

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОЭФФИЦИЕНТУ ПОМЕХОЗАЩИТЫ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ В МНОГОКАНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

В.К. Снежко, канд. техн. наук, доцент

С.А. Якушенко, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ

В.Е. Егрушев, канд. техн. наук, доцент

С.С. Веркин, канд. техн. наук, преподаватель

В.В. Антонов, преподаватель

Е.В. Чеканова, преподаватель

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-2-2-36-40

Аннотация. В работе рассмотрены зависимости коэффициента помехозащиты навигационного приемника от количества принимаемых радионавигационных сигналов в условиях воздействия помех, сосредоточенных по спектру. Обоснованы предельные значения коэффициента помехозащиты многоканального навигационного приёмника от энергопотенциала радиолинии помех и числа принимаемых сигналов.

Ключевые слова: навигационный приемник, многоканальный режим, помехозащищенность, показатель помехозащиты.

При воздействии на вход приемника навигационной аппаратуры спутниковой навигации ГЛОНАСС помехи качество приема сигналов снижается, что приводит к ухудшению точности определения местоположения. Наибольшее влияние на исправное функционирование приемника оказывают прицельные по частоте и спектру помехи, помехи на рабочей частоте с изменяющей фазой по закону цифровой модулирующей функции (псевдоимитирующий сигнал) и помехи имитирующие навигационные сигналы [1, 2, 3], т. е. помехи максимально близкие по структуре с сигналом, совпадающие в частотно-временной области (Δt , ΔF). В этом случае помехозащищенность приемника резко снижается и его функционирование может прекратиться.

Для борьбы с помехами в аппаратуре спутниковой навигации реализован способ помехозащиты, основанный на прямом расширении спектра путем использования широкополосных сигналов с большой базой [2, 4]. Основным показателем помехозащищенности является коэффициент помехозащиты. В паспорте изделия приводится его численное значение, которое составляет от 22 дБ до 35 дБ в зависимости от

типа приемника и режима его работы [5]. Данный показатель характеризует максимальное значение превышения уровня средней мощности узкополосной помехи над средним уровнем мощности полезного сигнала на входе одного радиоканала приемника, при котором его работоспособность сохраняется, т.е. среднеквадратическая погрешность определения местоположения не превышает допустимую (требуемую) зафиксированную в паспорте изделия.

Навигационный приемник имеет несколько индивидуальных каналов приема радионавигационных сигналов, излучаемых одновременно навигационными спутниками (НС). Для нормального функционирования навигационной аппаратуры ее приемник должен принимать не менее четырех радионавигационных сигналов. Реально на входе приемника может быть до восьми сигналов ГЛОНАСС. Поэтому возникает целесообразность оценки помехозащищенности аппаратуры в многоканальном режиме в зависимости от количества работоспособных каналов приема. Это позволит решить задачу потенциальной помехозащищенности многоканального приемника в зависимости от условий эксплуатации, тактики воздействия помех и выявить закономерности повышения помехозащи-

ценности моноканального приемник и сформулировать требования к помехозащищенности. Данному вопросу и посвящена статья.

Коэффициент помехозащиты приемника навигационной аппаратуры

Коэффициент помехозащиты определяется отношением максимальной средней мощности узкополосной помех P_{Π} в полосе частот полезного сигнала к средней мощности сигнала P_c , при котором точность определения координат не хуже требуемой [6, 7, 8]

$$K_{\Pi}^* = P_{\Pi}/P_c \quad \text{при} \quad \sigma_d < \sigma_d^*_{\text{тр}}, \quad K_{\Pi} \geq K_{\Pi}^* \quad (1)$$

где σ_d , $\sigma_d^*_{\text{тр}}$ – среднеквадратическая погрешность (требуемая) определения местоположения; K_{Π} , K_{Π}^* – расчетный (текущий) и требуемый (паспортный) коэффициент помехозащиты.

В условиях, когда прицельными помехами поражаются более одного частного канала или поставлена заградительная помеха на входе приемника помехозащищенность можно оценить посредством коэффициента помехозащиты m каналов из n возможных [6, 9, 10, 11]

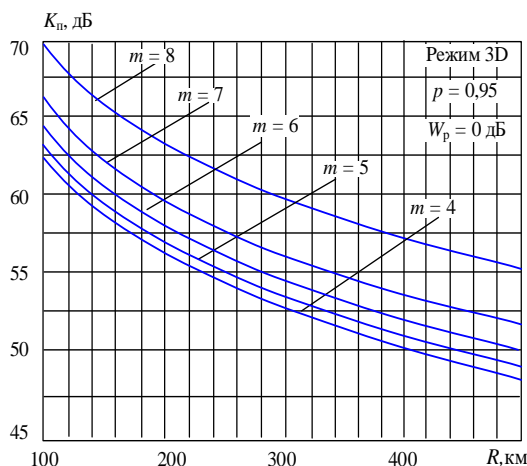


Рис. 1. Зависимость коэффициента помехозащиты от дальности подавления числа каналов приема в режиме 3D

