

УДК 621.396.983

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ АППАРАТУРЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ NAVSTAR

В.А. КОНДРАТЕНОК

*Военная академия Республики Беларусь**Поступила в редакцию 15 января 2003*

Аппаратура пользователей (АП) системы NAVSTAR широко применяется в различных областях деятельности человека. Ее функционирование может проходить в сложной помеховой обстановке. Данная аппаратура, как правило, работает в составе бортового навигационного комплекса, и ее подавление может привести к ухудшению точностных характеристик комплекса в целом. В статье предлагается рассмотреть методику определения порогового значения мощности помех на входе приемной антенны аппаратуры пользователей, необходимого для ее подавления на этапе слежения за параметрами навигационного сигнала. В работе представлены основные характеристики и отличительные особенности трех классов аппаратуры пользователей, рассмотрена методика определения параметров их помехоустойчивости к активной шумовой помехе в случае равенства ширины спектра помехи и сигнала. В заключительной части работы приведен пример расчета параметров постановщика помех с помощью описываемой методики. Сделан вывод о возможности применения методики для расчета показателей помехоустойчивости АП системы NAVSTAR.

Ключевые слова: помехоустойчивость, NAVSTAR, аппаратура пользователей.

Введение

Аппаратура пользователей (АП) [1] спутниковой радионавигационной системы NAVSTAR находит в последнее время широкое применение как в гражданских, так и в военных областях деятельности человека. Вместе с тем ее функционирование может проходить в электромагнитной обстановке, характеризующейся повышенным уровнем помех на раскрытие приемной антенны [2, 3]. Это обуславливается возможным наличием постановщиков как преднамеренных, так и непреднамеренных помех. Постановка же помех может привести к срыву функционирования АП, а значит, и к ухудшению точностных характеристик бортовых навигационных комплексов, в состав которых она входит.

Расчет характеристик передатчика помех, необходимых для радиоэлектронного подавления АП системы NAVSTAR при условии равенства ширины спектра сигнала и помехи, приводился в [4] с использованием следующего выражения:

$$\bar{P}_{nn} = \frac{\sigma_{n.nop}^2 d_n^2 (4\pi)^2}{G_{an} G_{nn} \lambda^2}, \quad (1)$$

где \bar{P}_{mn} — средняя мощность передатчика помех; G_{an} — коэффициент усиления приемной антенны АП в направлении передатчика помех; G_{mn} — коэффициент усиления передающей антенны передатчика помех в направлении АП; d_n — дальность подавления; λ — длина волны; $\sigma_{n.nop}^2$ — пороговая мощность помехи на входе приемной антенны АП, необходимая для срыва ее функционирования.

В [4] принималось, что $\sigma_{n.nop}^2 = 22$ дБ для АП, использующей навигационный сигнал гражданского назначения, $\sigma_{n.nop}^2 = 34$ дБ для АП, использующей сигнал военного назначения и $\sigma_{n.nop}^2 = 44$ дБ для АП, использующей модифицированный алгоритм обработки навигационного сигнала. При этом не указывалось, в какой степени эти значения $\sigma_{n.nop}^2$ близки к тем, которые можно получить при оптимальных обработке сигнала и работе следящих систем.

Целью статьи является рассмотрение методики определения значения $\sigma_{n.nop}^2$ для различных классов аппаратуры пользователей системы NAVSTAR.

Классификация аппаратуры пользователей

Аппаратуру пользователей можно условно разделить на три класса [1].

АП первого класса (АП1) предназначена для быстрых высокоточных навигационных определений координат места и скорости, а также поправок времени высокодинамичных потребителей в условиях сложной помеховой обстановки. Упрощенная структурная схема АП данного класса представлена на рис. 1. В ее состав входят четыре канала слежения за несущей частотой и один канал слежения за задержкой кода, который обеспечивает последовательное слежение за задержками гражданского и военного навигационного сигнала на частотах 1227,6 и 1575,42 МГц поочередно для всех четырех используемых навигационных спутников.

