

НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГЛОНАСС ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ

Доктор техн. наук *В.Б. Малинкин*, кандидат техн. наук *А.В. Малинкин*,
кандидат техн. наук *Е.В. Малинкин*
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Доктор техн. наук *М.Н. Петров*
Сибирский государственный университет науки и технологии
им. М.Ф. Решетнева

Объектом исследования будет система глобального позиционирования ГЛОНАСС, работающая в условиях КРАЙНЕГО СЕВЕРА. Для борьбы с мультипликативной помехой при работе системы глобального позиционирования предлагается инвариантный метод передачи информационных сигналов.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, надёжность позиционирования, проблемы передачи сигналов, ориентация на местности, АЧИ – амплитудно-частотные искажения; ФЧИ – фазо – частотные искажения, мультипликативная помеха; инвариантный метод обработки информационных сигналов.

GLONASS NAVIGATION SYSTEM UNDER INTEGRATED IMPACT OF INTERFERENCE

Dr. (Tech.) *V.B. Malinkin*, Ph.D. (Tech.) *A.V. Malinkin*, Ph.D. (Tech.) *E.V. Malinkin*,
doctor tech. Sciences, Professor
Siberian State University of Telecommunications and Information, Russian Federation

Dr. (Tech.) *M.N. Petrov*
Siberian State University of Science and Technology them. M.F. Reshetnev

The object of the research will be the GLONASS global positioning system operating in the HARD NORTH conditions. To combat the multiplicative interference during the operation of the global positioning system, an invariant method of transmitting information signals is proposed.

Keywords: global navigation satellite system, positioning reliability, signal transmission problems, orientation on the ground, АНЧ - amplitude-frequency distortion; ФЧЧ - phase - frequency distortion, multiplicative interference; invariant method of processing information signals.

Введение

В настоящее время, независимо от вида телекоммуникационного оборудования, для передачи информационных сигналов используются стандартные методы модуляции: амплитудная модуляция, частотная модуляция и фазовая модуляция и их модификации. Частотная модуляция и фазовая модуляция работают эффективно по сравнению с амплитудной моду-

ляцией при воздействии белого шума. При воздействии мультипликативной помехи указанные выше виды модуляции перестают работать эффективно. Амплитудная модуляция при незначительной модификации позволяет противостоять комплексной помехе.

Постановка задачи

Среди помех, воздействующих на сигналы навигационной системы можно выделить мультипликативную помеху, аддитивный шум, амплитудно-частотные искажения среды распространения. Наиболее «вредной» помехой является мультипликативная помеха и аддитивный шум. В данной статье предлагается метод борьбы с комплексной помехой в навигационной системе ГЛОНАСС.

Решение задачи

В настоящее время в подавляющем большинстве телекоммуникационного оборудования используются цифровые технологии. Это вызвано рядом преимуществ таких технологий в сравнении с аналоговой техникой.

При реализации цифрового канала между спутником, находящемся на геостационарной орбите, и потребителем, находящемся на земле возникают так называемые «проскальзывания». Данные «проскальзывания» обусловлены изменением частоты и фазы передающего устройства и приёмного устройства.

Величина проскальзывания определяется следующим соотношением:

$$N_x = f_{\text{дискр}} \cdot N_0 \cdot \frac{\Delta f_{\text{кc}}}{f_0}, \quad (1)$$

где N_x - число проскальзываний за одни сутки;

$f_{\text{дискр}} = 800$ Гц - частота дискретизации в соответствии с теоремой Котельникова;

$N_0 = 86400$ - число секунд в сутках;

$\Delta f_{\text{кc}}$ - характеризует уход принимаемого сигнала за счёт помехи;

f_0 - частота задающего генератора на орбитальном спутнике.

Величина $\frac{\Delta f_{\text{кc}}}{f_0}$ определяет относительную нестабильность сигнала приёма. Если эта

величина равна 10^{-8} , то система ГЛОНАСС работает в штатном режиме. Если же эта величина опускается до значения 10^{-5} , то цифровой канал перестаёт нормально функционировать. Из выражения (1) следует, что при работе в штатном режиме число проскальзываний за сутки не превышает 7.

При относительной нестабильности, равной 10^{-5} , число проскальзываний за сутки превышает 6500.

В радиоканале, несмотря на использование цифровых технологий, в качестве переносчика информационного сигнала используются три вида модуляции: амплитудная, частотная и фазовая. Уменьшить вероятность ошибочного приёма единичного элемента можно путём увеличения отношения сигнал/шум. Однако энергетические возможности космического корабля ограничены. Кроме этого, чрезмерное увеличение сигнала передачи приведёт к появлению нелинейных помех и межканальному влиянию.

