



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01S 7/4052 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2022100732, 12.01.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.01.2022

Дата регистрации:
22.07.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.01.2022

(45) Опубликовано: 22.07.2022 Бюл. № 21

Адрес для переписки:

170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 32, АО
"НПЦ ТВП"

(72) Автор(ы):

Буцев Сергей Васильевич (RU),
Линкевичюс Сергей Павиласович (RU),
Морозов Андрей Константинович (RU),
Руденок Иван Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество
"Научно-производственный центр Тверских
военных пенсионеров" (АО "НПЦ ТВП")
(RU)

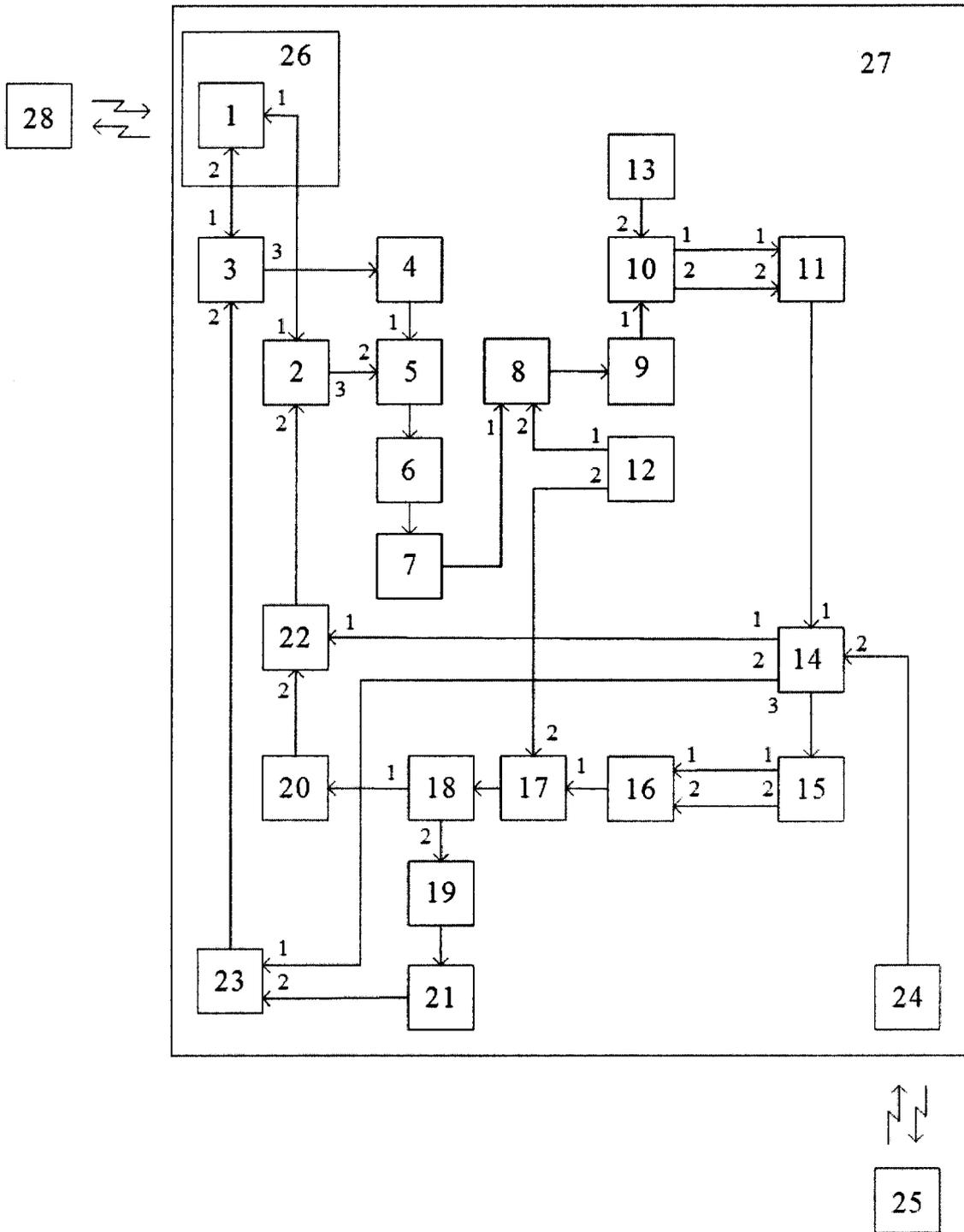
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2391682 C1, 10.06.2010. RU 189247
U1, 17.05.2019. RU 2099739 C1, 20.12.1997. RU
2420760 C2, 10.06.2011. RU 2703998 C1,
23.10.2019. US 6067041 A, 23.05.2000. GB 1085071
A, 27.09.1967. CN 108872955 A, 23.22.2018. CN
111123230 A, 08.05.2020.

(54) СПОСОБ ИМИТАЦИИ ЭХОСИГНАЛОВ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ В ЗОНЕ ОБНАРУЖЕНИЯ Тестируемой РЛС

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиолокации и может быть использовано для упрощения, сокращения времени и стоимости проведения тестирования РЛС, размещенной на реальной позиции, по обнаружению, сопровождению и распознаванию целей, а также по помехозащищенности. Техническим результатом изобретения является получение возможности имитации эхосигналов или помех, излучаемых с беспилотного летательного аппарата (БЛА) и соответствующих реальным энергетическим, спектральным, корреляционным, поляризационным и траекторным параметрам аэродинамических, баллистических целей или помехопостановщиков, совершающих полет в зоне обнаружения тестируемой РЛС. Способ имитации эхосигналов движущейся цели в зоне обнаружения тестируемой РЛС дополнительно

заключается в том, что преобразованные на промежуточной частоте (ПЧ) сигналы подвергаются согласованной фильтрации в N фильтрах, детектируют выделенные на их выходах сигналы, сравнивают их с порогом, определяют тип зондирующего сигнала, формируют сигнал на ПЧ с модуляцией, соответствующей импульсной характеристике фильтра максимального сигнала, преобразуют сформированный сигнал на несущую частоту тестируемой РЛС, разделяют его на две составляющие, сдвигают их по фазе на $\pi/2$, регулируют их амплитуды для обеспечения их излучения с поляризацией соответствующей эхосигналу имитируемой цели, подают их на соответствующие входы двухвходовой приемопередающей антенны имитатора и излучают. 2 табл., 14 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01S 7/4052 (2022.05)

(21)(22) Application: **2022100732, 12.01.2022**

(24) Effective date for property rights:
12.01.2022

Registration date:
22.07.2022

Priority:

(22) Date of filing: **12.01.2022**

(45) Date of publication: **22.07.2022** Bull. № 21

Mail address:

**170026, g. Tver, nab. A. Nikitina, 32, AO "NPTS
TVP"**

(72) Inventor(s):

**Butsev Sergej Vasilevich (RU),
Linkevichyus Sergej Pavilasovich (RU),
Morozov Andrej Konstantinovich (RU),
Rudenok Ivan Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoje obshchestvo
"Nauchno-proizvodstvennyj tsentr Tverskikh
voennykh pensionerov" (AO "NPTS TVP") (RU)**

(54) **METHOD FOR SIMULATION OF ECHOES OF MOVING TARGET IN DETECTION ZONE OF TESTED RADAR STATION**

(57) Abstract:

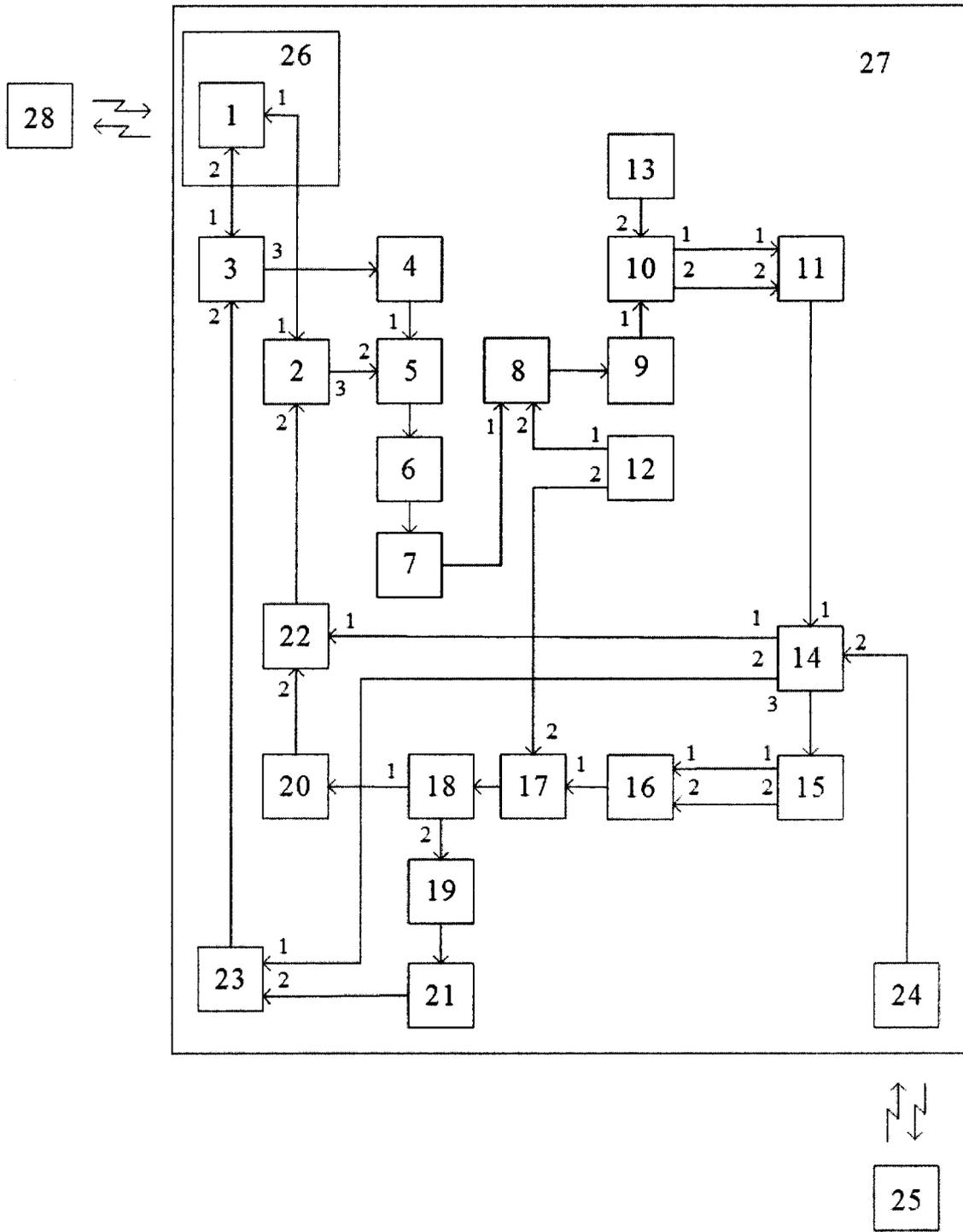
FIELD: radiolocation.

SUBSTANCE: invention relates to radiolocation; it can be used for the simplification, reduction in time and costs of testing of a radar station placed on a real position on the detection, accompaniment and recognition of targets, as well as on noise immunity. A method for simulation of echoes of a moving target in a detection zone of a tested radar station additionally consists in that signals converted on an intermediate frequency (hereinafter – IF) are subjected to agreed filtration in N filters, signals isolated at their outputs are detected, compared to a threshold, a type of a probing signal is determined, a signal is formed on IF with a modulation corresponding to a pulse characteristic of a maximum signal filter, a formed signal is converted on a carrying frequency of the tested

radar station, divided into two components, which are shifted by phase on $\pi/2$, their amplitudes are adjusted for providing their emission with polarization corresponding to an echo of the simulated target, and supplied to corresponding inputs of a two-input receiving and transmitting antenna of a simulator, and emitted.

EFFECT: obtaining a possibility of simulation of echoes and interference emitted from an unmanned aerial vehicle (UAV) and corresponding to real energy, spectrum, correlation, polarization and trajectory parameters of aerodynamic, ballistic targets or jamming stops performing a flight in a detection zone of a tested radar station.

1 cl, 2 tbl, 14 dwg



Фиг. 1

1. Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к радиолокации и может быть использовано для упрощения, сокращения времени и стоимости проведения тестирования РЛС, размещенной на реальной позиции, по обнаружению, сопровождению и распознаванию целей, а также по помехозащищенности.

2. Уровень техники

Известен способ испытаний РЛС [Леонов А.И., Леонов С.А., Нагулинко Ф.В. Испытания РЛС. Оценка характеристик. - М.: Радио и связь. 1990, с. 3, с. 25], включающий создание натурной сигнально-помеховой радиолокационной обстановки с использованием целей и постановщиков помех, пускаемых по заданным траекториям, обнаружение, захват и сопровождение целей, статистическую обработку измеренных параметров траекторий целей.

