



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014129573/07, 17.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
17.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.07.2014

(45) Опубликовано: 10.10.2015 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2122217 C1, 20.11.1998. RU 2492499 C1, 10.09.2013. RU 2506542 C1, 10.02.2014. RU 2504734 C1, 20.01.2014. US 2013275750034 A1, 17.10.2013. US 5570097 A, 29.10.1996. US 5841370 A, 24.11.1998. EP 0679904 B1, 17.10.2001

Адрес для переписки:

660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, СФУ,  
отдел правовой охраны и защиты  
интеллектуальной собственности (ОПОиЗИС)

(72) Автор(ы):

Ратушняк Василий Николаевич (RU),  
Фатеев Юрий Леонидович (RU),  
Тяпкин Валерий Николаевич (RU),  
Дмитриев Дмитрий Дмитриевич (RU),  
Гарин Евгений Николаевич (RU),  
Вейсов Евгений Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Сибирский  
федеральный университет" (СФУ) (RU)

**(54) СПОСОБ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА ПО РАДИОНАВИГАЦИОННЫМ СИГНАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

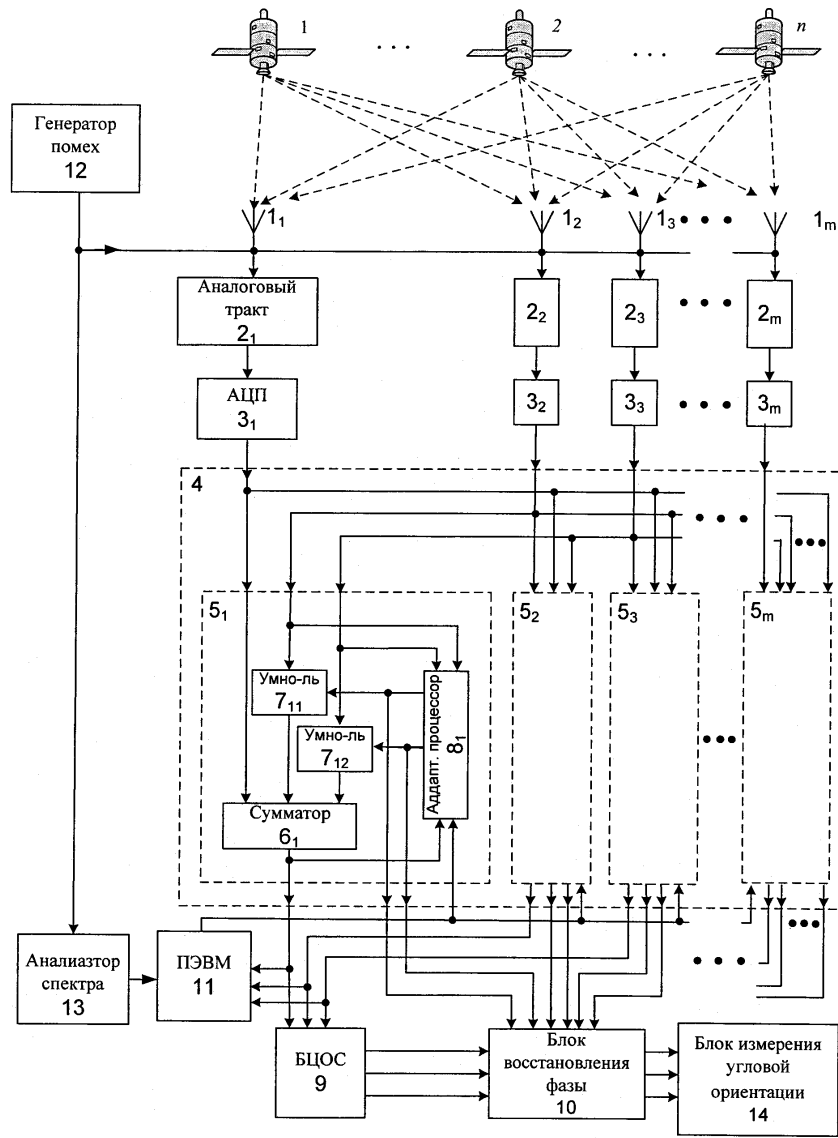
(57) Реферат:

