

УДК 621.396.933 : 527.8

А.Е. Казаков<sup>1</sup>, А.А. Водяных<sup>2</sup><sup>1</sup>Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков<sup>2</sup>Государственное предприятие «Оризон-Навигация», Смела

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Проанализирована возможная помеховая обстановка в зоне действия навигационной аппаратуры потребителей спутниковой радионавигационной системы и моделей радиоэлектронного противодействия. Предложены методы повышения помехозащищенности навигационной аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем.*

*помехозащищенность, навигационная аппаратура, спутниковая навигационная система*

### Введение

**Постановка проблемы.** Современные условия применения и развития спутниковых навигационных систем (СНС) требует непрерывного совершенствования навигационной аппаратуры потребителей (НАП) СНС [1]. Возрастание требований к НАП СНС идёт по трём основным направлениям:

а) развитие существующих и создание новых СНС;

б) возрастание требований к точности определения навигационных параметров;

в) возрастание требований к помехозащищенности НАП.

Мешающим воздействием помех считается недопустимое ухудшение качества определения координат и/или выделения эфемеридной информации в навигационной аппаратуре потребителей спутниковых навигационных систем, произошедшее вследствие воздействия помех.

В настоящее время, в условиях сложной помеховой обстановки, в том числе с учетом фактора активного радиоэлектронного подавления (РЭП), особое место занимают вопросы повышения помехозащищенности НАП.

**Анализ литературы.** Принципы построения и работа НАП СНС рассмотрены в ряде работ [1, 2]. Однако, до настоящего времени, не проводился анализ возможной помеховой обстановки в зоне действия НАП СНС и не приводились обобщенные тактико-технические характеристики современных многоцелевых средств и комплексов РЭП, потенциальных источников помех для НАП СНС

**Целью статьи** является анализ возможной помеховой обстановки в зоне работы НАП СНС и методов повышения помехозащищенности навигационной аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем.

### Основной материал исследования

**Анализ моделей радиоэлектронного подавления.** Из анализа современных средств радиоэлектронного подавления следует, что радиоэлектронное подавление радиоприемных устройств (РПУ) НАП СНС может осуществляться с применением как многоцелевых, так и специализированных средств (комплексов) РЭП наземного и воздушного базирования [3].

Анализ характеристик и особенностей построения помехозащищенной навигационной аппаратуры потребителей СНС показывает, что для эффективного подавления всех типов приемников наиболее вероятно создание помех каналам синхронизации НАП одновременно в двух поддиапазонах частот L1 и L2 [4]. При этом для достижения наибольшей эффективности преднамеренных помех несущие частоты и параметры помех могут выбираться с учетом границ занимаемых полос частот, номиналов несущих частот наблюдаемых в данном районе навигационных космических аппаратов и параметров сигналов в каналах синхронизации, которые заранее известны.

В настоящее время отсутствуют достоверные данные о наличии на вооружении иностранных армий специализированных средств создания помех для НАП СНС. Однако на вооружении сил разведки и РЭБ вооруженных сил ведущих зарубежных стран имеются многоцелевые средства РЭП наземного и воздушного базирования, предназначенные для подавления широкого класса наземных и авиационных радиоэлектронных средств систем управления оружием, радиосвязи и радионавигации.

Тактико-технические характеристики современных многоцелевых средств и комплексов РЭП, потенциальных источников помех для НАП СНС, приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Характеристики современных средств  
и комплексов РЭП

