



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01Q 21/06 (2024.08); *G01S 1/24* (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024133988, 13.11.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.11.2024

Дата регистрации:
26.12.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.11.2024

(45) Опубликовано: 26.12.2024 Бюл. № 36

Адрес для переписки:
143900, Московская обл, г. Балашиха, ул.
Фадеева, 4А, а/я 76, Мосиенко С.А.

(72) Автор(ы):

Мосиенко Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Мосиенко Сергей Александрович (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 179926 U1, 29.05.2018. RU 153045 U1, 27.06.2015. RU 204321 U1, 20.05.2021. Статья: "Исследование спуфинг воздействий на навигационные приемники с использованием SDR-трансивера", 79-я научно-техническая конференция СПб НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио, 22 - 26 апреля 2024. US 6421000 B1, 16.07.2002.

(54) АНТИСПУФИНГОВАЯ-АНТИПОМЕХОВАЯ АППАРАТУРА СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

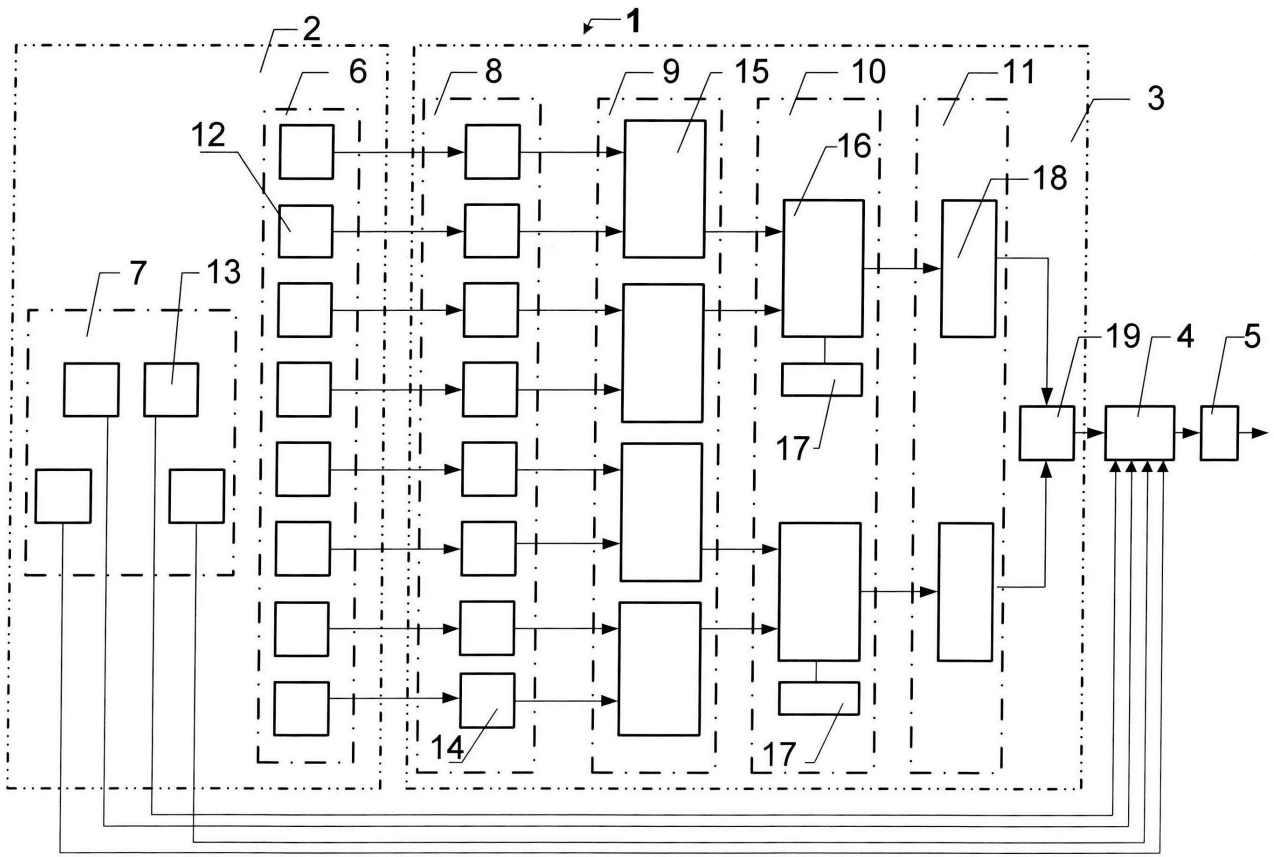
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области приборостроения, а именно к адаптивной антенной решетке, которая может найти широкое применение для объектов воздушного, наземного и морского базирования. Технический результат заключается в расширении функциональных возможностей путем добавления блока обнаружения спуфинга, обеспечивающего обнаружение и противодействие спуфингу средств радиоподавления. Указанный технический результат достигается за счет того, что антиспуфинговая-антипомеховая аппаратура спутниковой навигации содержит антенную решетку, которая включает в себя антенную решетку блока помехозащиты и антенную решетку блока обнаружения спуфинга, блок малошумящих усилителей, радиочастотный блок, блок программируемых логических интегральных