Недостатком данного способа являются значительное количество технических средств, требуемых для проведения испытаний, а следовательно, и его высокая стоимость. Это объясняется тем, что испытание такого сложного устройства как РЛС связано с целым рядом дорогостоящих организационных и технических мероприятий, включающих обеспечение полетов целей (самолетов, вертолетов, ракет и других объектов различных классов и назначения) в зоне обзора РЛС по заданным траекториям, привлечение специальных постановщиков помех, аппаратуры регистрации измерений и оценки результатов испытания.

Известен имитационно-испытательный комплекс для радиолокационной станции [Патент РФ RU №2533779C2, опубл.20.03.2014 г., Имитационно-испытательный комплекс для радиолокационной станции, МПК G01S 7/40], содержащий цель для создания натурной обстановки в зоне обзора по заданной программе облета, на борту которой установлены подключенная к спутниковой навигационной системе пилотажно-навигационная система и измерительное радиоэлектронное устройство, связанные с пунктом управления. Цель для создания натурной обстановки в зоне обзора по заданной программе облета выполнена в виде беспилотного летательного аппарата (БЛА) с крылом, оперением, фюзеляжем, двигателем и устройством посадки, снабженного пусковой установкой, на направляющей которой установлены толкатель и сбоку со стороны винта двигателя убираемый выдвижной стартер. На фюзеляже в нижней его части по продольной оси закреплен упор, контактирующий при взлете с торцевой поверхностью толкателя, а устройство посадки установлено в отсеке, на стенке которого закреплена открывающаяся створка, соединенная с автоматическим замком.

Недостатком данного имитационно-испытательного комплекса для радиолокационной станции является ограничение по дальности и скорости имитируемой цели, которые обусловлены возможностями БЛА.

Известна система проверки и испытаний средств противовоздушной обороны [Патент РФ RU №109870 U1, опубл. 27.10.2011 г., Система проверки и испытаний средств противовоздушной обороны, МПК G01S 7/40], содержащая воздушную цель с устройством управления, радиолокационную станцию обнаружения и станцию захвата и сопровождения цели, устройство регистрации параметров обнаружения и сопровождения цели, причем воздушная цель выполнена в виде БЛА с изменяемой эффективной площадью рассеивания (ЭПР).

Недостатком известного устройства является ограничение по дальности и скорости имитируемой цели, которые обусловлены возможностями БЛА.

Известен имитатор движущейся цели [Патент США №6067041, опубл. 23.05.2000 г., Moving target simulator, МПК G01S 7/40], содержащий радиоприемник, цифровую память,

обеспечивающую требуемую задержку принятого радиосигнала, амплитудный модулятор, доплеровский модулятор, синтезатор частот, смесители, усилители, контроллер управления процессом задержки и модуляции имитируемого сигнала и управляющий персональный компьютер. Сущность использования известного устройства для тестирования РЛС заключается в следующем. Имитатор движущейся цели размещается неподалеку от тестируемой РЛС и принимает излучаемые ею сигналы. Принятые сигналы преобразуются на промежуточную частоту, задерживаются на время, соответствующее дальности до имитируемой цели, модулируются по амплитуде в соответствии с дальностью до цели и ее ЭПР, модулируются по доплеровской частоте в соответствии со скоростью движения имитируемой цели, преобразуются на несущую частоту РЛС и излучаются в ее сторону.

Недостатком известного устройства является невозможность имитации угловых перемещений цели, а следовательно, и невозможность оценить всю зону обзора тестируемой РЛС, а также невозможность имитации поляризационных свойств имитируемых эхосигналов.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому способу является выбранный в качестве прототипа способ имитации радиолокационного сигнала цели моноимпульсной радиолокационной станции [Патент РФ RU 2391682 C1, опубл. 10.06.2010 г., Способ имитации радиолокационного сигнала цели моноимпульсной радиолокационной станции, МПК G01S 7/40 (2006.01)]. Способ заключается в том, что имитатор принимает сигналы, излучаемые тестируемой РЛС, преобразует их на промежуточную частоту, модулирует в соответствии со скоростью движения имитируемой цели, ее дальностью и ЭПР, переносит их спектр на несущую частоту тестируемой РЛС и излучает их в ее направлении двумя антеннами, находящимися на дуге окружности с центром, совпадающим с антенной тестируемой РЛС. Соотношение мощностей, излучаемых парой пространственно разнесенных антенн, определяет текущее угловое положение цели.

Недостатком данного способа имитации является ограниченность углового сектора имитации радиолокационного сигнала, сложность его использования при тестировании РЛС, размещенной на реальной позиции, а также невозможность имитации поляризационных свойств имитируемых эхосигналов, соответствующих характеристикам реальных движущихся целей.

3. Раскрытие изобретения

Задачей изобретения, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является разработка нового способа формирования требуемой (заданной) сигнально-помеховой обстановки путем излучения с борта БЛА имитируемых эхосигналов или помех, соответствующих по своим энергетическим, спектральным, корреляционным, поляризационным и траекторным параметрам эхосигналам реальных движущихся целей или сигналам помехопостановщиков в интересах тестирования РЛС, обеспечивающего достижение следующего технического результата: получение возможности имитации эхосигналов или помех, излучаемых с БЛА и соответствующих реальным энергетическим, спектральным, корреляционным, поляризационным и траекторным параметрам движущихся аэродинамических или баллистических целей, или помехопостановщиков, совершающих полет в зоне обнаружения тестируемой РЛС, размещенной на реальной позиции, и за счет этого сокращение времени и стоимости проведения ее тестирования в части оценки возможностей по обнаружению, сопровождению и распознаванию реальных движущихся целей, а также помехозащищенности.

Поставленная задача решается, а требуемый технический результат при использовании изобретения достигается тем, что в способе имитации эхосигналов движущейся цели, заключающемся в том, что в имитаторе принимают зондирующие сверхвысокочастотные (СВЧ) сигналы тестируемой РЛС, ограничивают их амплитуду аттенуатором, усиливают в усилителе высокой частоты (УВЧ), преобразуют на промежуточную частоту (ПЧ), дополнительно преобразованные на ПЧ сигналы подвергают согласованной фильтрации в N фильтрах, где импульсная характеристика определенного фильтра соответствуют определенному варианту модуляции зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС, детектируют выделенные на выходах фильтров сигналы, сравнивают их с порогом, определяют тип зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС, выбирая максимальный из сигналов, превысивших порог, формируют сигнал на ПЧ с модуляцией, соответствующей импульсной характеристике фильтра, в котором был выделен максимальный сигнал, с задержкой относительно зондирующего сигнала тестируемой РЛС, соответствующей расстоянию между имитатором и имитируемой движущейся целью, со сдвигом несущей частоты на величину доплеровского смещения, определяемого радиальной скоростью имитируемой цели, и с амплитудной модуляцией, соответствующей дальности до имитируемой цели, ее ЭПР и случайным флюктуациям, характерным для данного типа имитируемой цели, преобразуют сформированный сигнал на несущую частоту тестируемой РЛС, разделяют сформированный СВЧ сигнал на две составляющих, сдвигают по фазе одну составляющую СВЧ сигнала на угол $\pi/2$, регулируют амплитуду каждой составляющей так, чтобы обеспечить излучение СВЧ сигнала с заданной поляризацией, подают одну составляющую на первый вход-выход, а другую составляющую - на второй вход-выход двухвходовой приемо-передающей антенны, ориентированной в направлении тестируемой РЛС, и излучают с поляризацией, соответствующей поляризации эхосигнала имитируемой цели, причем имитатор размещают на БЛА, оснащенном пилотажно-навигационной системой, обеспечивающей его полет в дальней зоне антенны тестируемой РЛС с перемещениями за время полета в азимутально-угломестной плоскости, аналогичными перемещениям имитируемой цели, а по дальности и со скоростью - с уменьшенными в K раз значениями дальности и скорости полета имитируемой цели, где значение K выбирается, исходя из возможностей БЛА по высоте и скорости его полета.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что предложенный способ обладает другими существенными, новыми отличительными от прототипа признаками. Новыми отличительными признаками заявляемого способа являются:

- размещение имитатора эхосигналов цели на БЛА, совершающим полет в дальней зоне антенны тестируемой РЛС, с перемещениями за время полета в азимутально-угломестной плоскости, аналогичными перемещениям имитируемой цели, а по дальности и со скоростью - с уменьшенными в K раз значениями дальности и скорости полета имитируемой цели, где значение K выбирается, исходя из возможностей БЛА по высоте и скорости его полета;
- определение типа зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС;
- излучение имитатором имитируемых эхосигналов с поляризацией, соответствующей поляризации зондирующего сигнала тестируемой РЛС и отражательным свойствам имитируемой цели.

Отличительные признаки являются существенными, так как каждый из них необходим, а все вместе достаточны для достижения поставленной задачи, на решение которой направлено заявляемое изобретение.

4. Пояснения к графическим материалам

На фиг. 1 приведена схема устройства для реализации способа, где приняты следующие обозначения:

1 - двухвходовая приемо-передающая антенна (ППА); 2 - первый антенный переключатель (АП); 3 - второй АП; 4 - входной фазовращатель (ФВ); 5 - сумматор; 6 - аттенюатор; 7 - входной усилитель высокой частоты (УВЧ); 8 - входной смеситель; 9 - входной усилитель промежуточной частоты (УПЧ); 10 - блок демодуляции; 11 - цифровой сигнальный процессор (ЦСП); 12 - первый гетеродин; 13 - второй гетеродин; 14 - устройство управления и регистрации параметров полета (УУ и РПП); 15 - формирователь сигналов (ФС); 16 - блок модуляции; 17 - выходной смеситель; 18 - делитель; 19 - выходной ФВ; 20 - первый выходной УВЧ; 21 - второй выходной УВЧ; 22 - первый управляемый аттенюатор; 23 - второй управляемый аттенюатор; 24 - пилотажно-навигационная система (ПНС); 25 - наземное устройство управления (УУ); 26 - гиросtabilизированная платформа (ГСП); 27 - БЛА; 28 - тестируемая РЛС.

При этом вход-выход 1 ППА 1, которая размещается на ГСП 26, соединен с входом-выходом 1 первого АП 2, вход 2 которого соединен с выходом первого управляемого аттенюатора 22, а выход 3 соединен с входом 2 сумматора 5, вход-выход 2 ППА 1 соединен с входом-выходом 1 второго АП 3, вход 2 которого соединен с выходом второго управляемого аттенюатора 23, а выход 3 соединен с входом входного фазовращателя 4, выход которого соединен с входом 1 сумматора 5, выход которого соединен с входом аттенюатора 6, выход которого соединен с входом входного УВЧ 7, выход которого соединен с входом 1 входного смесителя 8, вход 2 которого соединен с выходом 1 первого гетеродина 12, а выход соединен с входом УПЧ 9, выход которого соединен с входом 1 блока демодуляции 10, вход 2 которого соединен с выходом второго гетеродина 13, а выходы 1 и 2 соединены соответственно с входами 1 и 2 ЦСП 11, выход которого соединен с входом 1 УУ и РПП 14, вход 2 которого соединен с выходом ПНС 24, а выход 1 соединен с входом 1 первого управляемого аттенюатора 22, выход 2-е входом 1 второго управляемого аттенюатора 23, а выход 3-е входом ФС 15, выходы 1 и 2 которого соединены соответственно с входами 1 и 2 блока модуляции 16, выход которого соединен с входом 1 выходного смесителя 17, вход 2 которого соединен с выходом 2 первого гетеродина 12, а выход соединен с входом делителя 18, выход 1 которого соединен с входом первого выходного УВЧ 20, а выход 2 соединен с входом выходного фазовращателя 19, выход которого соединен с входом второго выходного УВЧ 21, выход которого соединен с входом 2 второго управляемого аттенюатора 23, выход которого соединен с входом 2 второго АП 3, связь ПНС 24 с наземным УУ 25, а также связь ППА 1 с РЛС 28 осуществляется по эфиру. При этом устройства 1-24 и 26 размещаются на БЛА 27.

На фиг. 2 поясняется расчет угла места имитируемой АДЦ и БЛА 27, а также и высоты полета БЛА 27 с использованием теоремы косинусов.

На фиг. 3 приведен результат расчета угла места имитируемой траектории АДЦ в зависимости от дальности до нее при высоте фазового центра антенны тестируемой РЛС 28. $H_3=10$ м и полете имитируемой АДЦ на высоте $H_{\max}=10000$ м.

На фиг. 4 приведен результат расчета траекторий БЛА 27 в плоскости «дальность-высота», используемый для оценки масштабирующего коэффициента K снизу.

На фиг. 5 поясняется связь координат X_T, Y_T, Z_T топоцентрической прямоугольной системы координат (СК) с координатами D, Az, B сферической СК. Топоцентрическая прямоугольная СК - это прямоугольная СК с началом в фазовом центре антенны

тестируемой РЛС 28, где ось OY_T направлена в зенит по местной нормали к поверхности Земли, оси OX_T и OZ_T лежат в плоскости местного горизонта и вместе с осью OY_T образуют правую СК, причем, ось OZ_T лежит в плоскости нормали к антенному полотну/

5 электрической оси антенны. Здесь A_3 - азимут оси OZ_T , который отсчитывается в плоскости местного горизонта от направления на север по часовой стрелке.