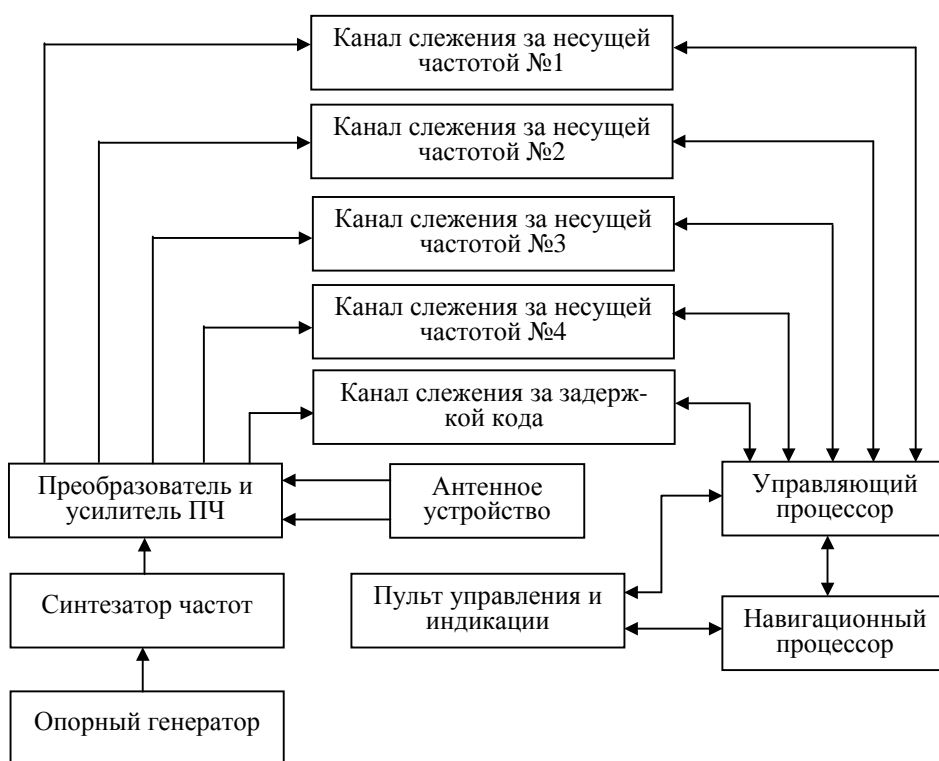


Рис. 1. Структурная схема АП1

АП второго класса предназначена для низкодинамичных объектов. Это дает возможность ограничиться последовательным слежением за несущей частотой четырех навигационных спутников при сохранении того же режима слежения за задержкой, как и в АП1, но при этом аппаратура заметно упрощается, снижается ее стоимость.

АП третьего класса (АП3) представлена упрощенной структурной схемой на рис. 2. Она удовлетворяет требованию минимальной стоимости и рассчитана на прием лишь гражданского навигационного сигнала на частоте 1575,42 МГц, а также поочередное определение радионавигационных параметров по рабочим навигационным спутникам.



Рис. 2. Структурная схема АП3

Анализ помехоустойчивости аппаратуры пользователей в режиме слежения

Величину $\sigma_{n.пор}^2$, ввиду предположения об оптимальной обработке навигационного сигнала в АП, можно рассчитывать как

$$\sigma_{n.пор}^2 = \frac{B\sigma_c^2}{h_{крит}}, \quad (2)$$

где B — база сигнала; σ_c^2 — мощность навигационного сигнала на входе АП; $h_{крит}$ — критическое отношение сигнал/шум на входе следящей системы, при котором происходит срыв ее функционирования (рассматривалась система слежения за несущей частотой как наименее помехоустойчивая [5]).

Значение $h_{крит}$ [6] обуславливается следующими характеристиками следящей системы:

Δf_y — ширина полосы усилителя АП, охваченного петлей автоматической регулировки усиления; Δf_c — ширина спектра сигнала; $\Delta f_{фл.с}$ — эффективная полоса флюктуаций сигнала; $\Delta f_{эф.о}$ — эффективная полоса следящей системы при отсутствии помех.

Для расчетов $h_{крит}$ используем следующую формулу:

$$\varphi(h_{крит}) = \frac{a_1^2 \Delta f_{фл.с}}{40 \Delta f_{эф.о}}, \quad (3)$$

где a_1 определяется из выражения эквивалентной дискриминационной характеристики следящей системы $a_{экс}(\delta)$:

$$a_{экс}(\delta) = a_1^4 \frac{\delta}{\left[\left(\frac{\delta}{2 \cdot \Delta f_{фл.с}} \right)^2 + a_1^2 \right]^2}. \quad (4)$$

Полагаем [5], что $y = \Delta f_y / \Delta f_c = 3; 10$. Значение $\Delta f_{фл.с}$ обуславливает точность навигационной аппаратуры, чьи характеристики [1] представлены в табл. 1. Рассматривая величину $\Delta f_{эф.о}$, принимая во внимание [1], задаем значения $\Delta f_{эф.о} = 1; 5; 10; 20 \text{ Гц}$.

Таблица 1. Характеристики аппаратуры пользователей системы NAVSTAR

Параметр	Класс аппаратуры пользователей		
	1	2	3
Точность определения скорости, м/с	0,02	0,1	0,2
Возможность использования данных от инерциальных навигационных систем	+	+	—
$\Delta f_{фл.с}$, Гц	0,1	0,5	1

Используя график на рис. 3 [6], находим значение функции $\varphi(h_{кр})$, а затем определяем величины $h_{крит.}$ и $\sigma_{н.пор.}^2$ для различных классов АП (см. табл. 2).