Изобретение относится к области спутниковой навигации и может быть использовано для определения углового положения объектов в пространстве или на плоскости в условиях воздействия преднамеренных широкополосных помех. Достижимый технический результат - повышение эффективности работы многоканальной угломерной навигационной аппаратуры в сложной помеховой обстановке. Указанный технический результат достигается тем, что в условиях помеховой обстановки перед измерением фазовых сдвигов определяют вектор поправочного весового коэффициента для каждого из приемных каналов путем их калибровки эталонной пилот-помехой. Сигнал

помехи каждого из приемных каналов суммируют с сигналами помех остальных каналов, являющихся для него компенсационными, предварительно умноженными на соответствующий вектор весового коэффициента. При этом каждый вектор весового коэффициента вычисляют на основе рекуррентной оценки обратной корреляционной матрицы помех с учетом векторов поправочных весовых коэффициентов. Далее выделяют радионавигационные сигналы от п навигационных космических аппаратов и восстанавливают их исходные параметры в каждом приемном канале. 2 ил.

RU 2 564 523 C1

RU 2 564 523 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014129573/07, 17.07.2014

(24) Effective date for property rights:  
17.07.2014

Priority:

(22) Date of filing: 17.07.2014

(45) Date of publication: 10.10.2015 Bull. № 28

Mail address:

660074, g. Krasnojarsk, ul. Kirenskogo, 26, SFU,  
otdel pravovoj okhrany i zashchity intellektual'noj  
sobstvennosti (OPOiZIS)

(72) Inventor(s):

**Ratushnyak Vasilij Nikolaevich (RU),  
Fateev Jurij Leonidovich (RU),  
Tjapkin Valerij Nikolaevich (RU),  
Dmitriev Dmitrij Dmitrievich (RU),  
Garin Evgenij Nikolaevich (RU),  
Vejsov Evgenij Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Sibirskij  
federal'nyj universitet" (SFU) (RU)**

(54) **METHOD OF ANGULAR OBJECT ORIENTATION USING SPACECRAFT RADIO NAVIGATION SIGNALS**

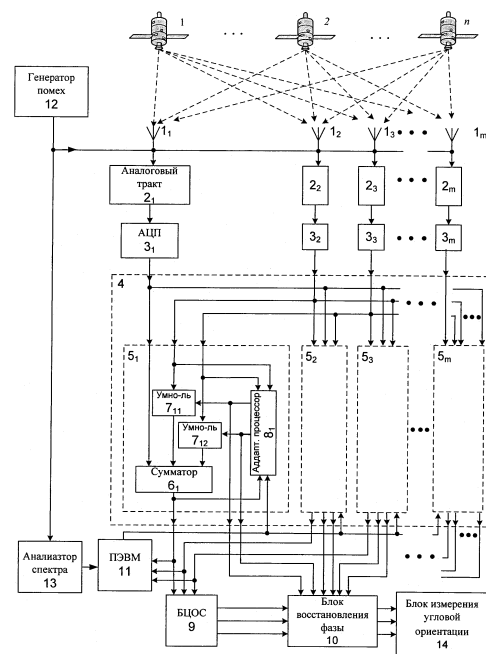
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: in conditions of noise situation before measurement of phase shifts the vector of correction weight coefficient is determined for each of reception channels by their calibration by reference pilot noise. The noise signal of each of reception channels is summarized with the noise signals of other channels which are compensatory for it, previously multiplied by the respective vector of weight coefficient. Each vector of weight coefficient is calculated on the basis of recurrent assessment of inverse noise correlation matrix taking into account vectors of correction weight coefficients. Then the radio navigational signals are distinguished from n navigation spacecrafts and their initial parameters are restored in each reception channel.

EFFECT: increase of overall performance of multichannel goniometric navigation equipment in a difficult noise situation.

2 dwg



Фиг. 1

RU 2 564 523 C1

RU 2 564 523 C1

Предлагаемое изобретение относится к области спутниковой навигации и может быть использовано для определения углового положения объектов в пространстве или на плоскости в условиях воздействия преднамеренных широкополосных помех.

Наиболее современными признаются методы борьбы с помехами на основе пространственной селекции, обеспечиваемой при помощи многоэлементных антенных систем. Принцип компенсации помех заложен в использование корреляционных свойств помеховых колебаний, принятых различными каналами. Аппаратура защиты от активных шумовых помех навигационной аппаратуры потребителей представляет собой многоканальный квадратурный корреляционный автокомпенсатор с алгоритмом формирования весовых коэффициентов и компенсационного цифрового суммирования. Для эффективного подавления помех требуется учесть все задержки и декоррелирующие факторы, возникающие в приемных трактах, которые могут быть самого разного рода: в виде различий в ширине полосы пропускания и в частоте настройки (центральной частоте), различий в форме комплексной частотной характеристики (КЧХ), разбросом компенсационных каналов по коэффициенту усиления и фазовому сдвигу.