На фиг. 6 поясняется связь координат X_G, Y_G, Z_G геоцентрической СК с топоцентрической прямоугольной СК. Геоцентрическая СК - это прямоугольная СК с началом в центре Земли, где ось OZ_G направлена по оси вращения Земли на север,

10 ось OX_G лежит в плоскости экватора и проходит через нулевой меридиан, ось OY_G лежит в плоскости экватора и дополняет СК до правой. Здесь же приведена геоцентрическая СК X'_G, Y'_G, Z'_G , ось OX'_G которой проходит через меридиан точки стояния РЛС 28. При пересчете сначала координаты из топоцентрической

15 прямоугольной СК пересчитываются в геоцентрическую СК X'_G, Y'_G, Z'_G , а затем производится доворот осей OX'_G и OY'_G до осей OX_G и OY_G геоцентрической СК X_G, Y_G, Z_G . Эти геоцентрические СК жестко связаны с Землей и вращаются вместе с ней.

20 Здесь же показаны геодезические координаты РЛС 28 - долгота $\lambda_{РЛС}$ и широта $\varphi_{РЛС}$.

На фиг. 7 поясняется связь геодезической СК с плоскостными координатами Гаусса-Крюгера (показана одна из шестиградусных зон).

На фиг. 8-13 иллюстрируются результаты моделирования ошибок позиционирования БЛА 27 для сферической СК.

25 На фиг. 14 поясняется расчет времени задержки излучения имитируемого сигнала.

Для реализации предлагаемого технического решения может быть использовано стандартное оборудование.

ППА 1 может быть выполнена в виде турникетной антенны [И.Н. Григоров. Антенны. М.: Радиософт, 2003 г., стр. 152, рис. 13.1].

30 Первый АП 2 и второй АП 3 могут быть выполнены в виде полосковых циркуляторов низкого уровня мощности, например, ФПЦН2-15 [Циркуляторы низкого уровня мощности [Электронный ресурс]: URL: <https://www.domen.ru/files/upload.pdf>].

Фазовращатели 4 и 19 могут быть выполнены в виде отрезков коаксиального кабеля соответствующей длины.

35 Сумматор 5 и делитель 18 могут быть выполнены в виде двухходовых сумматоров/делителей типа QPD2-30-3000-1-S [2-Way Power Dividers/Combiners [Электронный ресурс]: URL: <http://www.qualwave.com/products/2-way-power-dividers-combiners.htm>].

Аттенюатор 6 может быть выполнен в виде аттенюатора с ручным управлением типа 5-3-127-A-1-S-12V [Белов Л.А. Аттенюаторы СВЧ-сигналов // Электроника: НТБ. 40 2006 г., №2].

УВЧ 7, 20 и 21 могут быть выполнены в виде малошумящих УВЧ типа ADCA3270 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

Смесители 8 и 17 могут быть выполнены в виде малошумного смесителя с двойным балансом типа LTC5510 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

УПЧ 9 может быть выполнен в виде усилителя типа ADL5541 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

Блок демодуляции 10 может быть выполнен в виде квадратурного демодулятора с

АЦП типа микросхемы AD6676 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

ЦСП 11 может быть выполнен в виде высокопроизводительного цифрового сигнального процессора с обработкой смешанных сигналов типа ADSP-21991 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

Гетеродины 12 и 13 могут быть выполнены в виде генераторов СВЧ типа HMC586LC4B [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

УУ и РПП 14 может быть выполнено в виде микро-ЭВМ типа LP-174 [LP-174 User's manual. Edition 1.3, 2016. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.manualslib.com/download/1449575/Commell-Lp-174.htm>].

ФС 15 может быть выполнен в виде векторного генератора сигналов, способного формировать сигналы заданной амплитуды, формы и фазовой структуры, на заданной частоте и с требуемой временной задержкой, типа Agilent E4438C [Контрольно-измерительные решения Agilent. США: каталог фирмы Agilent, 2014 г.].

Блок модуляции 16 может быть выполнен в виде цифрового квадратурного модулятора с интерполятором (на входе) и цифро-аналоговым преобразователем (на выходе) типа микросхемы AD9856 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

Управляемые аттенюаторы 22 и 23 могут быть выполнены в виде аттенюаторов с цифровым управлением типа HMC1119 [Analog Devices. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.analog.com>].

ПНС 24 с наземным УУ 25 могут быть выполнены в виде пилотажно-навигационной системы транспортного летательного аппарата [Патент РФ RU 2597814 C1, Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата, МПК G01C 23/00 (2006.01), 2016 г.].

ГСП 26 может быть выполнена в виде гиросtabilизированного подвеса требуемой грузоподъемности [Сайт-портал <https://russiandrone.ru>. [Электронный ресурс]: URL: <https://russiandrone.ru/catalog/poleznaya-nagruzka/girostabilizirovannye-podvesy/girostabilizirovannye-platformy>].

БЛА 27 может быть выполнен в виде БЛА [Патент РФ RU 2666493, Беспилотный летательный аппарат, МКП В64С 39/00, 2018 г.].

РЛС 28 может быть выполнена в виде РЛС типа П-18Р [Военно-техническая подготовка. Устройство РЛС РТВ ВВС. Радиолокационная станция П-18Р: учеб. в 2 ч. 4.1/ Е.Н. Гарин, Д.Д. Дмитриев, В.Н. Тяпкин и др.; ред. Е.Н. Гарин. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012 г.].

5. Осуществление изобретения

Способ имитации эхосигналов движущейся цели реализуется следующим образом. Предварительно выбирается (рассчитывается) траектория аэродинамической или баллистической цели, эхосигнал которой будет имитироваться для тестирования РЛС. Точки этой траектории в геодезической СК должны быть внесены в память ПНС 24. На аттенюаторе 6 устанавливается затухание в соответствии с мощностью зондирующих сигналов тестируемой РЛС 28 и расстоянием между ней и БЛА 27. В память ЦСП 11 заносятся комплексные значения импульсных характеристик цифровых фильтров, являющихся копиями сигналов на промежуточной частоте, планируемых к использованию в тестируемой РЛС 28. Эти импульсные характеристики используются при выполнении алгоритма цифровой фильтрации, реализуемого в ЦСП 11 для определения типа зондирующего сигнала, излученного тестируемой РЛС 28 при очередном зондировании пространства. В память УУ и РПП 14 заносятся следующие

данные:

- характеристики N планируемых к использованию в РЛС 28 зондирующих сигналов (длительность, рабочая частота, фазовая и частотная модуляция);

- характеристики имитируемой цели по всей траектории ее полета, а именно:
5 дальность, ЭПР, доплеровская добавка частоты, амплитудно-временная модуляция, определяемая моделью флуктуаций эхосигналов, и поляризация эхосигнала.

Подбор координат точек траектории имитируемой цели проводится в сферической СК (см. фиг. 5), где:

дальность D фазового центра антенны РЛС 28 до точки траектории имитируемой
10 цели определяется длиной радиус-вектора \vec{D} ;

азимут Az - есть угол, отсчитываемый от оси OZ_T до проекции радиус-вектора \vec{D} на плоскость местного горизонта;

угол места B - есть угол между радиус-вектором \vec{D} и его проекцией на плоскость
15 местного горизонта.

Траектория движения БЛА 27 должна полностью повторять траекторию движения имитируемой цели по азимуту и углу места. Дальность и скорость движения БЛА 27 должны быть уменьшены в K раз по сравнению с дальностью и скоростью движения
20 имитируемой цели. Значение коэффициента выбирают из условия полета БЛА 27 в дальней зоне антенны РЛС 28, а также из его возможностей по высоте и скорости полета.

После этого координаты точек траектории движения БЛА 27 должны быть пересчитаны в геодезическую СК, где φ - широта, λ - долгота, H - высота. Координаты
25 точек имитируемой траектории БЛА 27 и соответствующие моменты времени прохождения этих точек, а также скорость его движения заносят в полетное задание, которое вводится в память ПНС 24.

После включения тестируемой РЛС 28 БЛА 27 с помощью наземного УУ 25 выводится в начальную точку имитируемой траектории и начинает движение в
30 соответствии с полетным заданием, хранящимся в памяти ПНС 24. При этом ППА 1 во время полета ориентирована с помощью ГСП 26 на тестируемую РЛС 28.

При облучении БЛА 27 зондирующим сигналом СВЧ тестируемой РЛС 28 ППА 1 принимает этот сигнал в двух поляризациях и передает его через вход-выход 1 первого
35 АП 2 на вход 2 сумматора 5, а через вход-выход 1 второго АП 3 и входной ФВ 4 на вход 1 сумматора 5, с выхода которого результирующий сигнал поступает на вход аттенюатора 6. Ослабленный СВЧ сигнал с выхода аттенюатора 6 поступает на вход входного УВЧ 7. После усиления принятый СВЧ сигнал поступает на вход 1 входного смесителя 8, на вход 2 которого поступает гетеродинный сигнал с выхода 1 первого гетеродина 12. С выхода входного смесителя 8 и после усиления в УПЧ 9
40 преобразованный на промежуточную частоту сигнал поступает на вход 1 демодулятора 10, на вход 2 которого поступают сигналы второго гетеродина 13. В демодуляторе 10 происходит понижение частоты сигнала, разделение его на квадратурные составляющие и аналого-цифровое преобразование. Оцифрованный сигнал в двух квадратурах с выходов 1 и 2 демодулятора 10 поступает на соответствующие входы ЦСП 11. В ЦСП
45 11 проводится свертка входного цифрового сигнала с импульсными характеристиками N цифровых фильтров. Количество цифровых фильтров, реализуемых в ЦСП 11, а, соответственно, и количество рассчитываемых сверток соответствует возможному числу используемых РЛС 28 зондирующих сигналов. Максимальное значение свертки

будет наблюдаться в случае, когда используемая для ее расчета импульсная характеристика будет максимально соответствовать зондирующему сигналу, используемому РЛС 28 на текущем этапе обнаружения/сопровождения/распознавания цели. Для исключения ложного обнаружения зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС 28 модуль свертки с максимальным значением сравнивается с порогом. Тип зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС 28 определяют по модулю свертки, имеющей максимальное значение и превысившей порог, и кодируют цифровым кодом, который с выхода ЦСП 11 подают на вход 1 УУ и РПП 14. УУ и РПП 14, получая информацию от ПНС 24, фиксирует время и координаты БЛА 27 на момент приема зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС 28, а также рассчитывает время задержки излучения имитированного сигнала в зависимости от расстояния между тестируемой РЛС 28 и БЛА 27, его амплитудную модуляцию в соответствии с ЭПР имитируемой цели, с дальностью до нее и ее радиолокационным портретом, доплеровскую добавку частоты, поляризацию. К моменту излучения имитированного сигнала УУ и РПП 14 с выхода 3 передает информацию о параметрах этого сигнала в ФС 15, а с выходов 1 и 2 соответственно на управляющие входы 1 первого и второго управляемых аттенуаторов 22 и 23 - коды затухания. ФС 15 формирует требуемый имитируемый сигнал в цифровом виде в квадратурах и выдает его на модулятор 16, который формирует имитируемый сигнал в аналоговом виде на промежуточной частоте, и передает его на выходной смеситель 17. Выходной смеситель 17 переводит имитируемый сигнал на рабочую частоту РЛС 28 и подает его на вход делителя 18, с выхода которого одна часть имитируемого сигнала поступает на вход первого выходного УВЧ 20, а другая часть - на вход выходного ФВ 19, который изменяет фазу сигнала на $\pi/2$ и подает его на вход второго выходного УВЧ 21. Усиленные сигналы с выходов первого и второго выходных УВЧ 20 и 21 поступают соответственно на входы 2 первого и второго управляемых аттенуаторов 22 и 23. Первый управляемый аттенуатор 22 и второй управляемый аттенуатор 23 регулируют уровни сигналов, передаваемых соответственно через первый АП 2 и второй АП 3 на входы-выходы 1 и 2 ППА 1 соответственно, и определяют таким образом поляризацию излучаемого имитированного сигнала. Регулируя уровень ослабления управляемых аттенуаторов 22 и 23, УУ и РПП 14 может устанавливать различные типы поляризации излучаемого ППА 1 сигнала - горизонтальную, вертикальную, круговую или же эллиптическую.

Тестируемая РЛС 28, которая принимает и обрабатывает имитированный сигнал также, как и эхосигналы реальных целей, формирует и сопровождает траекторию имитированной цели, классифицирует имитируемую цель и документирует полученные результаты. В случае излучения с борта БЛА 27 помеховых сигналов тестируемая РЛС 28 функционирует в условиях воздействия активных помех. После окончания полета БЛА 27 определяется насколько точно была выполнена программа полета по времени и координатам, записанным во время полета в памяти УУ и РПП 14, а также определяется насколько качественно тестируемая РЛС 28 выполнила свои функции по обнаружению и сопровождению имитированной цели и ее распознаванию. В случае излучения с борта БЛА 27 помеховых сигналов проверяется помехозащищенность данной РЛС.