схем, блок синтезаторов частот с фазовой подстройкой частот, разветвитель, многодиапазонный навигационный модуль, при этом антенная решетка блока помехозащиты содержит восемь антенных элементов, антенная решетка блока обнаружения спуфинга содержит четыре антенных элемента, блок малошумящих усилителей содержит восемь малошумящих усилителей, радиочастотный блок содержит четыре радиочастотных приемопередатчика AD9361, блок программируемых логических интегральных схем содержит две программируемые логические интегральные схемы и две микросхемы флеш-памяти, блок синтезаторов частот с фазовой подстройкой частот содержит два синтезатора частот с фазовой подстройкой частот.

RU 230964 U1

RU 230964 U1



Фиг. 1

RU 230964 U1

RU 230964 U1

Полезная модель относится к области приборостроения, а именно к адаптивной антенной решетке, которая может найти широкое применение для объектов воздушного, наземного и морского базирования.

5 Известна малогабаритная адаптивная антенная решетка, описанная в патенте на полезную модель РФ №124517 от 07.08.2012.

Недостаток малогабаритной адаптивной антенной решетки: невозможность работы в литерях частот L2 глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), например, ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), и невозможность противостоять спуфингу средств радиоподавления.

10 Известна помехоустойчивая система GAJT-700ML компании NovAtel, которая применяется в авиационной технике и описанная на сайте <https://www.lunitec.it/wp-content/uploads/2015/07/GAJT-700ML-Product-Sheet-Legacy-Product.pdf>.

Недостатком устройства GAJT-700ML является невозможность противостоять спуфингу средств радиоподавления.

15 Наиболее близкой по технической сущности и уровню эксплуатационных характеристик к патентуемой полезной модели, является помехоустойчивая навигационная система, описанная в патенте С.А. Мосиенко №179926 от 28.09.2017 года, принятая в качестве прототипа.

20 Известная помехоустойчивая навигационная системы содержит антенную решетку и блок помехозащиты.

Недостаток известной помехоустойчивой навигационной системы, описанной в патенте №179926 от 28.09.2017 года, является невозможность противостоять спуфингу средств радиоподавления.

25 Технический результат заключается в расширении функциональных возможностей путем добавления блока обнаружения спуфинга, обеспечивающего обнаружение и противодействие спуфингу средств радиоподавления.

30 Технический результат достигается за счет того, что антиспуфинговая-антипомеховая аппаратура спутниковой навигации содержит антенную решетку, которая включает в себя антенную решетку блока помехозащиты и антенную решетку блока обнаружения спуфинга, блок малошумящих усилителей, радиочастотный блок, блок программируемых логических интегральных схем, блок синтезатора частот, разветвитель, блок обнаружения спуфинга, многодиапазонный навигационный модуль, при этом антенная решетка блока помехозащиты содержит восемь антенных элементов, антенная решетка блока обнаружения спуфинга содержит четыре антенных элемента, к тому же блок малошумящих усилителей содержит восемь малошумящих усилителей, 35 подключенных к выходам антенных элементов антенной решетки блока помехозащиты, вместе с тем радиочастотный блок содержит четыре радиочастотных приемопередатчика AD9361, одновременно с этим блок программируемых логических интегральных схем содержит две программируемые логические интегральные схемы и две микросхемы 40 флеш-памяти, также блок синтезатора частот содержит две микросхемы синтезатора частот с фазовой подстройкой частот, причем первые входы блока малошумящего усилителя связаны с выходами антенных элементов антенной решетки блока помехозащиты, вторые выходы блока малошумящего усилителя связаны с первыми 45 входами радиочастотного блока, вторые выходы которого связаны с первыми входами блока программируемых логических интегральных схем, выходы которых связаны с первыми входами блока синтезаторов частот, выходы которых соединены с входом разветвителя, выход которого связан с первым входом блока обнаружения спуфинга, второй вход которого связан с выходом антенных элементов антенной решетки блока