Наименования характеристик	Значения характеристик в диапазонах рабочих частот НАП СНС
Наземные мобильные комплексы РЭП	
Мощность передатчика помех, кВт	0,5...1
Типы передающей антенны	Управляемая ФАР с изменяемым числом лучей; решетка вибраторов на мачте
Ширина ДНА передатчика, град.:	
по азимуту	20...60
по углу места	20...40
Коэффициент усиления антенны, дБ	10...20
Количество одновременно подавляемых каналов (излучаемых несущих)	2...4
Количество одновременно подавляемых каналов на разных частотах с дискретизацией во времени (прерывистая помеха)	4...8
Транспортная база	Автомобиль, БТР
Авиационные комплексы РЭП	
Мощность передатчика помех, кВт	0,5...1
Типы передающей антенны	Рупорная, ФАР
Ширина ДНА передатчика, град.:	
по азимуту	20...90
по углу места	10...20
Коэффициент усиления антенны, дБ	10...16
Количество одновременно подавляемых каналов (излучаемых несущих)	2...4
Количество одновременно подавляемых каналов на разных частотах с дискретизацией во времени	4...8
Транспортная база	Самолет типа RU-21H, RC-7; вертолет типа EH-1H, EH-60A
Передатчики помех, доставляемые / устанавливаемые на БЛА (оценка)	
Общий диапазон частот, МГц	20...15000
Количество литеров передатчиков помех в общем диапазоне частот	6...8
Излучаемая мощность, Вт	10...20 / 30...50
Потребляемая мощность, Вт	100...200 / 350...600
Время непрерывной работы, час	0,5 ... 1,5 / 2 ... 4
Масса аппаратуры (без источника питания), кг	2...3 / 10...25
Объем аппаратуры, дм <sup>3</sup>	1...2 / 10 ...15
Способ управления	Программный, дистанционный
Дополнительные функции	Обнаружение, анализ и распознавание, выбор режима подавления

Тактико-технические характеристики (ТТХ) перспективных средств РЭП, полученные на основе информационно-логического анализа и экспертных оценок достижимых уровней развития научно-технической базы разработок и создания техники РЭП в ведущих зарубежных странах на период до 2010 – 2015 гг. применительно к полосам рабочих частот НАП СНС представлены в табл. 2.

Таблица 2  
ТТХ перспективных средств РЭП

Наименование характеристики	Значения характеристик для различных вариантов базирования средств РЭП:		
	Наземные		Авиационные
	Мобильные	Малогобаритные	
Диапазон подавляемых частот, ГГц	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Мощность передатчика (непр.), кВт	0,5 – 1	0,01 – 0,05	1 – 2
Диаметр антенны (эквивалентный), м	2,5	–	1,5
Ширина полосы помехи, МГц	0,1 – 25	0,1 – 25	0,1 – 25
Коэффициент усиления антенны, дБ	20 – 23	0 – 4	17 – 20
Основные виды помех	Шумовая маскирующая, немодулированная несущая, сетка гармонических помех, хаотическая импульсная.		

Наиболее вероятны следующие варианты применения средств РЭП для подавления аппаратуры потребителей СНС в составе объединенной группировки войск путем создания шумовых маскирующих помех одновременно в двух полосах рабочих частот навигационных сигналов:

а) с помощью наземной мобильной станции помех, действующей из боевых порядков войск противника с удалений 3...7 км и с суммарной излучаемой мощностью помех до 10 кВт;

б) с помощью вертолетной станции помех, действующей из зоны барражирования на высоте 1500 м при удалении на 5...15 км и с суммарной излучаемой мощностью помех до 10 кВт;

в) с помощью передатчика помех, установленном на беспилотном летательном аппарате (БЛА), действующем над районом дислокации на высоте порядка 500 м и с суммарной излучаемой мощностью помех до 50 Вт, при средней плотности размещения – 1 БЛА на площади размером 10 × 10 км;

г) с помощью забрасываемых передатчиков помех (ЗПП), доставленных с помощью БЛА или силами десанта в район дислокации, с суммарной излучаемой мощностью помех до 10 Вт, при сред-

ней плотности размещения – 1 передатчик помех на площади размером  $1 \times 1$  км.

**Анализ модели помеховой обстановки.** Помехи подразделяются на преднамеренные и не преднамеренные, действующие как вне полосы пропускания (ПП) приемного тракта НАП (внеполосные) так и в пределах ПП (внутриполосные). Задача подавления внеполосной помехи в приёмном тракте НАП решается классическими методами на аппаратном уровне и реализуется с помощью соответствующих фильтров [5]. Гораздо более серьезную проблему представляют собой внутриполосные помехи, то есть деструктивные сигналы, действующие в полосе частот, используемой для передачи и приема полезного навигационного сигнала.