Известен способ компенсации помех, принятых на основную и дополнительные (компенсационные) антенны, которые не должны содержать полезного сигнала [1]. Сигнал основного канала подается на сумматор с единичным весом, а колебания компенсационных каналов взвешиваются исходя из помеховой обстановки. При этом цель подстройки весовых коэффициентов - обеспечить минимальную мощность шума на выходе сумматора. Недостатком этого способа является невозможность определения углового положения объекта.

Также известен способ угловой ориентации объекта по радионавигационным сигналам космических аппаратов, взятый в качестве прототипа, основанный на приеме сигналов от  $n$  космических аппаратов двумя или более антенно-приемными устройствами, расположенными параллельно одной или двум осям объекта, выделении сигнала с частотой Доплера, определении набега фаз за интервал времени измерения и определении углового положения объекта [2]. Данный способ рассчитан на прием только радионавигационных сигналов, без учета возможных принимаемых помеховых сигналов как естественного, так и преднамеренного происхождения, поэтому в сложной помеховой обстановке определение угловой ориентации объекта становится крайне затруднительным.

В основу изобретения положена задача повышения эффективности работы угломерной навигационной аппаратуры в сложной помеховой обстановке путем компенсационного цифрового подавления помехи с учетом предварительной калибровки приемных каналов при заданных погрешности и времени измерения угловой ориентации объекта.

Поставленная задача решается тем, что в способе угловой ориентации объекта по радионавигационным сигналам космических аппаратов, основанном на приеме радионавигационных сигналов от  $n$  навигационных космических аппаратов двумя или более приемными каналами, антенны которых расположены так, что линии, проведенные через фазовые центры антенн, параллельны одной или двум осям объекта, измерении фазовых сдвигов между сигналами от каждого из  $n$  навигационных космических аппаратов между парами приемных каналов и определении углового положения объекта, согласно изобретению в условиях помеховой обстановки перед измерением фазовых сдвигов определяют вектор поправочного весового коэффициента для каждого из приемных каналов путем их калибровки эталонной пилот-помехой, сигнал помехи каждого из приемных каналов суммируют с сигналами помех остальных

каналов, являющихся для него компенсационными, предварительно умноженными на соответствующий вектор весового коэффициента, которые вычисляют на основе рекуррентной оценки обратной корреляционной матрицы помех с учетом векторов поправочных весовых коэффициентов, выделяют радионавигационные сигналы от  $n$  навигационных космических аппаратов и восстанавливают их исходные параметры в каждом приемном канале путем решения системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{S}_{1i} = \dot{Y}_{1i} + (\dot{R}_{11} + \dot{R}_{01})\dot{Y}_{2i} + (\dot{R}_{12} + \dot{R}_{02})\dot{Y}_{3i} + \dots + (\dot{R}_{1k} + \dot{R}_{0k})\dot{Y}_{mi} \\ \dot{S}_{2i} = (\dot{R}_{21} + \dot{R}_{01})\dot{Y}_{1i} + \dot{Y}_{2i} + (\dot{R}_{22} + \dot{R}_{02})\dot{Y}_{3i} + \dots + (\dot{R}_{2k} + \dot{R}_{0k})\dot{Y}_{mi} \\ \dots \\ \dot{S}_{mi} = (\dot{R}_{m1} + \dot{R}_{01})\dot{Y}_{1i} + (\dot{R}_{m2} + \dot{R}_{02})\dot{Y}_{2i} + \dots + (\dot{R}_{mk} + \dot{R}_{0k})\dot{Y}_{(m-1)i} + \dot{Y}_{mi} \end{array} \right. , \text{ где}$$

$\dot{S}_{mi}$  - выделенный радионавигационный сигнал, принятый от  $i$ -го навигационного космического аппарата в  $m$ -м приемном канале;

$\dot{Y}_{mi}$  - принятый радионавигационный сигнал от  $i$ -го навигационного космического аппарата в  $m$ -м приемном канале;

$\dot{R}_{mk}$  - вектор весового коэффициента  $k$ -го компенсационного канала в  $m$ -м приемном канале;

$\dot{R}_{0k}$  - вектор поправочного весового коэффициента  $k$ -го компенсационного канала в  $m$ -м приемном канале;

$i$  - номер навигационного космического аппарата,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$m$  - номер приемного канала,  $m=1, 2, \dots, p$ ;

$k$  - номер компенсационного канала,  $k=1, 2, \dots, (p-1)$ .