обнаружения спуфинга, при этом третий выход блока обнаружения спуфинга связан с входом многодиапазонного навигационного модуля, между тем вход-выход первой и второй программируемых логических интегральных схем соединены с входами-выходами первой и второй микросхем флеш-памяти.

5 Полезная модель иллюстрируется фиг. 1 и фиг. 2.

На фиг. 1 показан состав антиспуфинговой-антипомеховой аппаратуры спутниковой навигации. На фиг. 2 показан общий принцип работы антиспуфинговой-антипомеховой аппаратуры спутниковой навигации (АААСН).

Рассмотрим структуру АААСН 1.

10 Как видно из фиг. 1, АААСН 1 содержит антенную решетку 2, которая включает в себя антенную решетку 6 блока помехозащиты (БП) 3 и антенную решетку 7 блока обнаружения спуфинга (БОС) 4. БП 3 содержит блок малошумящих усилителей 8, радиочастотный блок 9, блок программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) 10, блок синтезатора частот 11, разветвитель 19.

15 Кроме того, АААСН 1 содержит БОС 4, многодиапазонный навигационный модуль 5.

Антенная решетка 6 БП 3 содержит восемь антенных элементов 12, антенная решетка 7 содержит четыре антенных элемента 13, блок малошумящих усилителей 8 содержит восемь малошумящих усилителей 14, подключенных к выходам антенных элементов 12 антенной решетки 6 БП 3.

20 Радиочастотный блок 9 содержит четыре радиочастотных приемопередатчика 15 типа AD9361, блок ПЛИС 10 содержит две программируемые логические интегральные схемы 16 и две микросхемы флеш-памяти 17. Блок синтезатора частот 11 содержит две микросхемы синтезатора частот с фазовой подстройкой частот 18.

25 Первые входы блока малошумящего усилителя 8 связаны с выходами антенных элементов 12 антенной решетки 6 БП 3, вторые выходы блока малошумящего усилителя 8 связаны с первыми входами радиочастотного блока 9, вторые выходы которого связаны с первыми входами блока ПЛИС 10, выходы которых связаны с первыми входами блока синтезаторов частот 11, выходы которых соединены с входом разветвителя 19, выход которого связан с первым входом БОС 4, второй вход которого связан с выходом антенных элементов 13 антенной решетки 7 БОС 4, при этом, третий выход БОС 4 связан с входом многодиапазонного навигационного модуля 5, между тем, вход-выход первой и второй ПЛИС 16 соединены с входами-выходами первой и второй микросхемы флеш-памяти 17.

35 Как видно из фиг. 1, АААСН 1 состоит из двух и более частей - блоков (модулей), соединенных между собой сборочными операциями, находящихся в функционально-конструктивном единстве.

40 Как видно из фиг. 1, антенная решетка 2, которая включает в себя антенные решетки 6 и 7, БП 3, БОС 4, многодиапазонный навигационный модуль 5, соединены между собой сборочными операциями, в том числе свинчиванием, сочленением и пайкой, которые обеспечивают конструктивное единство и реализацию АААСН 1 общего функционального назначения.

45 Таким образом, в заявленной полезной модели выполнен п. 35 и п. 36 "Требования к описанию полезной модели" (далее Требования) Приказа Минэкономразвития России от 30.09.2015 №701: к устройствам относятся изделия состоящие из двух и более частей, соединенных между собой сборочными операциями, находящихся в функционально-конструктивном единстве. При этом, согласно п. 36 Требований, для характеристики устройств применяются следующие признаки: наличие нескольких частей (деталей,

компонентов, узлов, блоков), соединенных между собой сборочными операциями, в том числе свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, обеспечивающими конструктивное единство и реализацию устройством общего функционального назначения.