Из всего многообразия преднамеренных и непреднамеренных внутриполосных помех можно выделить следующие основные классы:

а) гармоническая помеха (возможен вариант гармонической помехи с амплитудной модуляцией) с мощностью на входе РПУ больше уровня внутренних шумов приёмника в полосе частот полезного сигнала;

б) полигармоническая помеха с суммарной мощностью на входе РПУ больше уровня внутренних шумов приёмника в полосе частот полезного сигнала;

в) импульсная помеха со скважностью меньше 10;

г) шумоподобная помеха с мощностью, превышающей внутренние шумы приёмника в полосе частот полезного сигнала.

**Анализ методов повышения помехозащищенности.** Для проведения оценки помехозащищенности проанализируем два наиболее критичных к воздействию внутриполосных помех режима работы НАП:

а) режим удержания сигнала (используется только информация о текущем значении псевдодальности);

б) режим сопровождения сигнала (используется эфемеридная информация, а также текущие значения псевдодальности и фазы несущей).

Принимая во внимание, что типовая НАП СНС представляет собой корреляционный приёмник, предкорреляционный тракт которого согласован с полосой частот полезного сигнала, можно выделить следующие методы повышения помехозащищенности:

– применение НАП (РПУ), обладающей возможностью приема и обработки сигналов от различных СНС (ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS));

– пространственная селекция сигналов и подавление помех:

а) фазированная антенная решётка с «максимумами» в направлениях на навигационные космиче-

ские аппараты;

б) фазированная антенная решётка с «нулями» в направлениях на источники помех;

в) компенсация помех с помощью одной или нескольких вспомогательных антенн;

– предкорреляционная обработка смеси сигналов и помех:

а) обработка спектра смеси сигналов и помех с целью подавления сосредоточенных спектральных составляющих на основе прямого и обратного дискретного преобразования Фурье;

б) обработка спектра смеси сигналов и помех с целью подавления сосредоточенных спектральных составляющих методом компенсации;

в) обработка смеси сигналов и помех во временной области;

– алгоритмическая посткорреляционная обработка сигнала:

а) некогерентный приём сигналов;

б) алгоритмические (программные) способы помехоустойчивого выделения эфемеридной информации;

в) использование в приёмнике избыточной информации, заложенной в структуре сигнала: связь между частотой несущей и тактовой частотой кода; связь между сигналами одного спутника, передаваемыми на разных несущих частотах;

г) использование в приёмнике избыточной информации, заложенной в составе сигналов СНС (контроль целостности системы по одному или нескольким алгоритмам);

– комплексирование с внешними источниками навигационной информации:

а) использование информации о скоростях и/или ускорениях по осям объекта, о высоте и др., поступающих от дополнительных датчиков;

б) комплексирование с инерциальной навигационной системой.

Очевидно, что каждый из вышеприведенных методов подавления помех эффективен лишь для определенных классов помех. Чтобы обеспечить защиту НАП от помех разных классов, необходимо комплексирование в едином приемно-вычислительном комплексе всех (или нескольких) методов повышения помехозащищенности. При этом комплекс должен анализировать помехи, действующие в данный момент времени, и принимать решение об использовании конкретных методов повышения помехозащищенности (если необходимо, комплекс должен вырабатывать целеуказания для подавителей помех).

Методы повышения помехозащищенности можно дополнительно разделить по эффективности для НАП, находящейся в режиме сопровождения или удержания сигналов спутников. При этом режим сопровождения является общим случаем при-

менения НАП. В нём возможен поиск и захват сигналов, «холодный старт» аппаратуры, работа в энергосберегающем режиме (режим периодических обсерваций). Поскольку режим сопровождения является основным для подавляющего большинства НАП и одновременно наиболее подверженным влиянию деструктивных сигналов целесообразно рассмотреть вопросы подавления помех проводить применительно именно к этому режиму.