На фиг. 1 приведена структурная схема устройства определения угловой ориентации объекта в условиях воздействия широкополосных помех, реализующего предложенный способ с коррекцией КЧХ приемных каналов, на фиг. 2 приведена диаграмма направленности антенной системы после адаптации к двум постановщикам помех по результатам моделирования работы предложенного устройства.

Устройство определения угловой ориентации объекта, реализующее заявляемый способ в условиях воздействия широкополосных помех, содержит  $m$  приемных каналов, каждый из которых включает в себя последовательно соединенные: антенну  $1_1$  ( $1_2, \dots, 1_m$ ), аналоговый тракт  $2_1$  ( $2_2, \dots, 2_m$ ) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП)  $3_1$  ( $3_2, \dots, 3_m$ ), выход которого подключен к соответствующему входу аппаратуры 4 подавления помех. Аппаратура 4 подавления помех содержит  $m$  блоков подавления помех  $5_1$  ( $5_2, \dots, 5_m$ ), входы каждого из которых соединены с  $m$  входами аппаратуры 4 подавления помех. Каждый из блоков  $5_1$  ( $5_2, \dots, 5_m$ ) подавления помех содержит сумматор 6,  $m-1$  умножителей 7 и адаптивный процессор 8. Первые входы умножителей 7 и входы адаптивного процессора 8 соединены соответственно со 2-го по  $m$ -й входами блока  $5_m$  (каждого из блоков 5) подавления помех, а остальные входы (другими входами умножители 7) соединены с соответствующими выходами процессора 8. Сумматор 6 первым входом подключен к первому входу соответствующего блока подавления помех 5, а остальными соответственно к выходам умножителей 7 в этом блоке. Выходом

сумматор 6 подключен к управляющему входу адаптивного процессора 8, к соответствующему входу блока 9 цифровой обработки сигналов и к соответствующему входу ПЭВМ 11. Выходы блока 9 цифровой обработки сигналов подключены к соответствующим входам блока 10 восстановления фазы, а входы коррекции фазовых соотношений блока 10 восстановления фазы соединены соответственно с выходами адаптивных процессоров 8 каждого из блоков 5. Устройство определения угловой ориентации объекта включает также в себя генератор помех 12, который соединен с входами аналоговых трактов  $2_1$  ( $2_2, \dots, 2_m$ ) и анализатором спектра 13. Для анализа компенсации уровня эталонной помехи выход анализатора спектра 13 соединен с ПЭВМ 11, выход которой соединен с корректирующим входом адаптивного процессора 8 каждого из блоков 5. Выходы блока восстановления фазы 10 соединены с соответствующими входами блока измерения угловой ориентации 14.

Сущность предлагаемого способа можно пояснить на примере работы устройства для определения угловой ориентации объекта в условиях воздействия преднамеренных помех, содержащего 3 приемных канала.

Перед тем, как производить определение угловой ориентации объекта в помеховой обстановке, предварительно калибруют приемные каналы путем коррекции их частотных характеристик, для чего устанавливается только эталонная пилот-помеха генератором помех 12, которая поступает на вход аналоговых трактов 2, где усиливается и преобразуется в сигналы промежуточной частоты, а затем поступает в АЦП 3. Пилот-помеха при прохождении через аналоговые тракты разных приемных каналов подвергается искажениям и, как следствие, межканальной декорреляции в этих каналах. С выходов АЦП 3 цифровые сигналы пилот-помехи поступают на входы аппаратуры 4 подавления помех и далее на три блока подавления помех  $5_1, 5_2, 5_3$ , представляющие собой корреляционные автокомпенсаторы, для формирования весовых коэффициентов, перемножением их с сигналами помех компенсационных каналов и цифрового суммирования. В каждом из блоков 5 подавления помех производится расчет вектора весовых коэффициентов  $\dot{\mathbf{R}}_k$  для ее компенсации на основе рекуррентной оценки обратной корреляционной матрицы помех адаптивными процессорами 8

$$\dot{\mathbf{R}}_{k(t+1)} = \frac{l+1}{l} \left[ \dot{\mathbf{R}}_{kl} + \frac{\dot{\Phi}_{k(t)}^{-1} \dot{\mathbf{X}}_{k(t+1)} \dot{\mathbf{X}}_{\Sigma l}^*}{2l + \dot{\mathbf{X}}_{k(t+1)}^* \dot{\Phi}_{kl}^{-1} \dot{\mathbf{X}}_{k(t+1)}} \right], \text{ где} \quad (1)$$

$\dot{\mathbf{R}}_{k(t+1)}$  - вектор весового коэффициента  $k$ -го компенсационного канала на  $l+1$  шаге адаптации.