5 Заявленная АААСН 1 работает следующим образом.

Режим антипомех. Навигационные сигналы 21 от спутников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) 20 непрерывно поступают на антенный модуль 6 содержащий восемь антенных элементов 12, далее через разъемы подключения (на фигуре не показано) сигналы поступают на соответствующие входы блока
10 малошумящих усилителей 8, который содержит восемь малошумящих усилителей 14 для каждого канала ГНСС. Малошумящий усилитель 14 предназначен для усиления слабых сигналов с минимальным добавлением шума.

Антенный модуль 12 антенной решетки 6 БП 3 позволяет реализовать пространственную обработку сигналов от ГНСС 20. Сигнал помехи 23, подающийся
15 от средств радиоподавления 22 на антенный модуль 6 возбуждает антенные элементы 12 со своей фазой, что позволяет БП 3 извлечь информацию о пространственном положении источников помех 22 и использовать ее для подавления помеховых воздействий 23. При этом единственным оцениваемым параметром БП 3 является мощность помехи на входе антенного модуля 6 (на фигуре не показано).

БП 3 содержит четыре радиочастотных приемопередатчика 15, предназначенных
20 для обработки сигналов от антенной решетки 6 принимающей сигналы 21 навигационных спутников 20 ГНСС. Кроме того, каждый радиочастотных приемопередатчик 15 реализован на микросхемах AD9361 и содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП), предназначенный для преобразования аналогового сигнала
25 ГНСС в цифровой (на фигуре не показаны). Сигналы ГНСС после дискретизации преобразуются в совокупность синфазных и квадратурных составляющих, т.е. представляются в комплексной форме и поступают в процессор помехозащиты реализованный в блоке ПЛИС 10 с использованием микросхем ПЛИС 16 с микросхемами флеш-памяти 17.

В аналоговой части (на фигуре не показано) радиочастотных приемопередатчиков
30 15 блока 9 производится фильтрация и усиление входных сигналов ГНСС 21. Аналоговая часть радиочастотных приемопередатчиков 15 (на фигуре не показано) построена по схеме супергетеродинного приемника с двойным преобразованием частоты. Частоты гетеродинов формируются из частоты опорного кварцевого генератора методом косвенного синтеза (на фигуре не показано) с использованием петли фазовой
35 автоподстройки частоты (ФАПЧ). Выходные сигналы аналоговой части радиочастотных приемопередатчиков 15 (на фигуре не показано) - это бинарные отсчеты сигналов второй промежуточной частоты (ПЧ) ГНСС, сигнал тактовой частоты, сигнал индикации захвата ФАПЧ. Далее сигнал с выходов радиочастотных приемопередатчиков
40 15 поступают на соответствующие входы встроенных АЦП, где производится дальнейшая цифровая обработка сигналов. АЦП радиочастотных приемопередатчиков 15 (на фигуре не показано) является важным элементом БП 3, так как их разрядность определяет верхнюю границу отношения "помеха - собственный шум", которое можно получить.

45 Принятые данные встроенных АЦП радиочастотных приемопередатчиков 15 (на фигуре не показано) поступают на соответствующий первый и второй вход ПЛИС 16, который суммирует и анализирует полученные данные.

Подавление помехи 23 происходит БП 3 за счет формирования "провала" в диаграмме

направленности антенной решетки 6 в направлении на источник помехи 23. Для этого программно-аппаратным способом блок ПЛИС 10 выделяет один из восьми антенных элементов 12 главным, например, главным выделяется первый антенный элемент 12, остальные семь антенных элементов становятся периферийными. Суть метода работы процессора помехозащиты реализованного на ПЛИС 16 заключается в компенсации фазовых набегов помех на выходе периферийных антенных элементов антенной решетки 6. На основании встроенного программного обеспечения (на фигуре не показано) записанного в микросхему флеш-памяти 17, ПЛИС 16 определяет вектор наблюдений главного антенного элемента и периферийных антенных элементов, далее происходит вычитание из сигнала главного антенного элемента взвешенной суммы сигналов периферийных антенных элементов антенной решетки 6. При этом вектор весовых коэффициентов рассчитывается ПЛИС 16 так, что разностный сигнал имеет минимально возможную мощность, т.е. является решением уравнения Винера-Хопфа.