Из рисунка 1 видно, что кривые практически идут параллельно. Это значит, что требования к коэффициенту помехозащиты не меняются при изменении числа видимых НКА для дальностей 100-500 км. Макси-

$$K_{\Pi}(n, m) = \sum_{i=m}^n C_n^m p_{\text{рп}}^m (1 - p_{\text{рп}})^{n-m}, \quad (2)$$

где C_n^m – число сочетаний из n по m ; $p_{\text{рп}}$ – вероятность радиоподавления канала приема.

Вероятность радиоподавления есть обратная величина вероятности нормального функционирования частотного канала в условиях преднамеренных помех, т.е. $p_{\text{нф}} = 1 - p_{\text{рп}}$. Тогда, для оценки помехозащищенности воспользуемся методикой, описанной в [6]. При этом уровни мощности сигналов и помех на входе приемника определяется первым уравнением передачи и зависят от энергопотенциалов радиолиний и дестабилизирующих факторов.

Оценка помехозащищенности многоканального приемника

На рисунке 1 представлены зависимости требуемого коэффициента помехозащиты для обеспечения вероятности нормальной работы приемника не менее 0,95 в условиях воздействия помех в зависимости от дальности источника помех для режима 3D и различного числа видимых НС ($m = 4 \dots 8$) для открытого интервала (затухание за счёт рельефа равно $W_p = 0$ дБ).

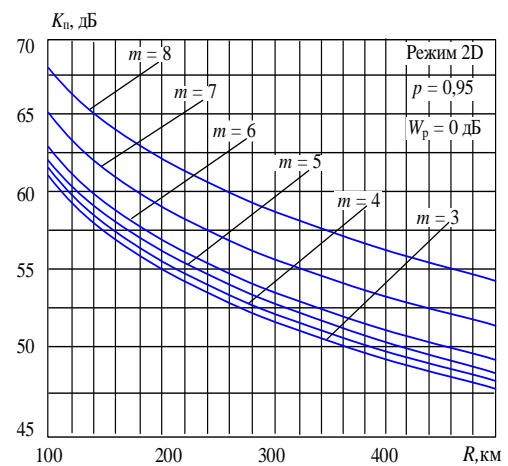


Рис. 2. Зависимость коэффициента помехозащиты от дальности подавления числа каналов приема в режиме 2D

имальная разница составляет 7,5 дБ при изменении числа видимых НКА от 4 до 8. Для максимальной дальности прямой видимости 400 км (высота полёта носителя источника помех 10 км) требуемый коэф-

коэффициент помехозащиты составляет 50-57 дБ.

В существующих приемниках навигационной аппаратуры коэффициент помехозащиты составляет в среднем 30 дБ. Как видим, этой величины недостаточно для открытых интервалов даже для дальности 400 км. Поэтому необходимо повышать коэффициент помехозащиты или использовать защитные свойства рельефа местности для обеспечения нормальной работы приемника. Использование защитных свойств рельефа трудно выполнимая зада-

ча, так как для нормальной работы приемника необходимо обеспечить открытое небо. Из этого следует, что коэффициент помехозащиты надо существенно повышать, не менее чем на 20-30 дБ.

На рисунке 2 приведены те же зависимости для режима 2D. Из рисунка видим, выигрыш в помехозащите не значительный при переходе от режима 3D к режиму 2D (2-3 дБ). Закономерности не меняются при смене режимов. Выигрыш в дальности подавления не более 10 км.

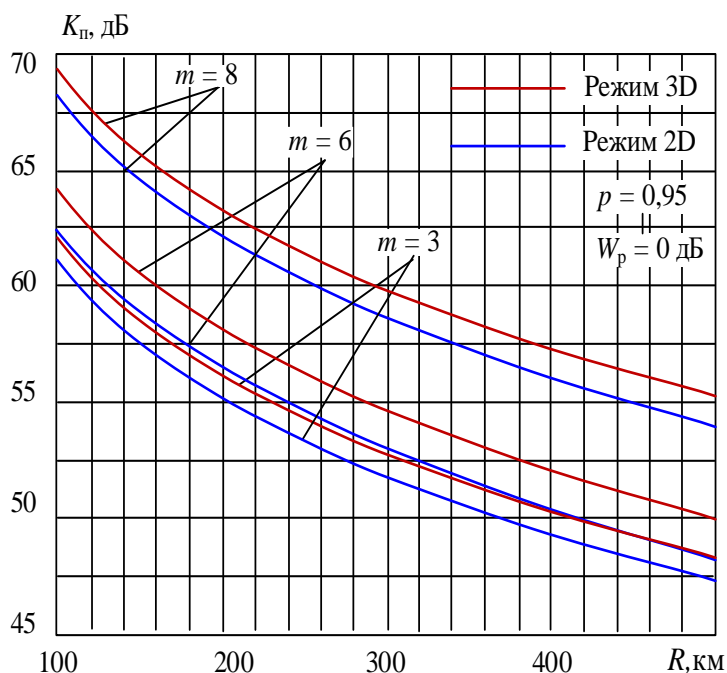


Рис. 3. Зависимость коэффициента помехозащиты от дальности подавления, числа каналов и режимов работы НАП