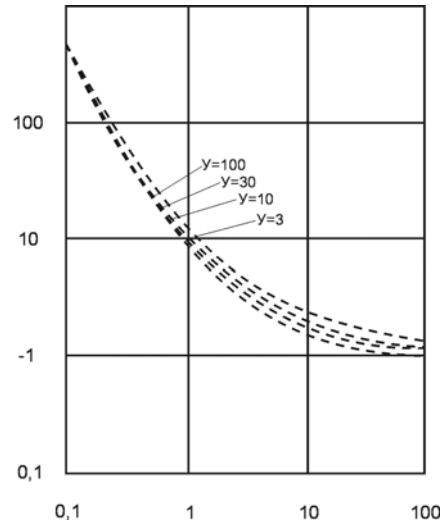


Рис. 3. Зависимость дисперсии флюктуационной ошибки от отношения сигнал/шум

Таблица 2. Величина $h_{крит.}$ для различных классов аппаратуры пользователей

Класс аппаратуры пользователей	$h_{крит.}$	$\sigma_{н.пор.}^2$
1	6	$3,4 \times 10^{-12}$
2	21	$9,7 \times 10^{-13}$
3	100	$2,1 \times 10^{-14}$

Из анализа данных табл. 2 видна существенная зависимость значения $\sigma_{н.пор.}^2$ от класса аппаратуры пользователей.

Характеристики передатчика помех

В качестве примера использования методики определения значения $\sigma_{н.пор.}^2$ рассмотрим расчет мощности передатчика помех, необходимой для радиоэлектронного подавления АП системы NAVSTAR. Результаты расчетов показаны в табл. 3. Принималось, что $G_{nn} = 3$, а $d_n = 10 \text{ км}$. Проводился анализ возможности радиоэлектронного подавления аппаратуры с различными типами антенн, в том числе и с управляемой диаграммой направленности.

Таблица 3. Средняя мощность постановщика помех \bar{P}_{nn} , Вт

Класс аппаратуры пользователей	G_{an}		
	1	0,1	0,01
1	0,45	4,5	45
2	0,13	1,3	13
3	0,003	0,03	0,27

Видно, что для срыва функционирования АП1, оборудованной слабонаправленной антенной, для дальности $d_n=10$ км достаточно мощности передатчика помех $\bar{P}_{nn} < 1$ Вт при $G_{nn} \approx 3$.

Проводя аналогичные расчеты, можно сделать вывод о том, какая АП (класс аппаратуры и характеристики антенны) может быть подавлена с помощью постановщика помех, имеющего ту или иную среднюю мощность помехи \bar{P}_{nn} на дальности подавления d_n при коэффициенте усиления передающей антенны постановщика G_{nn} .

JAM-RESISTANCE OF DIFFERENT NAVSTAR USERS EQUIPMENT CLASSES

V.A. KONDRATYONOK

Abstract

The users equipment of NAVSTAR system is widely applied in various spheres of the human activity. It may function in difficult noise conditions. The users equipment, as a rule, works in structure of an onboard navigating complex, and its suppression may result in deterioration of accuracy characteristics of a complex as a whole. In the article it is offered to consider a technique of definition of threshold value of noise capacity on an input of the reception aerial of the users equipment, necessary for its suppression at a stage of tracking parameters of a navigation signal. In article the basic characteristics and features of three classes of the users equipment are submitted, the technique of definition of parameters of their noise resistance to active noise source is considered (the width of a spectrum of a jam and a signal was equal). In a final part of work the example of calculation of parameters of the jammer with the help of a described technique is given. The conclusion is made about an opportunity of application of a technique for calculation of parameters of a jam-resistance of the users equipment of NAVSTAR system.

Литература

1. Волынкин А.И., Кудрявцев И.В., Мищенко И.Н., Шебшаевич В.С. // Зарубежная радиоэлектроника. 1983. № 4. С. 70–91.
2. Brown A. High Accuracy GPS and Antijam protection using a P(Y) Code Digital Beamsteering Receiver, ION 57 — Annual Meeting Proc., 2001.
3. Brown A., et al. Miniaturized GPS Antenna Array Technology, ION 55 — Annual Meeting Proc., 1999.
4. Кондратенко В.А. // Сборник научных статей докторантов, адъюнктов и соискателей Военной академии Республики Беларусь. 2002. № 5, С. 34–36.
5. Бортовые устройства спутниковой радионавигации / И.В. Кудрявцев, И.Н. Мищенко, А.И. Волдынкин и др. Под ред. В.С. Шебшаевича М., 1988.
6. Бакут П.А., Большаков И.А., Герасимов Б.М., и др. Вопросы статистической теории радиолокации / Под общ. ред. Г.П. Тартаковского. В 2-х Т. М., 1964.