Для улучшения вероятностных характеристик системой ГЛОНАСС можно воспользоваться инвариантной обработкой сигнала.

Известно [3], что для любого линейного четырёхполюсника отношение Z - изображений на соседних блоках обработки сигнала передачи и приёма равны [3]:

$$\frac{S_{\text{ex}i}(Z)}{S_{\text{ex}(i-1)}(Z)} = \frac{S_{\text{вы}xi}(Z)}{S_{\text{вы}x(i-1)}(Z)}, \quad (2)$$

где $S_{\text{ex}i}(Z)$ и $S_{\text{ex}(i-1)}(Z)$ - соответственно;

Z - изображение сигнала передачи на i -том и $(i-1)$ блоках;

$S_{\text{вы}xi}(Z)$ и $S_{\text{вы}x(i-1)}(Z)$ - соответственно;

Z - изображение сигнала приёма на i -том и $(i-1)$ блоках обработки.

Равенство (2) - переходит в тождество, если использовать Z - изображение параметров канала связи и Z - изображение мультипликативной помехи.

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{вы}xi}(Z) &= S_{\text{ex}i}(Z) \cdot H_{kc}(Z) \cdot \mu_i(Z) \\ S_{\text{вы}x(i-1)}(Z) &= S_{\text{ex}(i-1)}(Z) \cdot H_{kc(i-1)}(Z) \cdot \mu_{i-1}(Z) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где $H_{kc_i}(Z)$ и $H_{kc(i-1)}(Z)$ - передаточные характеристики радиоканала между спутником ГЛОНАСС и потребителем на i -том и $(i-1)$ блоках обработки соответственно;

$\mu_i(Z)$ и $\mu_{i-1}(Z)$ - Z - изображение мультипликативной помехи, соответственно, на i -том и $(i-1)$ блоках обработки.

По закону относительности на интервале стационарности справедливы следующие соотношения

$$\left. \begin{aligned} H_{kc_i}(Z) &\cong H_{kc(i-1)}(Z) \cong H_{kc(i-2)}(Z) \dots \\ \mu_i(Z) &\cong \mu_{i-1}(Z) \cong \mu_{i-2}(Z) \dots \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Передаточная характеристика канала связи (радиоканала) включает в себе амплитудно-частотные искажения (АЧИ) и фазо-частотные искажения (ФЧИ).

Мультипликативная помеха включает в себе кривизну Земли в высоких широтах, явление северного сияния. Это может быть и искусственная помеха.

При подстановке выражения (3), с учётом выражения (4) в выражение (2) видно, что влияние радиоканала и мультипликативной помехи снижается почти до нуля. Это, в свою очередь, уменьшает вероятность ошибочного приёма единичного элемента.

Использование инвариантного равенства для передачи информационного сигнала создаёт новый механизм модуляции. Если в классических алгоритмах модуляций параметр, определяющий информационную составляющую, изменяет амплитуду, частоту или фазу, то при использовании инвариантного равенства (2) модулирующий параметр изменяет отношение между Z - изображениями на соседних блоках обработки.

При переходе от Z - изображений к комплексному спектру, видно, что модулирующий параметр изменяет отношение между комплексными спектрами на передаче и выявление отношения комплексных спектров на приёме.

Действительно, равенство (2) при переходе к комплексным спектрам будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{S_{\text{ex}i}(jk\omega_i)}{S_{\text{ex}(i-1)}(jk\omega_i)} = \frac{S_{\text{вы}xi}(jk\omega_i)}{S_{\text{вы}x(i-1)}(jk\omega_i)}, \quad (5)$$

где $S_{\text{вх}i}(jk\omega_i)$ и $S_{\text{вх}(i-1)}(jk\omega_i)$ - комплексные спектры передающей станции (спутника ГЛОНАСС) соответственно на i -том и $(i-1)$ блоках обработки;

$S_{\text{вых}i}(jk\omega_i)$ и $S_{\text{вых}(i-1)}(jk\omega_i)$ - комплексные спектры приёмной станции (приёмник ГЛОМАСС) соответственно на i -том и $(i-1)$ блоках обработки;

k - номер отчёта ($k=0,1,2,\dots,N^{-1}$) в частотной выборке;

N - объём выборки;

ω_i - частота первой гармоники.

Результаты испытаний

При реализации указанного алгоритма на практике нужно иметь:

- на передающей стороне два накопителя, объёмом N отсчётов, а также делитель;
- на приёмной стороне также два накопителя и делитель.