Для рекуррентной оценки обратной корреляционной матрицы помех на управляющий вход адаптивного процессора 8 подается сигнал с выхода сумматора 6 в качестве обратной связи.

С генератора помех 12 пилот-помеха поступает и на вход анализатора спектра 13 для анализа ее уровня мощности в ПЭВМ 11. Вследствие межканальной декорреляции некомпенсированные остатки пилот-помехи с выхода сумматора 6 поступают на вход ПЭВМ 11. В ПЭВМ 11 рассчитывается и запоминается значение вектора поправочного весового коэффициента каждого откалиброванного компенсационного канала, который поступает на корректирующий вход адаптивного процессора 8 соответствующего канала. Целью расчета и формирования векторов поправочных весовых коэффициентов в ПЭВМ 11 является достижение минимального спектра мощности пилот-помехи

калибруемых каналов.

Определение векторов поправочных весовых коэффициентов производится при одинаковой помехе на входе всех приемных каналов в установившемся режиме. Таким образом, производится дополнительная подстройка каналов, обеспечивая уменьшение расхождения их частотных характеристик и задержек сигналов.

После вычисления векторов поправочных весовых коэффициентов на вход приемных каналов подключают аддитивную смесь радионавигационных сигналов и преднамеренных помех, которые принимаются тремя разнесенными антеннами, где осуществляется дальнейшая пространственная компенсация преднамеренных помех с учетом уже вычисленных векторов поправочных весовых коэффициентов и выделение радионавигационных сигналов от навигационных космических аппаратов для определения углового положения объекта (курс, крен, тангаж).

Рассмотрим принцип подавления помехи на примере блока 51 подавления помех первого приемного канала.

Аддитивная смесь сигналов  $n$  навигационных космических аппаратов и преднамеренных широкополосных помех от постановщиков помех имеет вид:

$$X_m = \sum_{i=1}^n Y_{mi} + \sum_{j=1}^l N_{mj}, \text{ где} \quad (2)$$

$N_{mj}$  - сигнал помехи, принятый в  $m$ -м приемном канале от  $j$ -го постановщика помех;  
 $Y_{mi}$  - принятый радионавигационный сигнал от  $i$ -го навигационного космического аппарата в  $m$ -м приемном канале;

$i$  - номер навигационного космического аппарата,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

$m$  - номер приемного канала,  $m=1, 2, \dots, p$ ;

Сигнал на выходе сумматора  $\dot{b}$  в первом приемном канале будет равен:

$$\dot{G}_1 = \dot{R}_1^{*T} \dot{X}_1 = \dot{X}_1^{*T} \dot{R}_1, \text{ где} \quad (3)$$

$$\dot{X}_1 = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_{1k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{1k} \end{bmatrix} - \text{вектор входных сигналов;}$$

Выражение для вектора весовых коэффициентов в этом приемном канале равно

$$\dot{R}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ \dot{R}_{11} + \dot{R}_{01} \\ \dot{R}_{12} + \dot{R}_{02} \\ \vdots \\ \dot{R}_{1k} + \dot{R}_{0k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \dot{R}_{1k} + \dot{R}_{0k} \end{bmatrix}, \text{ где} \quad (4)$$

$\dot{R}_{1k}$  - вектор весовых коэффициентов компенсационных каналов для первого приемного канала;

$\dot{R}_{0k}$  - вектор поправочного весового коэффициента  $k$ -го компенсационного канала;

$X_1$  - вектор входного сигнала первого приемного канала;

$\dot{X}_{1k}$  - вектор входного сигнала  $k$ -го компенсационного канала, для первого приемного канала, при этом (\*) означает комплексно сопряженную матрицу, а (T) -

транспонированную матрицу.