При выборе значения коэффициента масштабирования K следует учитывать следующие ограничения:

- сверху, поскольку слишком большое значение K дает малое расстояние траектории полета БЛА 27 от тестируемой РЛС 28 и, как следствие, возрастание влияния ошибок позиционирования БЛА 27 на точность воспроизведения траектории имитируемой

цели;

- снизу, поскольку слишком малое значение K дает большое расстояние и большую высоту полета БЛА 27, что может ограничиваться его летными возможностями.

Пусть, например, при неподвижной тестируемой РЛС 28 с секторной зоной обнаружения и высотой фазового центра антенны $H_3=10$ м требуется имитировать полет аэродинамической цели (АДЦ) на высоте $H_{АДЦ}=10000$ м со скоростью $V_{АДЦ}=1000$ км/час с дальности $D_{\min}=360$ км до дальности $D_{\max}=410$ км при неизменном азимуте $Az_{АДЦ}$.

Текущая дальность до БЛА 27 изменяется от $D_{БЛА,\min}$ до $D_{БЛА,\max}$ и рассчитываются как:

$$D_{БЛА} = D_{тек.} / K, \quad (1)$$

где $D_{тек.} = D_{\min} \dots D_{\max}$ - текущая дальность до имитируемой АДЦ.

Время полета как для АДЦ, так и для БЛА 27 определяется как:

$$T_{БЛА} = T_{АДЦ} = (D_{\max} - D_{\min}) / V_{АДЦ}. \quad (2)$$

Скорость БЛА 27 определяется как:

$$V_{БЛА} = V_{АДЦ} / K. \quad (3)$$

Азимут БЛА 27 соответствует азимуту имитируемой АДЦ, т.е.

$$Az_{БЛА} = Az_{АДЦ}.$$

Текущий угол места имитируемой АДЦ определяется из треугольника Центр Земли - Фазовый центр антенны тестируемой РЛС 28 - Имитируемая АДЦ, изображенного на фиг. 2. По теореме косинусов:

$$(R_э + H_{\max})^2 = D_{АДЦ}^2 + (R_э + H_3)^2 - 2(R_э + H_3)D_{АДЦ} \cos(\pi / 2 + B_{АДЦ}), \quad (4)$$

где $R_э=(4/3)R$ - эквивалентный радиус Земли [Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника. 1970. Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. В 4 томах. Том 1. Основы радиолокации. Под ред. Иццоки. М.: Сов. Радио. 1976. 456 с.]; $R=6371,11$ км - радиус Земли (Земля представляется сферой).

Откуда угол места имитируемой АДЦ, как и угол места БЛА 27, определяется как:

$$B_{АДЦ} = B_{БЛА} = \arcsin \frac{(R_э + H_{\max})^2 - (R_э + H_3)^2 - D_{АДЦ}^2}{2(R_э + H_3)D_{АДЦ}}. \quad (5)$$

Текущая высота полета БЛА 27, учитывая, что $B_{АДЦ} = B_{БЛА}$, также определяется с использованием теоремы косинусов как:

$$H_{БЛА} = \sqrt{(R_э + H_3)^2 + D_{БЛА}^2 - 2(R_э + H_3)D_{БЛА} \cos(\pi / 2 + B_{БЛА})} - R_э. \quad (6)$$

Рассчитанные значения скорости и высоты для полета БЛА 27 необходимо проанализировать на их соответствие его летным возможностям. При необходимости значения скорости и высоты, планируемые для полета БЛА 27, могут быть изменены подбором значения масштабирующего коэффициента K .

На фиг. 3 приведен результат расчета угла места имитируемой траектории АДЦ, а на фиг. 4 результат расчета траекторий БЛА 27 в плоскости «дальность-высота» для оценки масштабирующего коэффициента К снизу.

Формирование полетного задания для БЛА 27 осуществляется следующим образом. Исходя из условий дальней зоны антенны тестируемой РЛС 28, прилегающей местности, летных возможностей БЛА 27, следует выбрать подходящий масштабирующий коэффициент К. Затем, с учетом выбранной траектории движения имитируемой цели и значения коэффициента К необходимо рассчитать исходные данные - координаты точек траектории БЛА 27 в сферической СК. После этого координаты точек траектории БЛА 27, рассчитанные в сферической СК, т.е. значения дальности, азимута и угла места каждой задаваемой точки его траектории необходимо пересчитать в геодезические координаты - долготу, широту и высоту.

Пересчет координат осуществляется последовательно: координаты из сферической СК пересчитываются в топоцентрическую систему СК, затем - в геоцентрическую СК и после этого - в геодезическую СК.

Пересчет из сферической СК в топоцентрическую прямоугольную СК проводится в соответствии с формулами [Ю.С. Саврасов. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985 г., 216 с.]:

$$X_T = -D_{БЛА} \cos(B_{БЛА}) \sin(Az_{БЛА}), \quad (7.1)$$

$$Y_T = D_{БЛА} \sin(B_{БЛА}), \quad (7.2)$$

$$Z_T = D_{БЛА} \cos(B_{БЛА}) \cos(Az_{БЛА}). \quad (7.3)$$

Пересчет из топоцентрической прямоугольной СК в геоцентрическую СК проводится в соответствии с формулой [Ю.С. Саврасов. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985 г., 216 с.]:

$$\overline{X}_G = |C_{И}| \left(|A'_T| \overline{X}_T + \overline{a}'_T \right), \quad (8)$$

где $\overline{X}_G = (X_G, Y_G, Z_G)^T$ - вектор-столбец координат в геоцентрической СК;

$\overline{X}_T = (X_T, Y_T, Z_T)^T$ - вектор-столбец координат в топоцентрической прямоугольной СК;

$|A'_T|$ - матрица направляющих косинусов с элементами:

$$a'_{11} = -\sin A_3 \sin \varphi_{РЛС}, \quad a'_{12} = -\cos \varphi_{РЛС}, \quad a'_{13} = \cos A_3 \sin \varphi_{РЛС}, \quad a'_{21} = -\cos A_3, \quad a'_{22} = 0,$$

$$a'_{23} = \sin A_3, \quad a'_{31} = \sin A_3 \cos \varphi_{РЛС}, \quad a'_{32} = \sin \varphi_{РЛС}, \quad a'_{33} = \cos A_3 \cos \varphi_{РЛС};$$

$\varphi_{РЛС}$ - широта точки стояния тестируемой РЛС 28;

\overline{a}'_T - вектор смещения центра топоцентрической СК относительно центра

геоцентрической СК с элементами: $a'_x = \Delta_3 + r_3 \cos \varphi_{РЛС}$, $a'_y = 0$, $a'_z = r_3 \sin \varphi_{РЛС}$;

$$r_3 = r_B \frac{\sin B_3}{\sin \varphi_{РЛС}} + H_3 - \text{расстояние от центра эллипсоида вращения до фазового центра}$$

антенны тестируемой РЛС 28;

5 H_3 - высота фазового центра антенны тестируемой РЛС 28;

$$\Delta_3 = r_B \sin B_3 (\operatorname{ctg} B_3 - \operatorname{ctg} \varphi_{РЛС});$$

$$10 \quad r_B = a_3 \sqrt{\frac{1 - e_3^2}{1 - e_3^2 \cos^2 B_3}} - \text{расстояние от центра эллипсоида вращения.}$$

Земли до поверхности эллипсоида вращения при заданной геоцентрической широте B_3 ,

15 $B_3 = \arctg[\operatorname{tg} \varphi_{РЛС} (1 - f_3)^2]$ - геоцентрическая широта [Ю.С. Саврасов. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985 г., 216 с.];

$f_3 = 1/298,2564151$ - сжатие Земного эллипсоида [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом

20 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.];

$a_3 = 6378,1365$ км - экваториальный радиус (большая полуось эллипсоида вращения Земли [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.];

25

$$30 \quad e_3 = \frac{\sqrt{a_3^2 - b_3^2}}{a_3} - \text{эксцентриситет меридиана;}$$

$$b_3 = a_3 (1 - f_3) - \text{малая полуось эллипсоида вращения Земли;}$$

35 $|C_{И}|$ - матрица направляющих косинусов с элементами: $c_{11} = \cos \lambda_{РЛС}$,

$$c_{12} = -\sin \lambda_{РЛС}, c_{13} = 0, c_{21} = \sin \lambda_{РЛС}, c_{22} = \cos \lambda_{РЛС}, c_{23} = 0, c_{31} = c_{32} = 0, c_{33} = 1;$$

$\lambda_{РЛС}$ - долгота точки стояния тестируемой РЛС 28.

40 В формуле (8) операция в круглых скобках переводит координаты из топоцентрической прямоугольной СК в $X'_Г Y'_Г Z'_Г$ - геоцентрическую СК, плоскость

$X'_Г 0 Z'_Г$ которой проходит через точку стояния РЛС 28. Затем матрица $|C_{И}|$

45 поворачивает ось $0 X'_Г$ на $\lambda_{РЛС}$ («доворачивает» ее до нулевого меридиана), завершая пересчет в $X_Г Y_Г Z_Г$ - геоцентрическую СК, плоскость $X_Г 0 Z_Г$, которой проходит через нулевой меридиан.

Пересчет из геоцентрической СК в геодезическую СК осуществляется следующим

образом.

При $\sqrt{X_G^2 + Y_G^2} = 0$ значения широты, долготы и высоты определяются по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{Z_G}{|Z_G|}, \quad (9.1)$$

$$\lambda = 0, \quad (9.2)$$

$$H = Z_G \sin \varphi - a_3 \sqrt{1 - e_3^2 \sin^2 \varphi}, \quad (9.3)$$

где e_3 - эксцентриситет меридиана.

При $\sqrt{X_G^2 + Y_G^2} \neq 0$ значения λ определяются по формулам:

$$\begin{aligned} Y_G < 0, X_G > 0, \quad \lambda = 2\pi - \lambda_A; \quad Y_G < 0, X_G < 0, \quad \lambda = \pi + \lambda_A; \\ Y_G > 0, X_G < 0, \quad \lambda = \pi - \lambda_A; \quad Y_G > 0, X_G > 0, \quad \lambda = \lambda_A; \\ Y_G = 0, X_G > 0, \quad \lambda = 0; \quad Y_G = 0, X_G < 0, \quad \lambda = \pi, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{где } \lambda_A = \left| \arcsin \left(\frac{Y_G}{\sqrt{X_G^2 + Y_G^2}} \right) \right| + \lambda_{PLC}.$$

При $\sqrt{X_G^2 + Y_G^2} \neq 0$ и $Z_G=0$ значения широты и высоты определяются по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$\varphi = 0, \quad (11.1)$$

$$H = \sqrt{X_G^2 + Y_G^2} - a_3. \quad (11.2)$$

Во всех других случаях значения широты вычисляются итерационно, и после последней итерации высота определяется по формуле [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$H = \sqrt{X_G^2 + Y_G^2} \cos \varphi_n + Z_G \sin \varphi_n - a_3 \sqrt{1 - e_3^2 \sin^2 \varphi_n}. \quad (12)$$

Для организации итерационного процесса по вычислению широты φ_n определяются

вспомогательные величины по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$r = \sqrt{X_G^2 + Y_G^2 + Z_G^2}, \quad (13.1)$$

$$C = \arcsin\left(\frac{Z_G}{r}\right), \quad (13.2)$$

$$p = \frac{e_3^2 a_3}{2r}, \quad (13.3)$$

$$s_1 = 0. \quad (13.4)$$

После этого последовательно вычисляют величины b и s_2 по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$b = C + s_1, \quad (14.1)$$

$$s_2 = \arcsin\left[\frac{p \sin(2b)}{\sqrt{1 - (e_3 \sin b)^2}}\right]. \quad (14.2)$$

Если после n -й итерации $|s_2 - s_1| > d$, где d - установленный допуск, то $(n+1)$ -ю

итерацию (14) повторяют при $s_1 = s_2$. В противном случае $\varphi_n = b$ [ГОСТ 32453-2017.

Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.].

Точность расчета геодезических координат должна быть не хуже единицы младшего разряда кодов, вводимых в ПНС 24. Результаты расчетов показывают, что пятой итерации точность вычисления широты объекта на высоте 1000 м, достигает порядка 10^{-8} - 10^{-9} , и это удовлетворяет существующим характеристикам систем навигации БЛА малого радиуса действия.

При этом следует учитывать, что чем ближе к тестируемой РЛС 28 будет находиться БЛА 27, тем больше ошибки ее позиционирования будут влиять на точность имитации выбранной траектории движения АДЦ. Поэтому для оценки сверху величины масштабирующего множителя K оценим влияние случайных ошибок позиционирования БЛА 27 на точность имитации траектории движения АДЦ.