Отсчеты, очищенные от помех, после блока ПЛИС 10 поступают в блок синтезатора частот 11, содержащего две микросхемы синтезатора частот с фазовой подстройкой частоты 18, которые переносят спектр обратно в высокочастотную область ГНСС.

Далее навигационный сигнал поступает в разветвитель 19 и в БОС 4, далее в приемник 5. Анализ наличия преднамеренных помех 29 происходит на программно-аппаратном уровне в БП 3, который позволяет создавать "нули" диаграммы направленности модуля 6 в направлении на источники помех. Таким образом, в АААСН 1 решается задача антипомех.

Режим антиспуфинга

Как видно из фиг. 1 и фиг. 2, для задачи обнаружения спуфинга 25 средств радиоподавления 24, используется антенная решетка 7 с четырьмя антеннами элементами 13, которые подключены к БОС 4.

БОС 4 содержит (на фигуре не показано): навигационный модуль, содержащий три навигационных приемника (НП), предназначенных для измерения параметров сигналов ГНСС (псевдодальность, невязки, фаза, SNR и т.д.); модуль анализатора спектра с полосой анализа 60 МГц, предназначенный для мониторинга и классификации радиопомех, а также для локализации источника помех; модуль блокиатора спуфинга; вычислительный модуль, предназначенный обработки сигналов и вычислительных операций.

БОС 4 детектирует следующие виды атак: с одним каналом - асинхронный спуфинг; с двумя каналами - синхронный спуфинг; с тремя каналами - синхронный спуфинг с несколькими передатчиками средств радиоподавления 24.

Методы обнаружения спуфинга описаны в литературе (Х. К Дао, Д.Д. Ступин, Р.А. Шевченко. Принципы обнаружения преднамеренных помех, воздействующих на аппаратуру потребителей спутниковых радионавигационных систем. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. №5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may19/14/text.pdf>).

Первый метод, реализованный в БОС 4: метод обнаружения на основе анализа мощности сигнала 25. Поскольку и мощность аппаратуры, размещаемой на спутнике 20, и дальность до спутника 20 известны с высокой точностью, навигационный модуль БОС 4, содержащий три навигационных приемника, осуществляя непрерывные измерения мощности принимаемых спутниковых сигналов 21, может на основе обнаружения аномально мощных сигналов 25 от средств радиоподавления 24 распознавать факт воздействия спуфинга на АААСН 1.

Схема реализации метода: антенная решетка 7 - навигационный модуль БОС 4 -

вычислительный модуль - многодиапазонный навигационный модуль 5.

Вторым методом, реализованным в БОС 4, является контроль отношения сигнала к шуму. Отношение сигнал/шум C/N_0 является важным параметром для измерения качества сигнала 21. Движение спутника 20 по орбите даже при влиянии ионосферы и, возможно, тропосферы, может приводить к плавному изменению мощности сигнала, принимаемого навигационным модулем БОС 4 (на фигуре не показано). В момент, когда включается средства радиоподавления 24, величина C/N_0 может претерпеть резкое изменение. Поэтому навигационный модуль БОС 4 может обнаруживать помеху 25 при непрерывном контроле отношения C/N_0 путем обнаружения таких изменений.

Схема реализации метода: антенная решетка 7 - навигационный модуль БОС 4 - вычислительный модуль - многодиапазонный навигационный модуль 5.

Третьим методом, реализованным в БОС 4, является контроль абсолютной мощности. Мощность сигнала 21, принимаемого навигационным модулем БОС 4, очень низкая. Например, для сигнала GPS L1 максимальная мощность составляет приблизительно - 153 дБВт.