На передаче, N отсчётов во временной области нужно преобразовать в N отсчётов в частотной области.

Это операция является линейной и осуществляется с помощью стандартной процедуры Быстрого Преобразования Фурье (БПФ). После вычисления результата деления между соседними блоками комплексных спектров на передаче нужно использовать процедуру ОБПФ, так как в радиоканал нужно передать отсчёты во временной области. На приёмной стороне вначале нужно взять отсчёты во временной области и заполнить два накопителя. Затем с помощью процедуры БПФ преобразовать принимаемый сигнал в комплексный спектр. Далее следует процедура деления, процедура преобразования во временную область и, наконец, процедура восстановления (регенерация) принимаемого модулирующего сигнала.

Математическая модель обработки сигнала приёма приведена в [3]. Имитационная модель, взятая из того же источника даёт примерно такие же результаты с погрешностью 5-7% относительно математической модели [3].

Математическая модель работы синхронного детектора цифровой системы описывается следующим [3]

$$h = \frac{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N [(K \bullet S(j) + \eta(m, f)) \bullet [S(j) + \alpha(m, j)]]}{\frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N S^2(j)}, \quad (4)$$

где K - значение мультипликативной помехи;

N - количество накоплений;

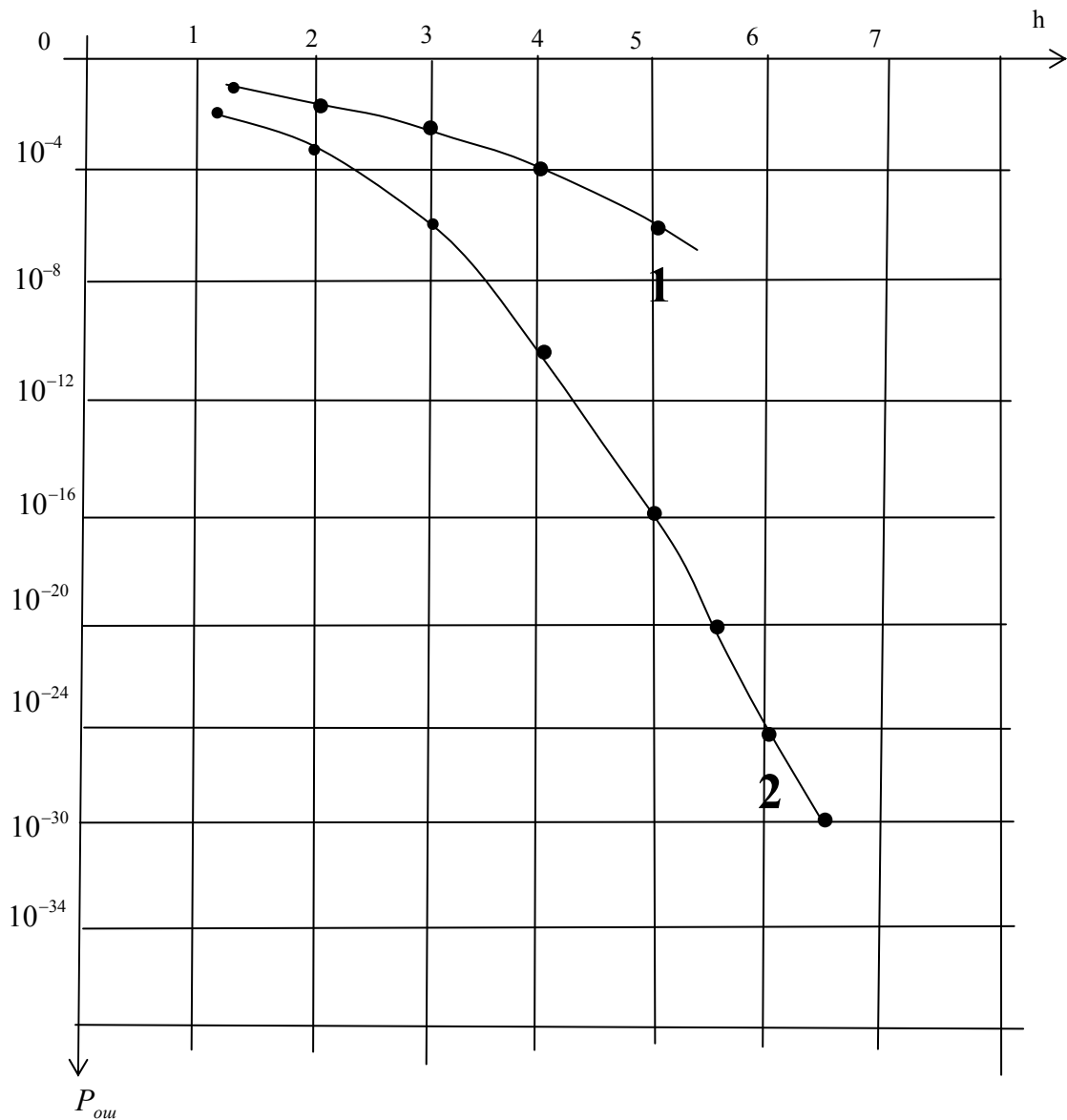
$S(j)$ - j отсчёт поднесущей;