Ошибки позиционирования в навигационных системах GPS/ГЛОНАСС задаются максимальной ошибкой позиционирования объекта навигации по расстоянию на плоскости $\Delta D_{П, \max}$ и максимальной ошибкой по высоте $\Delta H_{П, \max}$ относительно

истинной точки положения навигационного приемника GPS/ГЛОНАСС, установленного на объекте навигации. Это означает, что одни и те же значения $\Delta D_{П, \max}$ и $\Delta H_{П, \max}$ будут приводить к разным угловым отклонениям (по азимуту и углу места) имитируемой траектории движения АДЦ относительно ее истинной траектории при различном удалении БЛА 27 от тестируемой РЛС 28. Для расчета ошибок позиционирования БЛА 27 и оценки их влияния на качество имитации, необходимо пересчитать ошибки позиционирования, задаваемые на плоскости и по высоте в ошибки позиционирования, выраженные в сферической СК. Поскольку аналитическое трансформирование распределения ошибок измерений из плоскостной СК Гаусса-Крюгера и высоты в сферическую СК, как это требуется при косвенных измерениях, затруднительно, то данная задача решается с использованием метода Монте-Карло [ГОСТ 34100.3.1-2017 ISO IEC Guide 98-3 Suppl 12008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло. Введен в действие в качестве национального стандарта РФ с 1 сентября 2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1066-ст.].

Сущность метода для рассматриваемой задачи состоит в том, что в ходе вычислительного эксперимента формируются выборки координат в плоскостной системе Гаусса-Крюгера и высоты, которые содержат постоянную составляющую, определяющую реальное положение БЛА 27 относительно тестируемой РЛС 28, и случайную составляющую, обусловленную ошибками позиционирования. Затем, получаемые выборки координат пересчитываются в сферическую СК и подвергаются статистической обработке с целью определения среднеквадратических ошибок позиционирования в этой сферической СК.

Вычисления ошибок позиционирования БЛА 27 в сферической СК условно разделяются на следующие этапы.

1) Пересчет координат БЛА 27 из геодезической СК в плоскостные координаты СК Гаусса-Крюгера.

Связь геодезической СК с плоскостными координатами поясняется на фиг. 7, где показана одна из шестиградусных зон (проекций) Гаусса-Крюгера. Пересчет широты φ и долготы λ в плоскостные координаты СК Гаусса-Крюгера x, y проводится по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

40

45

$$\begin{aligned}
x &= 6367558,4968\varphi - \sin 2\varphi(16002,89 + 66,9607 \sin^2 \varphi + \\
&+ 0,3515 \sin^4 \varphi - l^2(1594561,25 + 5336,535 \sin^2 \varphi + 26,790 \sin^4 \varphi + \\
&+ 0,149 \sin^6 \varphi + l^2(672483,4 - 811219,9 \sin^2 \varphi + 5420,0 \sin^4 \varphi - \\
&- 10,6 \sin^6 \varphi + l^2(278194 - 830174 \sin^2 \varphi + 572434 \sin^4 \varphi - \\
&- 16010 \sin^6 \varphi + l^2(109500 - 574700 \sin^2 \varphi + 863700 \sin^4 \varphi - 398600 \sin^6 \varphi))))), \\
y &= (5 + 10n)10^5 + l \cos \varphi(6378245 + 21346,1415 \sin^2 \varphi + \\
&+ 107,1590 \sin^4 \varphi + 0,5977 \sin^6 \varphi + l^2(1070204,16 - 2136826,66 \sin^2 \varphi - \\
&+ 17,98 \sin^4 \varphi - 11,99 \sin^6 \varphi + l^2(270806 - 1523417 \sin^2 \varphi + \\
&+ 1327645 \sin^4 \varphi - 21701 \sin^6 \varphi + l^2(79690 - 866190 \sin^2 \varphi + \\
&+ 1730360 \sin^4 \varphi - 945460 \sin^6 \varphi))), \tag{15}
\end{aligned}$$

где $l = \{\lambda - [3 + 6(n - 1)]\} / (180 / \pi)$ - расстояние от определяемой точки до осевого меридиана зоны, рад;

$n = E[(6 + \lambda) / 6]$ - номер шестиградусной зоны в проекции Гаусса-Крюгера;
 $E[...]$ - целая часть числа.

2) Формирование выборок координат с учетом плоскостных ошибок позиционирования и ошибок позиционирования по высоте.

Координаты точки положения БЛА 27 с учетом плоскостных ошибок позиционирования и ошибок позиционирования по высоте, которые обусловлены ошибками его навигационной системы, определяются по формулам:

$$x_{БЛА,i} = x + \Delta x_{П,i}, \tag{16.1}$$

$$y_{БЛА,i} = y + \Delta y_{П,i}, \tag{16.2}$$

$$H_{БЛА,i} = H + \Delta H_{П,i}, \tag{16.3}$$

где $\Delta x_{П,i}$, $\Delta y_{П,i}$ и $\Delta H_{П,i}$ - случайные текущие ошибки позиционирования БЛА 27 по соответствующим плоскостным координатам и высоте соответственно, обусловленные ошибками его навигационной системы;

$i=1 \dots n$, n - количество циклов вычислений (количество выборок по каждой координате).

В предположении, что распределение ошибок позиционирования подчиняется нормальному закону, переход от максимальной ошибки к среднеквадратическим ошибкам по плоскостным координатам и высоте осуществляется в соответствии с

правилом «трех сигм» по формулам:

$$\sigma_{D_{БЛА}} = \Delta D_{П, макс.} / 3, \quad (17.1)$$

$$\sigma_{H_{БЛА}} = \Delta H_{П, макс.} / 3. \quad (17.2)$$

Для реализации метода Монте-Карло случайные плоскостные ошибки по осям x и y СК Гаусса-Крюгера формируются по формулам:

$$\Delta x_{П, i} = \Delta D_{П, i} \sin \Phi_i, \quad (18.1)$$

$$\Delta y_{П, i} = \Delta D_{П, i} \cos \Phi_i, \quad (18.2)$$

$$\Delta H_{П, i} = \sigma_{H_{БЛА}} \text{randn}(0,1), \quad (18.3)$$

$$\Delta D_{П, i} = \sigma_{D_{БЛА}} \text{randn}(0,1);$$

где

$$\Phi_i = 2\pi \text{rand}(0,1);$$

randn(0,1) - датчик нормальных случайных чисел с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;

rand(0,1) - датчик случайных чисел, распределенных по равномерному закону на интервале 0...1;

n - количество выборок.

После этого полученные в ходе цифрового моделирования выборки плоскостных координат БЛА 27 необходимо пересчитать в сферическую СК. Для этого надо последовательно осуществить цепочку пересчетов:

- пересчет плоскостных координат в геодезическую СК;
- пересчет координат из геодезической СК в геоцентрическую СК;
- пересчет координат из геоцентрической СК в топоцентрическую прямоугольную СК;
- пересчет координат из топоцентрической прямоугольной СК в сферическую СК.

3) Пересчет выборок полученных плоскостных координат БЛА 27 в геодезическую СК.

Выборки координат $x_{БЛА, i}$ и $y_{БЛА, i}$, характеризующие положение БЛА 27 с учетом случайных ошибок позиционирования, пересчитываются из СК Гаусса-Крюгера в геодезическую СК по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$\varphi = B_0 + \Delta B, \quad (19.1)$$

$$\lambda = 6(n - 0.5) / (180 / \pi) + l_1, \quad (19.2)$$

где B_0 - геодезическая широта точки, абсцисса которой равна абсциссе x определяемой точке, а ордината равна нулю; $n = E[y10^{-6}]$; $E[...]$ - целая часть числа.

Значения φ и λ , получаемые по формулам (19), используются - в радианах.

Значение величины B_0 определяется по формуле [ГОСТ 32453-2017.

Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы

преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$B_0 = \beta + \sin 2\beta(0,00252588685 - 0,00001491860 \sin^2 \beta + \\ + 0,00000011904 \sin^4 \beta), \quad (20)$$

где $\beta = x / 6367558,4968$.

Значение величины ΔB определяется по формуле [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$\Delta B = -z_0^2 \sin 2B_0(0,251684631 - 0,003369263 \sin^2 B_0 + \\ + 0,000011276 \sin^4 B_0 - z_0^2(0,10500614 - 0,04559916 \sin^2 B_0 + \\ + 0,00228901 \sin^4 B_0 - 0,00002987 \sin^6 B_0 - z_0^2(0,042858 - \\ - 0,025318 \sin^2 B_0 + 0,014346 \sin^4 B_0 - 0,001264 \sin^6 B_0 - \\ - z_0^2(0,01672 - 0,00630 \sin^2 B_0 + 0,01188 \sin^4 B_0 - 0,00328 \sin^6 B_0))))), \quad (21)$$

где $z_0 = \frac{y - (10n + 5)10^5}{6378245 \cos B_0}$ - вспомогательная переменная.

Значение величины l_1 определяется по формуле:

$$l_1 = z_0(1 - 0,0033467108 \sin^2 B_0 - 0,0000056002 \sin^4 B_0 - 0,0000000187 \sin^6 B_0 - \\ - z_0^2(0,16778975 + 0,16273586 \sin^2 B_0 - 0,00052490 \sin^4 B_0 - 0,00000846 \sin^6 B_0 - \\ - z_0^2(0,0420025 + 0,1487407 \sin^2 B_0 + 0,0059420 \sin^4 B_0 - 0,0000150 \sin^6 B_0 - \\ - z_0^2(0,01225 + 0,09477 \sin^2 B_0 + 0,03282 \sin^4 B_0 - 0,00034 \sin^6 B_0 - \\ - z_0^2(0,0038 + 0,0524 \sin^2 B_0 + 0,0482 \sin^4 B_0 - 0,0032 \sin^6 B_0))))). \quad (22)$$

4) Пересчет выборок координат БЛА 27 из геодезической СК в геоцентрическую СК.

Пересчет из геодезической СК в геоцентрическую СК проводится по формулам [ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Введен в действие с 01.07.2018 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. №1055-ст.]:

$$X_{\Gamma} = (N + H_{\text{БЛА}}) \cos \varphi_{\text{БЛА}} \cos \lambda, \quad (23.1)$$

$$Y_{\Gamma} = (N + H_{\text{БЛА}}) \cos \varphi_{\text{БЛА}} \sin \lambda, \quad (23.2)$$

$$Z_{\Gamma} = (N + H_{\text{БЛА}} - e_3^2 N) \sin \varphi_{\text{БЛА}}, \quad (23.3)$$

где $\varphi_{\text{БЛА}}$ - широта точки нахождения БЛА 27;

$\lambda = \lambda_{\text{РЛС}} - \lambda_{\text{БЛА}}$ - долгота БЛА 27 относительно;

$\lambda_{\text{БЛА}}$ - долгота точки нахождения БЛА 27;

$\lambda_{\text{РЛС}}$ - долгота точки стояния тестируемой РЛС 28;

$H_{\text{БЛА}}$ - высота точки нахождения БЛА 27;

$N = \frac{a_3}{\sqrt{1 - e_3^2 \sin^2 \varphi_{\text{БЛА}}}}$ - радиус кривизны первого вертикала.

При таком пересчете плоскость $X_{\Gamma}OZ_{\Gamma}$ проходит через точку стояния тестируемой РЛС 28.

5) Пересчет выборок координат БЛА из геоцентрической СК в топоцентрическую прямоугольную СК.

Пересчет из геоцентрической СК в топоцентрическую прямоугольную СК проводится в соответствии с формулой [Ю.С. Саврасов. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985 г., 216 с.]:

$$\vec{X}_T = |A_T| \vec{X}_{\Gamma} + \vec{a}_T, \quad (24)$$

где $\vec{X}_T = (X_T, Y_T, Z_T)^T$ - вектор-столбец координат в топоцентрической прямоугольной СК;

$|A_T|$ - матрица направляющих косинусов с элементами: $a_{12} = -\cos A_3$,

$a_{13} = \sin A_3 \cos \varphi_{\text{РЛС}}$, $a_{21} = \cos \varphi_{\text{РЛС}}$, $a_{22} = 0$, $a_{23} = \sin \varphi_{\text{РЛС}}$, $a_{31} = -\cos A_3 \sin \varphi_{\text{РЛС}}$,

$a_{32} = \sin A_3$, $a_{33} = \cos A_3 \cos \varphi_{\text{РЛС}}$;

\vec{a}_T - вектор смещения центра топоцентрической СК относительно центра

геоцентрической СК с элементами: $a_x = \Delta_3 \sin A_3 \sin \varphi_{\text{РЛС}}$,

$a_y = -(r_3 + \Delta_3 \cos \varphi_{\text{РЛС}})$, $a_z = \Delta_3 \cos A_3 \sin \varphi_3$.

6) Пересчет из топоцентрической прямоугольной СК в сферическую СК. Пересчет из топоцентрической прямоугольной СК в сферическую СК проводится в соответствии с формулами [Ю.С. Саврасов. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985 г., 216 с.]:

$$D_C = \sqrt{X_T^2 + Y_T^2 + Z_T^2}; \quad (25.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Az_C = 360^0 - \operatorname{arctg}\left(\frac{X_T}{Z_T}\right), \text{ если } Z_T > 0, X_T > 0; \\ Az_C = -\operatorname{arctg}\left(\frac{X_T}{Z_T}\right), \text{ если } Z_T > 0, X_T < 0; \\ Az_C = 180^0 - \operatorname{arctg}\left(\frac{X_T}{Z_T}\right), \text{ если } Z_T < 0; \\ Az_C = 0^0, \text{ если } Z_T > 0, X_T = 0; \\ Az_C = 90^0, \text{ если } Z_T = 0, X_T < 0; \\ Az_C = 270^0, \text{ если } Z_T = 0, X_T > 0; \end{array} \right. \quad (25.2)$$

$$B_C = \arcsin\left(\frac{Y_T}{D_C}\right). \quad (25.3)$$

7) Вычисление среднеквадратических ошибок позиционирования БЛА 27 в сферической СК.

