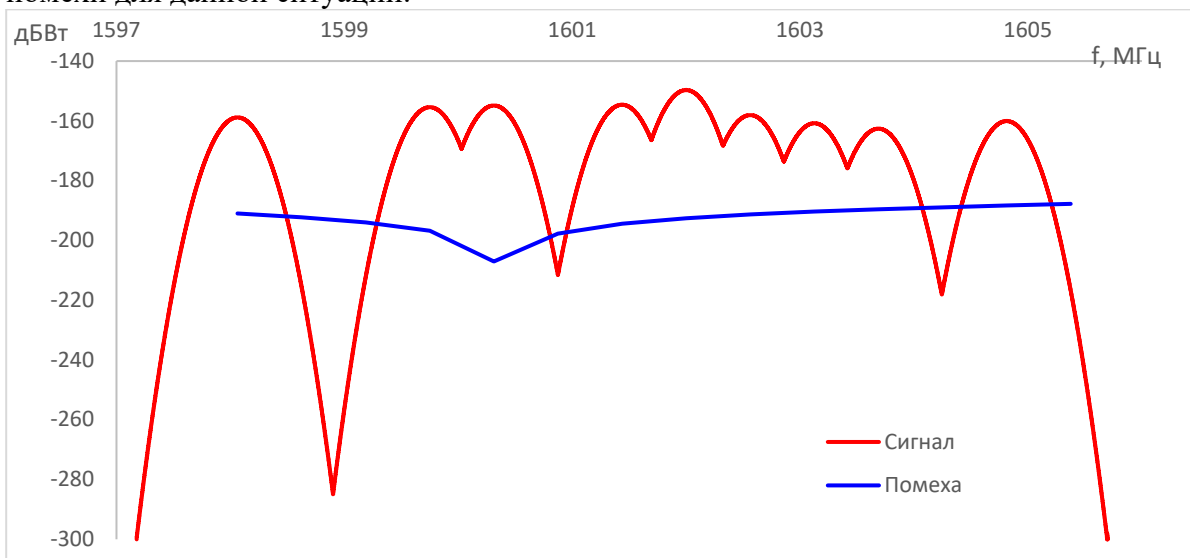
Несмотря на уменьшение  $\tau_a$ , прибавка  $t_p$  и увеличение  $\tau_{st}$  не позволяет сократить время работы алгоритма за счет поиска АФР методом золотого сечения, как и в случае двухчастотной аппаратуры L1+L2 [4].

На рис. 4 для примера результата приведена ДН АР после создания «нуля» в направлении  $\varphi = 0^\circ, \theta = 19^\circ$ .



**Рисунок 4.** ДН АР после подавления помехи в направлении  $\phi=0^\circ$ ,  $\theta=19^\circ$  на центральной частоте диапазона L1

На рис. 5 приведена спектральная характеристика навигационных сигналов и помехи для данной ситуации.



**Рисунок 5.** Спектральная характеристика на выходе АР после подавления помехи в направлении  $\phi=0^\circ$ ,  $\theta=19^\circ$  в диапазоне L1

## 6. Выводы

1) Использование антенных решеток с адаптивной ДН является перспективным способом борьбы со спуфингом в гражданском диапазоне ГЛОНАСС.

2) Использование дополнительной фокусировки после создания «нуля» ДН в направлении прихода имитационной помехи дает до 5,63 дБ выигрыша в отношении  $SJR$  при среднем добавочном времени работы алгоритма помехоподавления 0,39 мс.

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

### Список литературы

1. Савельев, Е. В. Моделирование навигационного сигнала ГЛОНАСС в условиях многолучевого распространения / Е. В. Савельев // Политехнический молодежный журнал. – 2020. – № 2(43). – С. 5.
2. Максименко, В. Н. Анализ уязвимостей каналов связи спутниковых навигационных систем LBS-услуги / В. Н. Максименко, Д. А. Ухин // Экономика и качество систем связи. – 2019. – № 1(11). – С. 18-22.
3. Антонов А.С., Голубев С.С. Помехоустойчивая навигационная аппаратура потребителя ГЛОНАСС для гражданского применения // Будущее предприятия – в творчестве молодых: Сб. докладов научно-технической конференции. – СПб, 2022.
4. Антонов А.С., Ширяев Д.А. Анализ временных характеристик алгоритма подавления имитационной помехи/ Состояние, проблемы и перспективы разработки корабельных информационно-управляющих комплексов. / Сб. докладов научно-технической конференции. – М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат». 2022.
5. ИАЦ КВНО ФГУП ЦНИИмаш – <http://www.glonass-iac.ru>
6. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: Перевод с английского. – Москва: Мир, 1985. – 509 с., ил.
7. Минегалиева, М. М. Минимизация функции одной переменной методом золотого сечения / М. М. Минегалиева, И. И. Набиев, З. М. Гизатуллин // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции: в 3-х томах, Курск, 04–05 июня 2014 года / ответственный редактор Горохов А.А. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2014. – С. 400-402.