Для формирования сигнала 25, имеющего "правдоподобную" мощность, необходимо знать и местоположение излучающего сигнал спутника 20, и местоположение АААСН 1, и особенности среды распространения сигналов на трассе "спутник 20 - АААСН 1". Эта задача представляется весьма трудоемкой, поэтому вероятность добиться правдоподобного уровня мощности при формировании помехового сигнала 25 крайне мала. Следовательно, если мощность сигнала 25, принимаемая навигационным модулем БОС 4, значительно больше ожидаемой мощности аутентичного сигнала 21, это можно интерпретировать как факт воздействия помехи 25.

Четвертый метод, реализованный в БОС 4: метод обнаружения, основанный на анализе пространственных характеристик сигналов ГНСС 21.

В данном методе используется тот факт, что аппаратура формирования помехи 24 использует одну и ту же антенну для передачи нескольких помеховых сигналов 25, а сигналы ГНСС 21 от навигационных спутников 20 поступают из разных направлений.

В результате интерференционные сигналы пространственно коррелируют, поэтому помеху 25 можно распознать путем определения пространственной корреляции принятых сигналов с использованием технологии обработки сигналов в пространственной области.

Метод обнаружения, основанный на пространственных характеристиках, предполагает использование нескольких антенн 13, взаимное расположение которых фиксировано. Оценивается разность фаз сигналов, принятых антеннами 13, которая сравнивается с расчетной разностью фаз, зависящей от взаимного перемещения спутника 20 и навигационного модуля БОС 4 АААСН 1.

Вычислительный модуль БОС 4 (на фигуре не показано), сравнивая наблюдаемую разность фаз с расчетной, при наличии большого рассогласования между этими значениями, определяет возможность наличия спуфингового сигнала 25.

В БОС 4 используется вычислительный модуль (на фигуре не показано) с высокоэффективными вычислительными возможностями и интегрированными контроллерами периферийных интерфейсов.

Модуль блокиатора спуфинга содержит встроенный генератор шума (на фигуре не показан) для подавления мощных навигационных сигналов 25 от средств радиоподавления 24.

Кроме того, в БОС 4 используются и другие методы обнаружения спуфинга.

Измеряемые параметры БОС 4: мощность в полосе (дБмВт/Гц) для ГНСС GPS,

Galileo, GLONASS, BeiDou; спектр мощности (дБмВт), 128 точек; спектр мощности (дБмВт), 1024 точек; спектрограмма длительностью 273 мкс, 128 × 509 точек. Таким образом, АААСН 1 решает задачу антиспуфинга.

5 Обработанные сигналы от БП 3 и БОС 4 поступают на многодиапазонный навигационный модуль 5 работающий в диапазоне частот GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, который далее передает навигационные данные в аппаратуру пользователей.

Исходя из вышеприведенного, следует то, что получен технический результат: расширение функциональных возможностей путем добавления блока обнаружения спуфинга, обеспечивающего обнаружение и противодействие спуфингу средств радиоподавления.

10 Изготовление АААСН 1 осуществлено из типовых радиоэлектронных компонентов выпускаемых промышленностью.