При наличии полученных в ходе цифрового моделирования выборок координат (дальности D_i , азимута Az_i и угла места B_i , где $i=1 \dots n$) оценки среднеквадратических ошибок позиционирования БЛА 27 в сферической СК определяются по формулам [Е.С. Вентцель. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969 г., 576 с.]:

$$\tilde{\sigma}_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \tilde{m}_D)^2}{n-1}}; \quad (26.1)$$

$$\tilde{\sigma}_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Az_i - \tilde{m}_{Az})^2}{n-1}}; \quad (26.2)$$

$$\tilde{\sigma}_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \tilde{m}_B)^2}{n-1}}; \quad (26.3)$$

где $\tilde{m}_D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$ - оценка математического ожидания дальности;

$\tilde{m}_{Az} = \frac{\sum_{i=1}^n Az_i}{n}$ - оценка математического ожидания азимута;

$$\tilde{m}_B = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} - \text{оценка математического ожидания угла места.}$$

На фиг. 8-13 приведены результаты моделирования ошибок позиционирования БЛА 27 для двух вариантов его местоположения (по 10^5 циклов моделирования для каждого варианта):

- первый вариант: удаление 2000 м от тестируемой РЛС 28 по оси x СК Гаусса-Крюгера в направлении на север (фиг. 8-10);

- второй вариант: удаление 12000 м от тестируемой РЛС 28 по оси x СК Гаусса-Крюгера в направлении на север (фиг. 11-13).

При этом прочие условия составили:

- высота нахождения БЛА 27: вариант 1 $H_{\text{БЛА}}=15$ м; вариант 2 $H_{\text{БЛА}}=100$ м;

- широта точки стояния тестируемой РЛС 28 $\varphi_{\text{РЛС}} = 40^0$;

- долгота точки стояния тестируемой РЛС 28 $\lambda_{\text{РЛС}} = 33^0$;

- электрическая ось антенны тестируемой РЛС 28 направлена на север;

- высота фазового центра антенны тестируемой РЛС 28 $H_3=10$ м;

- плоскостная ошибка позиционирования БЛА 27 $\Delta D_{\text{П,max}} = 3$ м;

- ошибка позиционирования БЛА 27 по высоте $\Delta H_{\text{П,max}} = 1$ м.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты, полученные в результате проведения 10^5 циклов цифрового моделирования. Сходимость истинных значений приведенных координат и координат, рассчитанных в результате моделирования, подтверждает адекватность модели рассматриваемым условиям и достоверность результатов моделирования.

Таблица 1. Координаты БЛА 27, полученные по результатам вычислительного эксперимента

Варианты положения	Координаты	Координаты БЛА 27 в сферической СК		
		Дальность, м	Азимут, град.	Угол места, град.
1	Истинные	1999,97	0,000	0,134
	Оценка по модели	1999,97	0,000	0,139
2	Истинные	12000,23	0,000	0,376
	Оценка по модели	12000,23	0,000	0,376

Таблица 2. Среднеквадратические ошибки позиционирования БЛА 27, полученные по результатам вычислительного эксперимента

Варианты положения БЛА	Среднеквадратические ошибки позиционирования БЛА 27		
	$\tilde{\sigma}_D$, м	$\tilde{\sigma}_{Az}$, град.	$\tilde{\sigma}_B$, град.
1	0,7	0,020	0,0028
2	0,7	0,003	0,0005

Из анализа таблицы 2 видно, что угловые ошибки позиционирования уменьшаются пропорционально увеличению удаления БЛА 27 от тестируемой РЛС 28. На удалении 12000 м БЛА 27 от тестируемой РЛС 28, что соответствует величине масштабирующего коэффициента $K=30$, среднеквадратические ошибки позиционирования составляют по азимуту $0,003^\circ$, по углу места $0,0005^\circ$. Это на один-два порядка меньше, чем ошибки измерения угловых координат большей части существующих и перспективных РЛС. Среднеквадратическая ошибка позиционирования по дальности при $K=30$ составит

$$K\tilde{\sigma}_D = 30 \cdot 0,7 = 21 \text{ м, что тоже значительно меньше ошибки измерения угловых}$$

координат большей части существующих и перспективных РЛС.

Таким образом, для рассматриваемого примера имитации траектории движения АДЦ с помощью БЛА 27 вполне подходит значение масштабирующего коэффициента $K - 30$. Это соответствует и возможностям современных БЛА коптерного типа, и исключает сильное влияние ошибок позиционирования БЛА 27 на координатные ошибки имитации траектории движения АДЦ.

Основными параметрами, определяющими подобие имитационного сигнала, излучаемого с борта БЛА 27, и эхосигнала реальной АДЦ являются: время задержки излучения сигнала от момента приема зондирующего сигнала тестируемой РЛС 28; мощность; доплеровская поправка частоты; поляризация; временная и фазовая модуляция.

Время задержки излучения имитационного сигнала от момента приема ППА1 зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС 28 определяется по формуле:

$$\Delta t_{\text{з.д.и}} = \frac{2(D_{\text{АДЦ}} - D_{\text{БЛА}})}{c}, \quad (27)$$

где c - скорость света.

Сущность формулы (27) поясняется на фиг. 14.

Мощность имитационного сигнала, излучаемого с борта БЛА 27, определяется из условия того, что он должен создавать на входе приемной антенны тестируемой РЛС 28 такую же спектральную плотность потока мощности, как и эхосигнал имитируемой цели. Спектральная плотность потока мощности, создаваемая на входе приемной антенны тестируемой РЛС 28 имитационным сигналом, излученным с борта БЛА 27, определяется по формуле:

$$S_{\text{и}} = \frac{P_{\text{и}} G_{\text{и}} L_{\text{и}} L_{\text{БЛА}}}{4\pi D_{\text{БЛА}}^2 \Delta f_{\text{и}}}, \quad (28)$$

где $G_{\text{М}}$ - коэффициент направленного действия (КНД) ГОТА 1 на передачу;

$P_{И}$ - мощность имитационного сигнала;

$\Delta f_{И}$ - ширина спектра ответного сигнала;

$L_{И}$ - коэффициент потерь в антенно-фидерном тракте имитатора;

$L_{БЛА}$ - коэффициент потерь мощности сигнала в атмосфере на линии тестируемая
 РЛС 28 - БЛА 27.

Спектральная плотность потока мощности, создаваемая на входе антенны
 тестируемой РЛС 28 эхосигналом имитируемой АДЦ, определяется по формуле:

$$S_{АДЦ} = \frac{P_{П} G_{П} L_{П} \sigma_{АДЦ} L_{АДЦ}}{(4\pi)^2 D_{АДЦ}^4 \Delta f_{АДЦ}}, \quad (29)$$

где $P_{П}$ - мощность зондирующего сигнала, формируемая передатчиком тестируемой
 РЛС 28;

$G_{П}$ - КНД передающей антенны тестируемой РЛС 28;

$\Delta f_{АДЦ}$ - ширина спектра эхосигнала АДЦ;

$\sigma_{АДЦ}$ - ЭПР АДЦ;

$L_{П}$ - коэффициент потерь мощности сигнала в передающем антенно-фидерном тракте
 тестируемой РЛС 28;

$L_{АДЦ}$ - коэффициент потерь мощности сигнала в атмосфере на линии тестируемая
 РЛС 28 - имитируемая АДЦ.

Из (28) и (29) следует, что мощность имитационного сигнала при $\Delta f_{АДЦ} = \Delta f_{И}$
 определяется как:

$$P_{И} = \frac{P_{П} G_{П} L_{П} \sigma_{АДЦ} L_{АДЦ}}{(4\pi)^2 D_{АДЦ}^4 \Delta f_{АДЦ}} \cdot \frac{4\pi D_{БЛА}^2 \Delta f_{И}}{G_{БЛА} L_{И} L_{БЛА}} = \frac{P_{П} G_{П} L_{П} L_{АДЦ} D_{БЛА}^2 \sigma_{АДЦ}}{4\pi D_{АДЦ}^4 G_{БЛА} L_{И} L_{БЛА}}. \quad (30)$$

Так при $P_{П}=100$ кВт, $G_{П}=40$ дБ, $L_{П}=-2$ дБ, $L_{АДЦ}=-3$ дБ, $D_{АДЦ}=400$ км, $\sigma_{АДЦ}=10$ м²,
 $G_{БЛА}=4$ дБ, $L_{И}=-3$ дБ, $L_{БЛА}=-0,5$ дБ и $D_{БЛА}=4$ км мощность имитационного сигнала
 составит:

$$P_{И} = \frac{10^5 \text{ Вт} \cdot (10^{(40-2-3)/10}) \cdot (4 \cdot 10^3 \text{ м})^2 \cdot 10 \text{ м}^2}{4\pi (4 \cdot 10^5 \text{ м})^4 \cdot (10^{(4-3-0,5)/10})} = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}. \quad (31)$$

Доплеровская поправка частоты определяется следующим образом. Выбранная
 траектория движения имитируемой АДЦ дискретизируется с небольшим временным
 интервалом dt, и на каждом этом интервале определяется радиальная скорость
 относительно тестируемой РЛС 28 по формуле:

$$V_{r,i} = \frac{D_{i+1} - D_i}{dt}, \quad (32)$$

где D_i и D_{i+1} - дальности имитируемой АДЦ относительно тестируемой РЛС 28 на

смежных интервалах дискретизации. После этого доплеровская поправка частоты для каждого интервала дискретизации определяется по формуле:

$$f_{d,i} = \frac{2V_{r,i}}{\lambda_{\Pi}}, \quad (33)$$

где L_{Π} - длина волны сигнала, излучаемого передающим устройством тестируемой РЛС 28.

Требуемая поляризация излучаемых сигналов обеспечивается регулировкой сигналов, подаваемых на входы-выходы 1 и 2 ППА 1.

Фазовая модуляция имитируемых сигналов должна соответствовать фазовой модуляции сигналов, принимаемых от тестируемой РЛС 28.

Порог, с которым сравниваются продетектированные сигналы, выделенные на выходах N цифровых фильтров, реализуемых в ЦСП 11, должен превышать мощность внутреннего шума приемного тракта $P_{\text{ш}}$ на величину 15-18 дБ, что обеспечит вероятность правильного обнаружения близкую к единице при вероятности ложного обнаружения $10^{-10} \dots 10^{-8}$ при нефлюктуирующем сигнале [Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. 1970. Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. В 4 томах. Том 1. Основы радиолокации. Под ред. Ицхоки. М.: Сов. Радио. 1976. с. 44, рис. 4]. В приемный тракт входят ППА 1, первый АП 2, второй АП 3, входной фазовращатель 4, сумматор 5, входной УВЧ 6, смеситель 8, входной УПЧ 9, блок демодуляции 10, цифровые фильтры и цифровые детекторы, реализованные в ЦСП 11. Уровень шума будет определяться шириной полосы пропускания определенного цифрового фильтра, что определяет разный уровень порога для каждого цифрового фильтра. Для определения уровня порога необходимо измерить мощность шума $P_{\text{ш}}$ на выходе каждого цифрового детектора при отсутствии зондирующих СВЧ сигналов от тестируемой РЛС 28, определить уровни порогов, исходя из вероятности ложного обнаружения, и записать эти значения в память ЦСП 11. При линейном детектировании нормально распределенного шума закон распределения огибающей этого шума будет иметь релеевскую плотность распределения [С.И. Баскаков. Радиотехнические цепи и сигналы. Издание третье, переработанное и дополненное. М.: Высшая школа. 2000. Формула (7.61), с. 182]:

$$p(U) = \frac{U}{P_{\text{ш}}} \exp\left(-\frac{U^2}{2P_{\text{ш}}}\right). \quad (34)$$

Тогда уровень порога U_{Π} определяется при заданном уровне ложного обнаружения $F_{\text{ЛО}}$ из уравнения:

$$F_{\text{ЛО}} = \int_{U_{\Pi}}^{\infty} p(U) dU = \int_{U_{\Pi}}^{\infty} \frac{U}{P_{\text{ш}}} \exp\left(-\frac{U^2}{2P_{\text{ш}}}\right) dU = \exp\left(-\frac{U_{\Pi}^2}{2P_{\text{ш}}}\right). \quad (35)$$

$$\text{Решая уравнение, получаем } U_{\Pi} = \sqrt{-2P_{\text{ш}} \ln F_{\text{ЛО}}}. \quad (36)$$

Например, для $F_{\text{ЛО}}=10^{-8}$ значение порога $U_{\Pi} = \sqrt{-2P_{\text{ш}} \ln 10^{-8}} \approx 6,07\sqrt{P_{\text{ш}}}$, что соответствует пороговому отношению сигнал/шум в 15,5 дБ и обеспечивает вероятность

обнаружения более 0,95 при не флюктуирующем сигнале [Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. В 4 томах. Том 1. 1970. Основы радиолокации. Под ред. Ицхоки. М.: Сов. Радио. 1976. 456 с. с.44, рис. 4].