Тогда выходной сигнал на выходе блока 5<sub>1</sub> подавления помех в случае дискретной оценки будет определяться путем решения следующей системы уравнений [3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{\mathbf{G}}_1 &= \dot{\mathbf{X}}_1 + \dot{\mathbf{X}}_{1k}^{*\top} (\dot{\mathbf{R}}_{1k} + \dot{\mathbf{R}}_{0k}) \\ \dot{\Phi}_{1k(l+1)}^{-1} &= \frac{l+1}{l} \left[ \dot{\Phi}_{1kl}^{-1} + \frac{\dot{\Phi}_{1kl}^{-1} \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)} \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)}^{*\top} \dot{\Phi}_{1kl}^{-1}}{2l + \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)}^{*\top} \dot{\Phi}_{1kl}^{-1} \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)}} \right], \text{ где} \\ \dot{\mathbf{R}}_{1k(l+1)} &= \frac{l+1}{l} \left[ \dot{\mathbf{R}}_{1kl} + \frac{\dot{\Phi}_{1kl}^{-1} \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)} \dot{\mathbf{X}}_{1\sum l}^*}{2l + \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)}^{*\top} \dot{\Phi}_{1kl}^{-1} \dot{\mathbf{X}}_{1k(l+1)}} \right] \end{aligned} \right. \quad (5)$$

l - номер шага адаптации;

$\dot{\Phi}_{1k(l+1)}^{-1}$  - обратная корреляционная матрица помех k-го компенсационного канала на l+1 шаге адаптации;

$\dot{\mathbf{R}}_{1k(l+1)}$  - вектор весовых коэффициентов k-го компенсационного канала на l+1 шаге адаптации;

m - номер приемного канала, m=1, 2, ... p;

k - номер компенсационного канала, k=1, 2, ... (p-1).

В остальных приемных каналах расчет вектора весовых коэффициентов  $\dot{\mathbf{R}}_{mk}$  происходит аналогично.

Далее с выхода сумматора 6 каждого блока 5 подавления помех очищенные от помех радионавигационные сигналы поступают на вход блока 9 цифровой обработки сигналов, где происходит разделение сигналов каждого из навигационных космических аппаратов, а также поиск, захват сигналов по частоте и задержке, частотная автоподстройка, синхронизация по метке времени и границе бита служебной информации, прием и декодирование служебной информации и измерение радионавигационных параметров сигнала. Кроме перечисленных задач, блок 9 цифровой обработки сигналов решает задачи вторичной обработки измеренных параметров, заключающиеся в определении координат навигационного космического аппарата на момент проведения измерений (задача размножения эфемерид) на основе принятой служебной информации, вычисления координат объекта.

Однако при подавлении помех изменяется фаза сигнала от каждого космического аппарата  $\dot{Y}_{mi}$ . В результате искажения фазовых сдвигов при подавлении помех информация об угловой ориентации искажается и измерения становятся невозможными.

Решается эта проблема путем коррекции измеренных фазовых сдвигов в блоке 10 восстановления фазы. Векторы весовых коэффициентов  $\dot{\mathbf{R}}_{mk}$ , которые используются в аппаратуре 4 подавления помех, известны, поэтому есть возможность восстановить исходные фазовые соотношения и, таким образом, измерить угловую ориентацию. Сигналы, принятые от i-го навигационного космического аппарата, на входе блока 10 восстановления фазы в трех основных (измерительных) каналах будут иметь вид



$$5 \quad \begin{cases} \dot{S}_{1i} = \dot{Y}_{1i} + (\dot{R}_{11} + \dot{R}_{01})\dot{Y}_{2i} + (\dot{R}_{12} + \dot{R}_{02})\dot{Y}_{3i} \\ \dot{S}_{2i} = (\dot{R}_{21} + \dot{R}_{01})\dot{Y}_{1i} + \dot{Y}_{2i} + (\dot{R}_{22} + \dot{R}_{02})\dot{Y}_{3i} \\ \dot{S}_{3i} = (\dot{R}_{31} + \dot{R}_{01})\dot{Y}_{1i} + (\dot{R}_{32} + \dot{R}_{02})\dot{Y}_{2i} + \dot{Y}_{3i} \end{cases}, \text{ где} \quad (6)$$

10  $\dot{S}_{1i}, \dot{S}_{2i}, \dot{S}_{3i}$  - выделенный радионавигационный сигнал, принятый от  $i$ -го навигационного космического аппарата соответственно в 1, 2, 3 приемном канале;