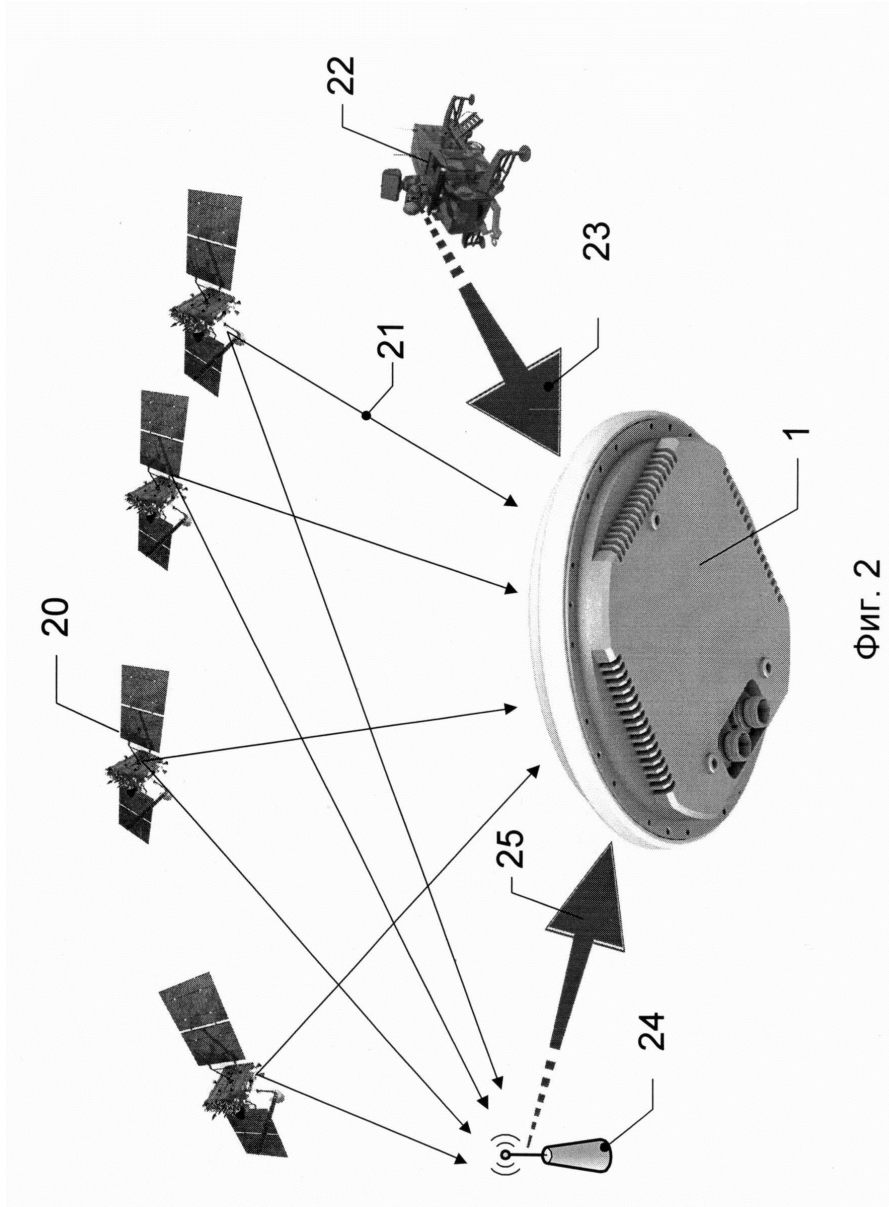
Испытания АААСН 1 подтвердили возможность осуществления предлагаемого технического решения с получением вышеуказанного технического результата.

15

(57) Формула полезной модели

Антиспуфинговая-антипомеховая аппаратура спутниковой навигации, содержащая антенную решетку, отличающаяся тем, что антенная решетка включает в себя антенную решетку блока помехозащиты и антенную решетку блока обнаружения спуфинга, блок малошумящих усилителей, радиочастотный блок, блок программируемых логических интегральных схем, блок синтезатора частот, разветвитель, блок обнаружения спуфинга, многодиапазонный навигационный модуль, при этом антенная решетка блока помехозащиты содержит восемь антенных элементов, антенная решетка блока обнаружения спуфинга содержит четыре антенных элемента, к тому же блок малошумящих усилителей содержит восемь малошумящих усилителей, подключенных к выходам антенных элементов антенной решетки блока помехозащиты, вместе с тем радиочастотный блок содержит четыре радиочастотных приемопередатчика AD9361, одновременно с этим блок программируемых логических интегральных схем содержит две программируемые логические интегральные схемы и две микросхемы флеш-памяти, также блок синтезатора частот содержит две микросхемы синтезатора частот с фазовой подстройкой частот, причем первые входы блока малошумящего усилителя связаны с выходами антенных элементов антенной решетки блока помехозащиты, вторые выходы блока малошумящего усилителя связаны с первыми входами радиочастотного блока, вторые выходы которого связаны с первыми входами блока программируемых логических интегральных схем, выходы которых связаны с первыми входами блока синтезаторов частот, выходы которых соединены с входом разветвителя, выход которого связан с первым входом блока обнаружения спуфинга, второй вход которого связан с выходом антенных элементов антенной решетки блока обнаружения спуфинга, при этом третий выход блока обнаружения спуфинга связан со входом многодиапазонного навигационного модуля, между тем вход-выход первой и второй программируемых логических интегральных схем соединены с входами-выходами первой и второй микросхем флеш-памяти.

45



ФИГ. 2