5 Анализ работоспособности предлагаемого способа имитации эхосигналов движущейся цели по сравнению с прототипом показывает, что излучение имитационного сигнала с борта БЛА, который перемещается в азимутально-угломестной плоскости аналогично имитируемой цели, с задержкой, рассчитываемой с учетом расстояний имитируемая цель-тестируемая РЛС и БЛА-тестируемая РЛС, позволяет формировать
10 имитационный эхосигнал с любой точки зоны обнаружения указанной РЛС с координатными ошибками, меньшими, чем ошибки измерения координат большинства современных РЛС. При этом параметры излучаемых с борта БЛА имитационных эхосигналов или помех будут соответствовать параметрам эхосигналов имитируемой цели или помех имитируемого помехопостановщика на всем протяжении их полета в
15 зоне обнаружения тестируемой РЛС. Применение предлагаемого способа обеспечит снижение стоимости и времени тестирования РЛС поскольку: во-первых, БЛА имеет небольшую как собственную стоимость, так и стоимость своего летного времени; во-вторых, упрощается процедура организации полетов на основе предлагаемого способа по сравнению с организацией полетов реальных аэродинамических или баллистических
20 целей для тестирования РЛС. Таким образом, можно сделать вывод о решении задачи и достижении технического результата изобретения.

Отличительные признаки заявляемого способа имитации эхосигналов движущейся цели обеспечивают появление новых свойств, не достигаемых в прототипе и аналогах. Проведенный сопоставительный анализ известных способов, технических решений
25 (аналогов) в исследуемой и смежных предметных областях позволил установить: аналоги с совокупностью признаков, тождественных всем признакам заявленного способа, отсутствуют, что указывает на соответствие заявленного устройства условию "новизны".

Результаты поиска известных решений в области радиолокации, радиотехники и антенных измерений с целью выявления признаков, совпадающих с отличительными
30 от прототипа признаками заявляемого способа, показали, что они не следуют явным образом из уровня техники. Также не выявлена известность влияния предусматриваемых существенными признаками заявленного изобретения действий на достижение указанного технического результата. Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию патентоспособности "изобретательский уровень".

35 Изобретение является "промышленно приемлемым", поскольку предлагаемый способ может быть внедрен на существующей элементной базе для имитации сигнально-помеховой радиолокационной обстановки при испытаниях РЛС.

(57) Формула изобретения

40 Способ имитации эхосигналов движущейся цели в зоне обнаружения тестируемой РЛС, заключающийся в том, что в имитаторе принимают зондирующие сверхвысокочастотные (СВЧ) сигналы тестируемой РЛС, ограничивают их амплитуду аттенуатором, усиливают в усилителе высокой частоты, преобразуют на промежуточную частоту (ПЧ), отличающийся тем, что преобразованные на ПЧ сигналы
45 подвергают согласованной фильтрации в N фильтрах, где импульсная характеристика определенного фильтра соответствует определенному варианту модуляции зондирующего СВЧ сигнала тестируемой РЛС, детектируют выделенные на выходах фильтров сигналы, сравнивают их с порогом, определяют тип зондирующего СВЧ

сигнала тестируемой РЛС, выбирая максимальный из сигналов, превысивших порог, формируют сигнал на ПЧ с модуляцией, соответствующей импульсной характеристике фильтра, в котором был выделен максимальный сигнал, с задержкой относительно зондирующего сигнала тестируемой РЛС, соответствующей расстоянию между имитатором и имитируемой движущейся целью, со сдвигом несущей частоты на величину доплеровского смещения, определяемого радиальной скоростью имитируемой цели, и с амплитудной модуляцией, соответствующей дальности до имитируемой цели, ее эффективной поверхности рассеяния и случайным флюктуациям, характерным для данного типа имитируемой цели, преобразуют сформированный сигнал на несущую частоту тестируемой РЛС, разделяют сформированный СВЧ сигнал на две составляющих, сдвигают по фазе одну составляющую СВЧ сигнала на угол $\pi/2$, регулируют амплитуду каждой составляющей так, чтобы обеспечить излучение СВЧ сигнала с заданной поляризацией, подают одну составляющую на первый вход-выход, а другую составляющую - на второй вход-выход двухвходовой приемо-передающей антенны, ориентированной в направлении тестируемой РЛС, и излучают с поляризацией, соответствующей поляризации эхосигнала имитируемой цели, причем имитатор размещают на беспилотном летательном аппарате (БЛА), оснащенный пилотажно-навигационной системой, обеспечивающей его полет в дальней зоне антенны тестируемой РЛС с перемещениями за время полета в азимутально-угломестной плоскости, аналогичными перемещениям имитируемой цели, а по дальности и со скоростью - с уменьшенными в K раз значениями дальности и скорости полета имитируемой цели, где значение K выбирается, исходя из возможностей БЛА по высоте и скорости его полета.