$\dot{Y}_{1i}, \dot{Y}_{2i}, \dot{Y}_{3i}$  - принятый радионавигационный сигнал от  $i$ -го навигационного космического аппарата соответственно в 1, 2, 3 приемном канале;

15  $\dot{R}_{11}, \dot{R}_{21}, \dot{R}_{31}$  - вектор весового коэффициента 1-го компенсационного канала соответственно для 1, 2, 3 приемного канала;

20  $\dot{R}_{12}, \dot{R}_{22}, \dot{R}_{32}$  - вектор весового коэффициента 2-го компенсационного канала соответственно для 1,2,3 приемного канала;

$\dot{R}_{01}, \dot{R}_{02}$  - вектор поправочного весового коэффициента соответственно 1,2-го компенсационного канала для соответствующего приемного канала;

$i$  - номер навигационного космического аппарата,  $i=1, 2, \dots, n$ ;

25 После обработки в блоке восстановления фазы 10 сигналы поступают в блок измерения угловой ориентации 14, где производится оптимальная оценка начальных фаз сигналов, принятых антеннами, вычисляются значения фазовых сдвигов сигналов, принятых двумя пространственно-разнесенными антеннами  $\varphi_i$  по каждому из навигационных космических аппаратов, которые в дальнейшем используются для  
30 определения углового положения осей измеряемого объекта путем решения системы уравнений.

Необходимое число приемных каналов определяется функциональным назначением, а именно, для определения угловой ориентации объекта необходимо как минимум 3 приемных канала. С другой стороны, для подавления  $t$  помех требуется  $(t+1)$  приемных  
35 каналов. Таким образом, минимальное число приемных каналов равно трем, при этом можно подавить помехи от двух источников. При увеличении требований числа подавляемых помех число приемных каналов будет определяться этими требованиями. При этом все приемные каналы можно использовать для определения угловой ориентации.

40 Связь коэффициента подавления помех с КЧХ приемных каналов рассмотрим на простой схеме при использовании одного компенсационного канала, где коэффициентом подавления помехи определяется по известному выражению [4]:

$$45 \quad K_{\text{под}} = 1 / (1 - \rho^2) \quad , \text{ где} \quad (7)$$

$\rho$  - коэффициент корреляции входных сигналов;

Корреляционные моменты (ковариация) входных помех можно выразить через частотные характеристики приемных каналов  $K_m(f)$  и  $S_{\text{вх}}(f)$  - энергетический спектр

помехи, опуская эффекты нелинейности и внутреннего шума, тогда коэффициент взаимной корреляции можно представить в виде

$$|r|^2 = \frac{\left| \int K_1(f) K_2(f) S_{\alpha\alpha}(f) df \right|^2}{\int |K_1(f)|^2 S_{\alpha\alpha}(f) df \int |K_2(f)|^2 S_{\alpha\alpha}(f) df} \quad (8)$$

Очевидно, что ковариация, а следовательно, и коэффициент подавления зависят не только от частотной характеристики каналов приема, но и от спектральной плотности входной помехи. Поэтому различие частотных характеристик приемных трактов уменьшает межканальную корреляцию помех и эффективность их подавления. Наибольший вклад в формирование частотных характеристик аналоговых трактов вносят фильтры промежуточной частоты. Помимо основных параметров центральной частоты, полосы пропускания, избирательностью, ослаблением сигнала в полосе фильтра все они характеризуются формой вершины и коэффициентом прямоугольности амплитудно-частотной характеристики. Очевидно, что использование фильтров с одинаковыми формами амплитудно-частотной характеристики ведет к идентичности каналов и значение коэффициента подавления автокомпенсатора определяется в основном размахом разности амплитудной и фазовой частотных характеристик каналов приема в полосе сигнала, а также задержкой в каналах.

Необходимо отметить, что эффективность калибровки снижается в процессе эксплуатации, при воздействии дестабилизирующих факторов, таких, например, как изменение температуры, влажность, давление, механические вибрации, поэтому проведение мероприятий корректировки частотных характеристик приемных каналов следует производить перед каждым включением аппаратуры.

Использование изобретения позволит обеспечить определение угловой ориентации объектов при воздействии преднамеренных широкополосных помех с учетом декоррелирующих факторов приемных каналов.