$\eta(m, j)$ - j отсчёт аддитивной помехи в m -той кадре реализации обучающего сигнала;

$\alpha(m, j)$ - j отсчёт аддитивной помехи в m -той кадре реализации опорного сигнала.

На рис. 1 приведены зависимости вероятности ошибочного приёма единичного элемента при отсутствии мультипликативной помехи и в случае её присутствия.

Из рис. 1 видно, что вероятность ошибочного приёма в инвариантном методе существенно меньше аналогичного параметра классической АМ модуляции. Выигрыш наблюдается при отношении сигнал/шум больше 3.



1 – зависимость вероятности ошибочного приёма от отношения сигнал/шум в классической АМ модуляции.
 2 – Зависимость вероятности ошибочного приёма в инвариантном методе.

Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум

Инвариантный метод передачи информационных сигналов позволяет существенно повысить качественные характеристики навигационной системы ГЛОНАСС, работающей в условиях КРАЙНЕГО СЕВЕРА.

Для минимизации конструктивных доработок разработанный метод можно использовать в качестве резервного канала, оставив штатный канал без изменения. Дублирование технических решений всегда отражается в улучшении работы. При превышении вероятности ошибочного приёма единичного элемента в штатном оборудовании предельно допустимой автоматически будет переход на резервный помехоустойчивый канал.

Литература

1. Солонина А.И., Уляхович Д.А., Арбузов С.М. и др. Основы цифровой обработки сигналов. Курс лекций – Санкт-Петербург/БХВ-Петербург. - 2003, 594 с.
2. Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией / Н.Т. Петрович – М.: Сов. Радио. - 1965, 263 с.
3. Малинкин В.Б. Инвариантная обработка сигналов в радиотехнических системах / В.Б. Малинкин, Е.И. Алгазин, А.В. Малинкин // Монография, Красноярск, изд. Полицом. - 2012, 243 с.
4. Анализ функционирования системы ориентации и стабилизации геостационарного спутника связи // Петров М.Н., Анаров М.Ж. // Научное издание под ред. проф. Петрова М.Н. – Красноярск: изд. Полицом. ул. Вавилова 1, стр. 9. - 2018 г. – 115 с. Тир 500 экз.

Сведения об авторах

Петров Михаил Николаевич – профессор, главный научный сотрудник Сибирского государственного университета науки и технологии им. М.Ф. Решетнева, (Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31), т. 8 (391) 293 -20-70, e-mail: mnp_kafes@mail.ru.

Малинкин Виталий Борисович - профессор, профессор кафедры «Многоканальная электрическая связь» Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Российская Федерация, 630102. г. Новосибирск, ул. Кирова, 86. e-mail: mesmbv@yandex.ru.

Малинкин Андрей Витальевич - инженер –исследователь Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Российская Федерация, 630102. г. Новосибирск, ул. Кирова, 86.

Малинкин Евгений Витальевич - инженер –исследователь Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Российская Федерация, 630102. г. Новосибирск, ул. Кирова, 86.

УДК 621.315.56.3.027.3:621

DOI: 10.36535/0869-4176-2021-01-3

ПОВЫШЕНИЕ МОЛНИЕСТОЙКОСТИ ПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТОВ

Кандидат техн. наук И.А. Гуцин
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет имени И.Н. Ульянова»

Рассмотрена проблема безопасности полетов летательных аппаратов при воздействиях молний. На основе анализа растекания тока молнии по конструкциям из проводящих композиционных материалов разработаны принципы и критерии молниезащиты и предложены мероприятия по повышению молниестойкости композитов.

Ключевые слова: безопасность полетов, воздействие молнии на летательные аппараты, проводящие композиционные материалы, разрушение углепластиков токами молнии, молниезащита, молниестойкость углепластиков.