Возвращаясь к описанию методов повышения помехозащищенности при обработке сигналов, следует отметить возможности, которые уже реализованы либо потенциально могут быть реализованы в НАП серии СН, производства ГП «Оризон-Навигация», г. Смела, Украина:

а) применение мультисистемных навигационных приемников – НАП серии СН, изначально разрабатывалась как мультисистемная, с возможностью приема и обработки сигналов СНС ГЛОНАСС, GPS, SBAS. В настоящее время проводятся работы по созданию приемника, обладающего возможностью обрабатывать сигналы СНС ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS);

б) контроль целостности СНС – является общепринятой функцией НАП и поэтому реализован во всей аппаратуре. Реализация полностью программная;

в) пространственная селекция сигналов и подавление помех в общем случае выполняется в виде отдельного узла НАП. От НАП могут потребоваться целеуказания для ФАР (в зависимости от принципа организации метода подавления). Для расчёта и передачи целеуказаний в НАП можно использовать резерв производительности вычислителя и выдавать информацию по одному из стандартных портов (например, RS 232);

г) предкорреляционная обработка смеси сигналов и помех в общем случае также выполняется в виде отдельного узла НАП. Такой узел может быть включен в состав НАП при условии реализации согласованного интерфейса. Также может быть реализована алгоритмическая посткорреляционная обработка сигнала (использование в приёмнике избыточной информации, заложенной в структуре сигнала), при этом её реализация не требует аппаратных затрат и сводится к доработке программного обеспечения приемника;

д) посткорреляционная обработка сигнала (уменьшение порога чувствительности колец слежения к воздействию помех) в процессоре центральной операционной системы реализована как дополнительная функция, т.е. программно-аппаратно. Алгоритмическая посткорреляционная обработка сигнала (алгоритмические (программные) способы помехоустойчивого выделения эфемеридной информации) реализована как основная функ-

ция НАП, поскольку задача выделения эфемерид изначально решена именно этим способом для достижения универсальности каналов.

е) комплексирование с внешними источниками навигационной информации может быть реализовано в рамках системы слежения за несущей;

ж) комплексирование в едином приёмно-вычислительном комплексе всех (или нескольких) методов подавления помех требует анализа помеховой обстановки. Для этого в процессоре центральной операционной системы предусмотрен режим набора массива отсчётов уровней входной смеси сигналов и шума. Дальнейший анализ может проводиться программными средствами, используя общеизвестные алгоритмы.

## Выводы

Перспективная НАП СНС при обеспечении основных функций НАП, ориентирована на получение предельных показателей по точностным характеристикам.

При этом имеется возможность модернизации ее под требования потребителя и реализации специальных функций.

В НАП предусмотрены режимы работы, поддерживающие задачи повышения помехозащищенности большинством из общепризнанных методов. Поэтому на её базе может быть разработан навигационный приёмник, обладающий повышенной помехозащищённостью.

Для достижения предельных показателей по помехозащищённости требуется разработка отдельных узлов, включение которых в состав НАП позволит обеспечить требуемые показатели.

## Список литературы

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Тренз, 2000. – 315 с.
2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова. – М.: ИПРЖР, 1998. – 285 с.
3. Техническое описание логического проекта приёмного канала. Редакция 1. – КБ «Оризон-Навигация», 2002. – 134 с.
4. Батищев С.Н., Пененко А.П. Первичная обработка сигнала в современной аппаратуре потребителей спутниковых навигационных систем и проблемы помехоустойчивости. – КБ «Оризон-Навигация», 2006. – 128 с.
5. Перов А.И., Харисов В.Н., Ефименко В.С. Обоснование пути создания малогабаритного антенного подавителя помех для аппаратуры потребителей СНС ГЛОНАСС/GPS. Отчёт по НИР. – М.: ИПРЖР, 2003. – 215 с.

Поступила в редколлегию 19.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.И. Антюфеев, Объединенный научно-исследовательский институт ВС, Харьков.