На рисунке 3 для наглядности приведены зависимости коэффициента помехозащиты одновременно для обоих режимов. Кривые для режима 2D построены при числе используемых АСН каналов $m = 3, 6, 8$, а для режима 3D – $m = 4, 6, 8$. Приведенные результаты показывают, что помехозащищенность многоканального приемника существенно отличается от помехозащищенности канала, т. е. дальность подавления многоканального приемника уменьшатся по сравнению с дальностями подавления канала при одновременной видимости 6 – 8 НС. Это объективная реальность. Кроме того, в режиме 2D помехо-

защищенность приемника несколько лучше, чем в режиме 3D.

Заключение

Результаты исследований целесообразно рекомендовать при формировании требований к помехозащищенности навигационной аппаратуры, а также для оценки и повышения помехозащищенности при ее эксплуатации в условиях применения преднамеренных радиопомех. Главный вывод из всех расчетов заключается в том, что существующие навигационные приемники имеют недостаточный ресурс помехозащиты. Поэтому для обеспечения нормального функционирования навигационной аппаратуры необходимы существен-

ные меры защиты от помех [11]. В условиях открытого интервала радиоподавления коэффициент помехозащиты должен составлять не менее 50-60 дБ, что не обеспечивает современная навигационная аппа-

ратура. Поэтому на данном этапе необходимо использовать защитные свойства местности, которые могут обеспечить требуемый Кпз, т.е. увеличить еще до 30 дБ.

Библиографический список

1. Дятлов А.П., Дятлов П.А., Кульбикаян Б.Х. Радиоэлектронная борьба со спутниковыми радионавигационными системами. – М.: Радио и связь, 2004. – 226 с.
2. Михайлов Р.Л. Радиоэлектронная борьба в Вооружённых силах США: военно-теоретический труд. – СПб.: Научно-технические технологии, 2018. – 131 с.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
4. Снежко В. К., Якушенко С. А. Средства и комплексы навигационного обеспечения систем управления специального назначения: Учебник для вузов связи. – СПб.: ВАС, 2018. – 508 с.
5. Снежко В. К., Якушенко С. А., Мальцев А. Д. Наземное навигационное обеспечение в задачах. Учеб. пособие. – СПб.: ВАС, 2010. – 240 с.
6. Якушенко С. А. Проблемы навигационного обеспечения систем мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов и оценка его безопасности // Информатика и космос. – 2019. – № 2. – С. 78-81.
7. Дворников С.В., Якушенко С.А., Боленко Е.Г. Навигационное обеспечение подвижных объектов и проблемы его безопасности. Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника и телевидение. – 2019. – Вып. 1. – С. 51-60.
8. Якушенко С.А., Малышев А.К. Непараметрический метод оценки помехозащищенности спутниковых радионавигационных приемников в условиях воздействия ретрансляционных помех // Вопросы радиоэлектротехники. – 2016. – №6. – С. 88-93.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.
10. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
11. Якушенко С.А., Снежко В.К., Дворовой М.О. Развитие направлений применения аппаратуры спутниковой навигации потребителя в войсках связи // Военная мысль. – 2019. – № 3. – С. 20-32.

**JUSTIFICATION OF THE REQUIREMENTS TO THE INTERFERENCE
COEFFICIENT OF NAVIGATION RECEIVERS IN THE MULTI-CHANNEL MODE**

V.C. Snezhko, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

S.A. Yakushenko, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the National Research Center*

V.E. Egrushev, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

S.S. Verkin, *Candidate of Technical Sciences, Lecturer*

V.V. Antonov, *Lecturer*

E.V. Chekanova, *Lecturer*

Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union

S.M. Budyonny

(Russia, St. Petersburg)

***Abstract.** The paper considers the dependence of the noise protection coefficient of a navigation receiver on the number of received radio navigation signals under the influence of interference concentrated over the spectrum. The limiting values of the noise protection coefficient of a multichannel navigation receiver from the energy potential of the interference radio link and the number of received signals are substantiated.*

***Keywords:** navigation receiver, multi-channel mode, noise immunity, noise protection index.*