Моделирование способа производилось на трехканальной приемной угломерной аппаратуре при постановке двух преднамеренных помех с угловых направлений  $\beta=0^\circ$ ,  $\Theta=-54^\circ$  и  $\beta=0^\circ$ ,  $\Theta=72^\circ$  в установившемся режиме работы.

Как показывают результаты моделирования (фиг. 2) в направлении двух постановщиков помех с учетом коррекции КЧХ, сформировались узкие провалы диаграммы направленности трехэлементной антенной решетки, достигающие уровня минус 35-45 дБ.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет производить измерения угловой ориентации осей объекта по радионавигационным сигналам навигационных космических аппаратов при заданной погрешности измерения в условиях приема помеховых сигналов как естественного, так и преднамеренного происхождения.

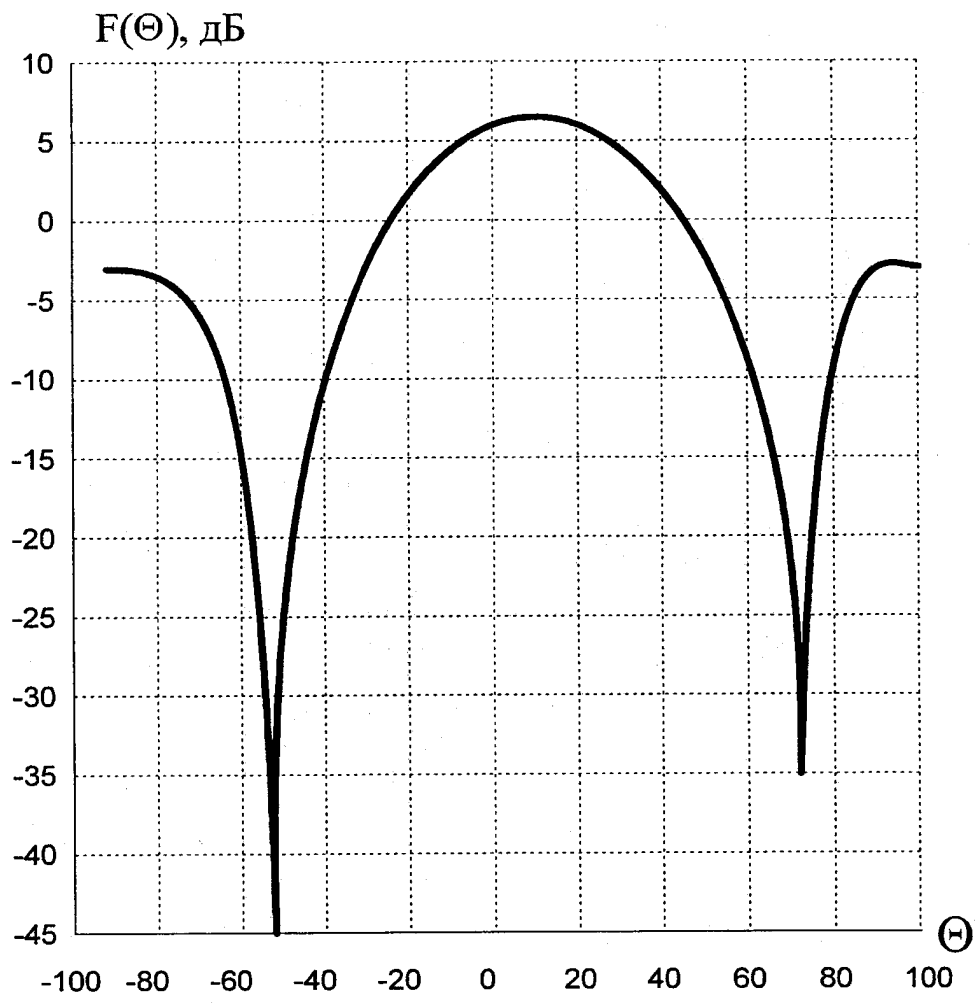
Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп.: Радиотехника, 2010. - 800 с.

2. Пат. RU 2122217 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> G01S 5/02. Способ угловой ориентации объекта по сигналам навигационных космических аппаратов / А.М. Алешечкин, Ю.Л. Фатеев, Чмых М.К.; заявитель ГОУ ВПО «Красноярский государственный технический университет», - №97107921/09; заявл. 15.05.1997; опубл. 20.11.1998.

3. Тяпкин В.Н., Лубкин И.А. Использование рекуррентных адаптивных алгоритмов





Фиг. 2