25

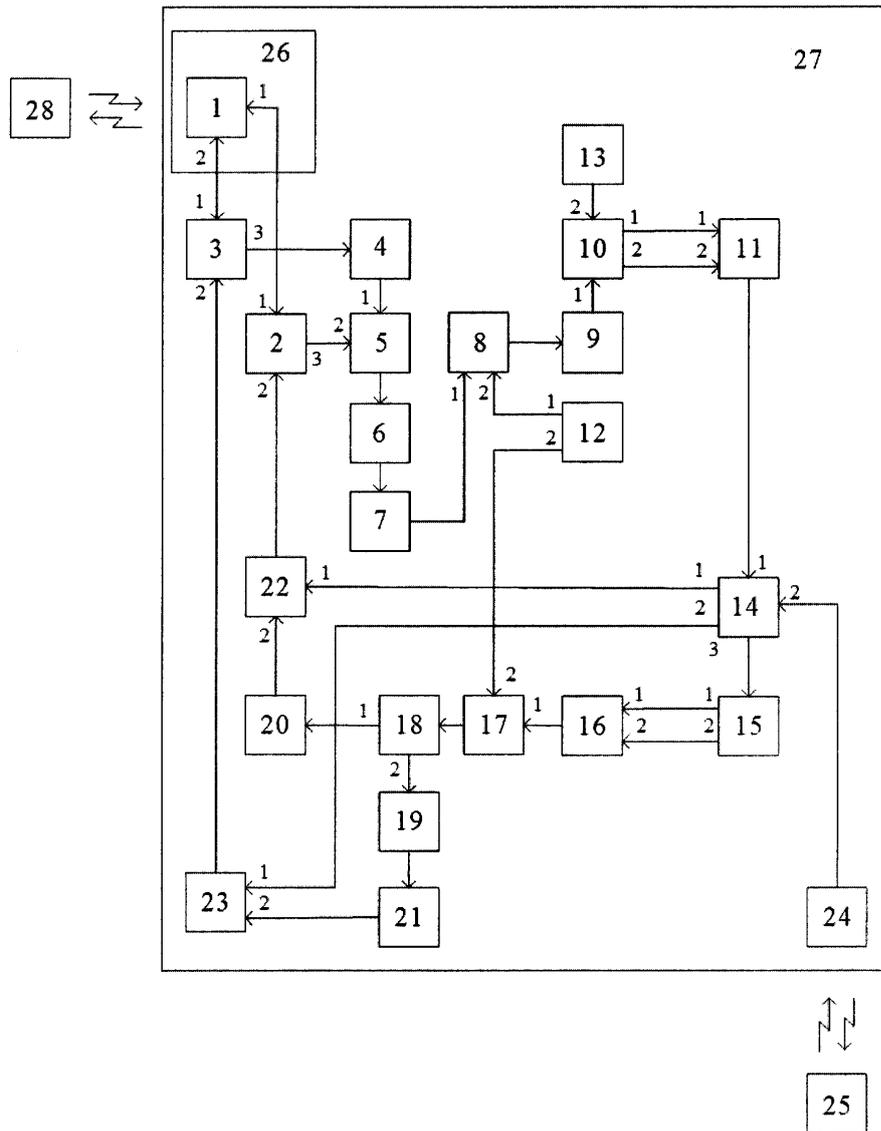
30

35

40

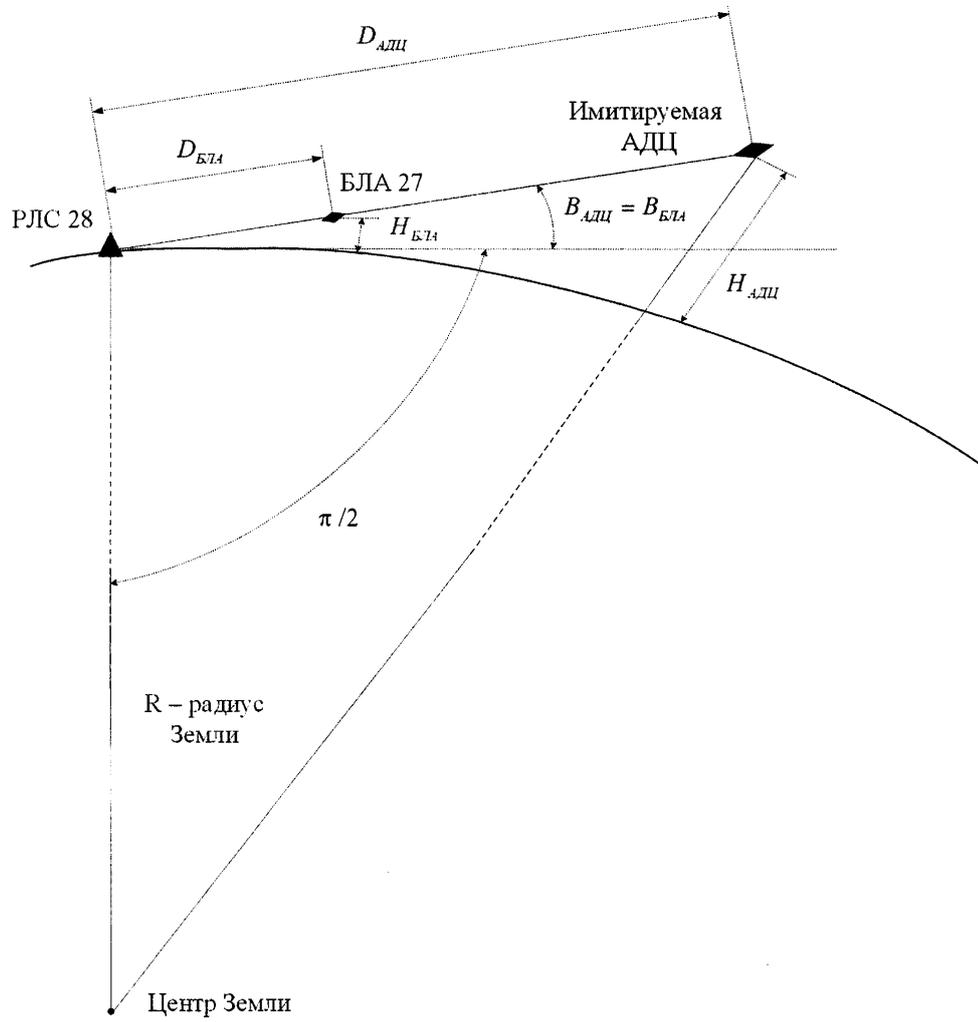
45

1

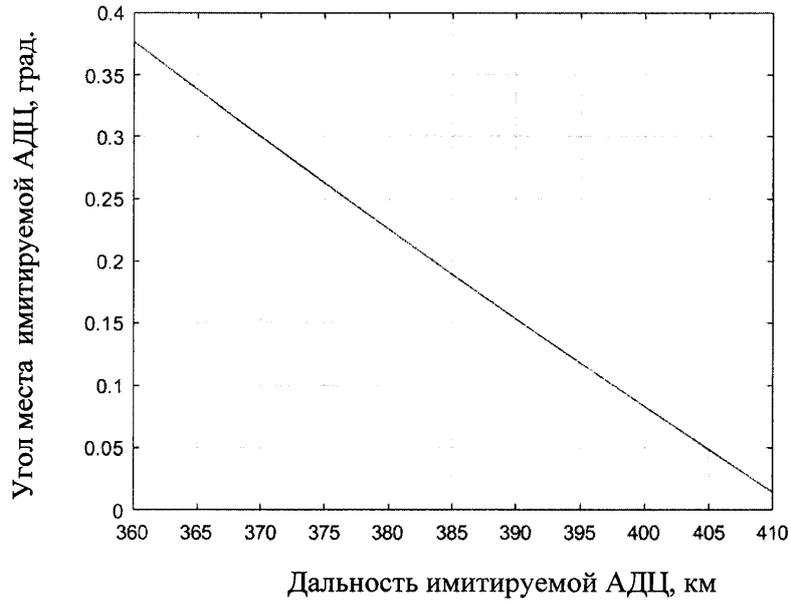


Фиг. 1

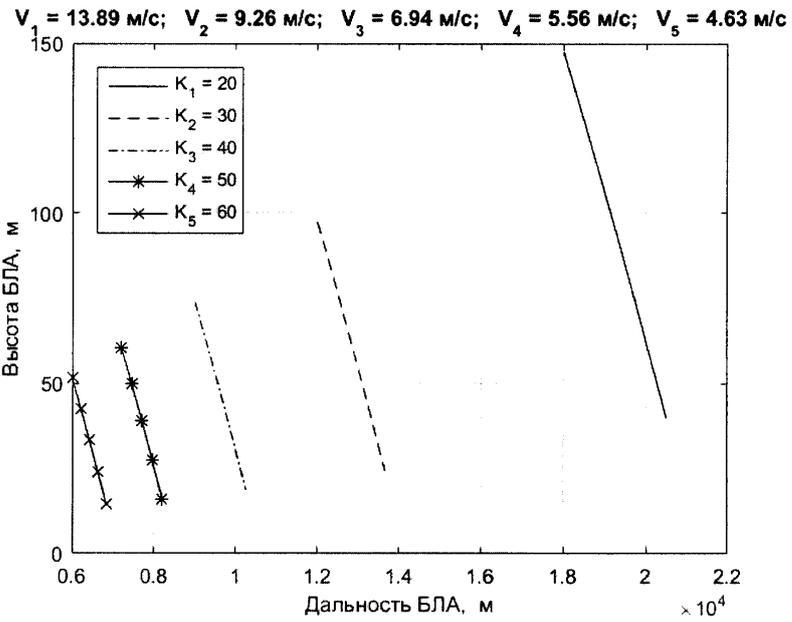
2



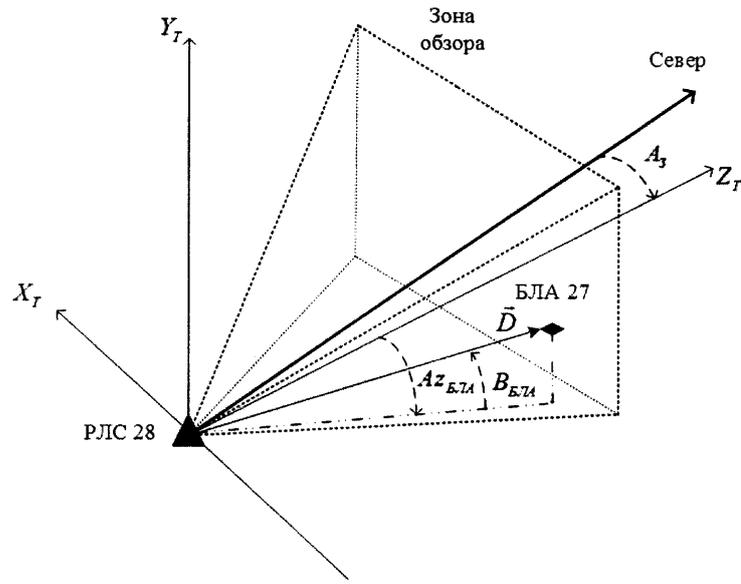
Фиг. 2



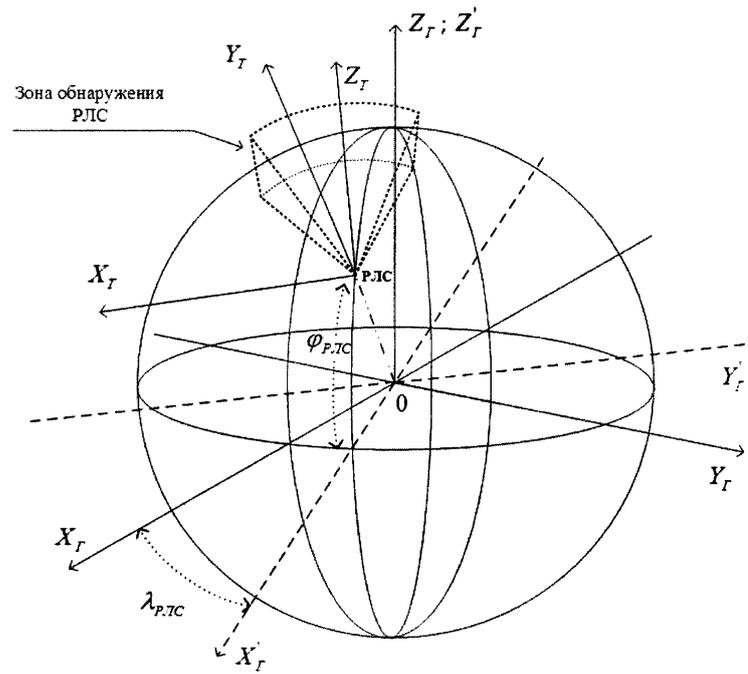
Фиг. 3



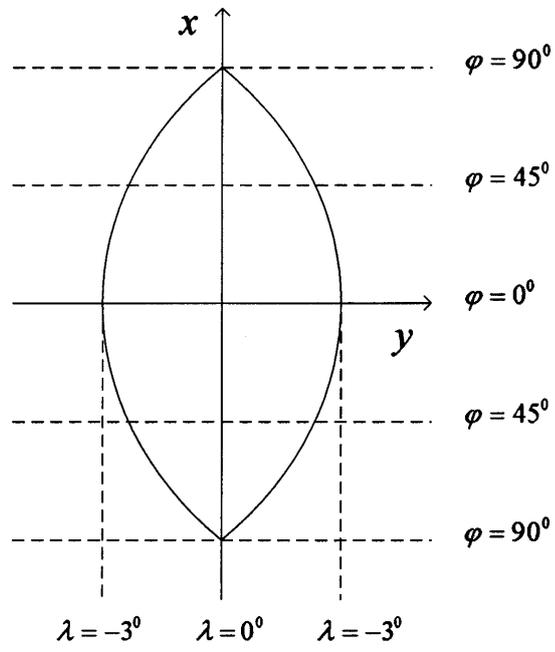
Фиг. 4



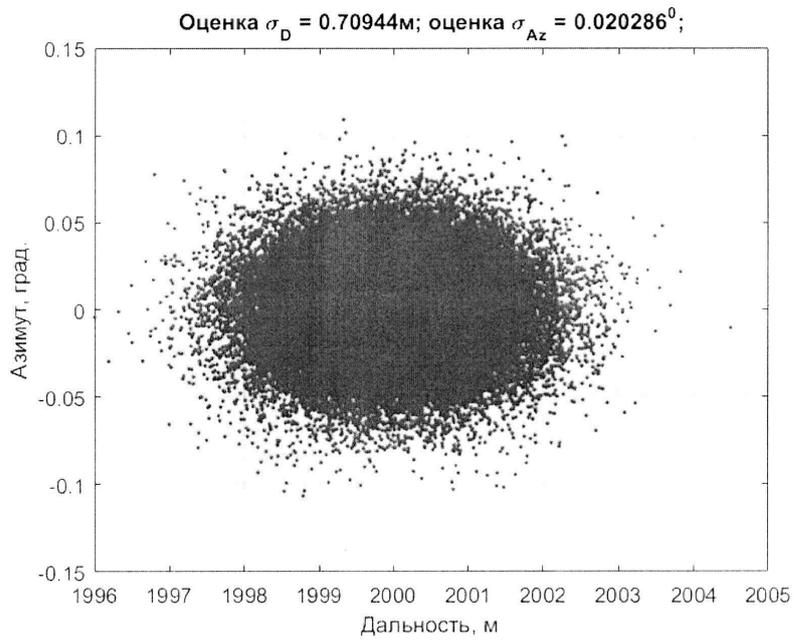
Фиг. 5



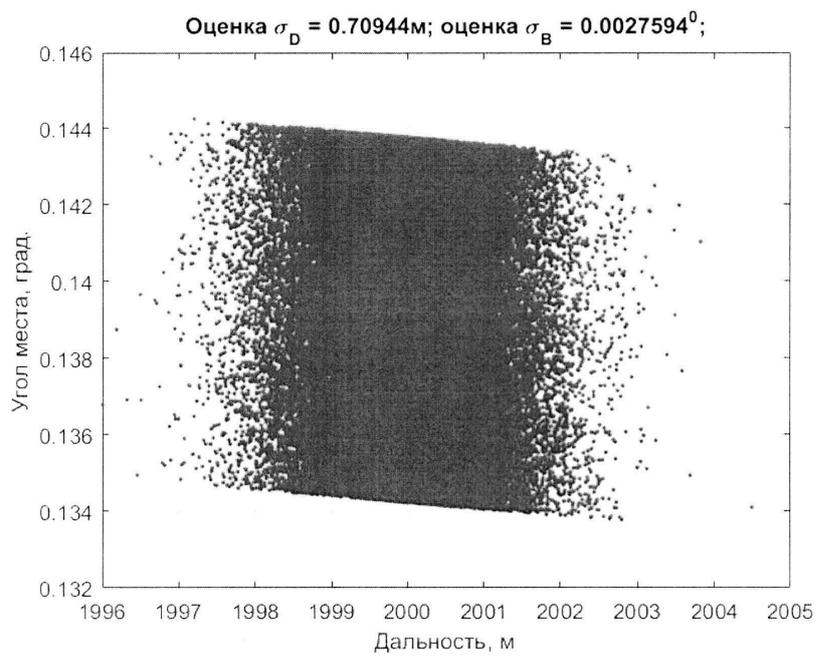
Фиг. 6



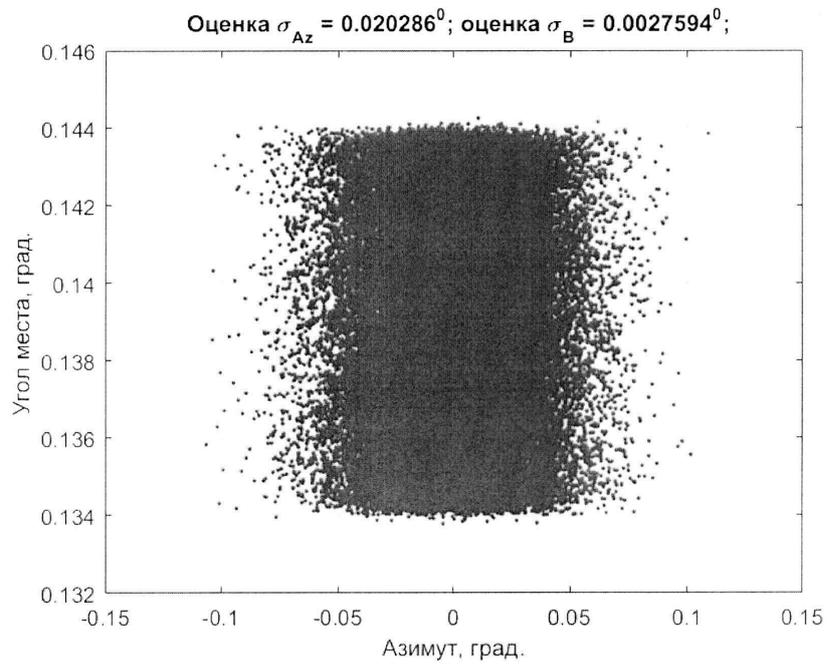
Фиг. 7



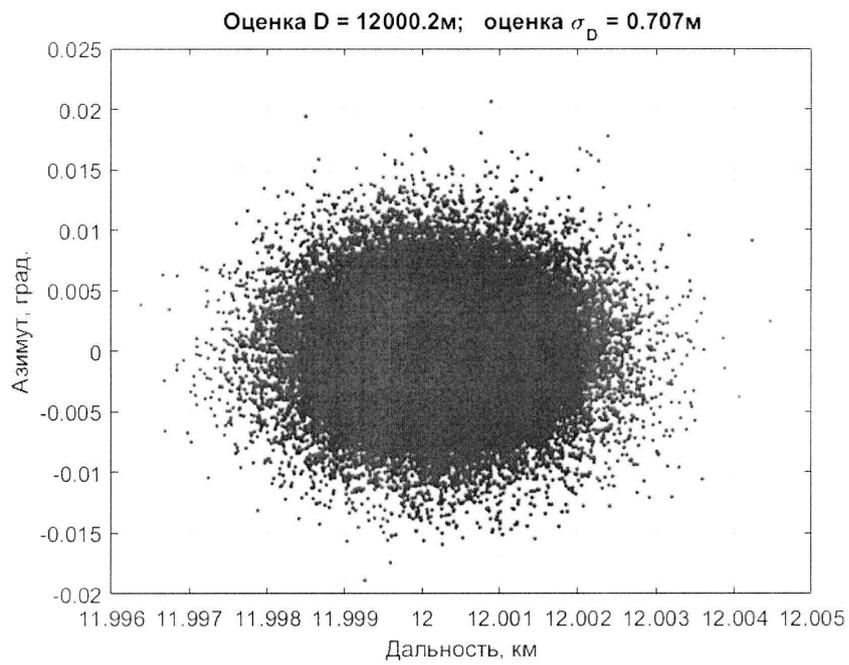
Фиг. 8



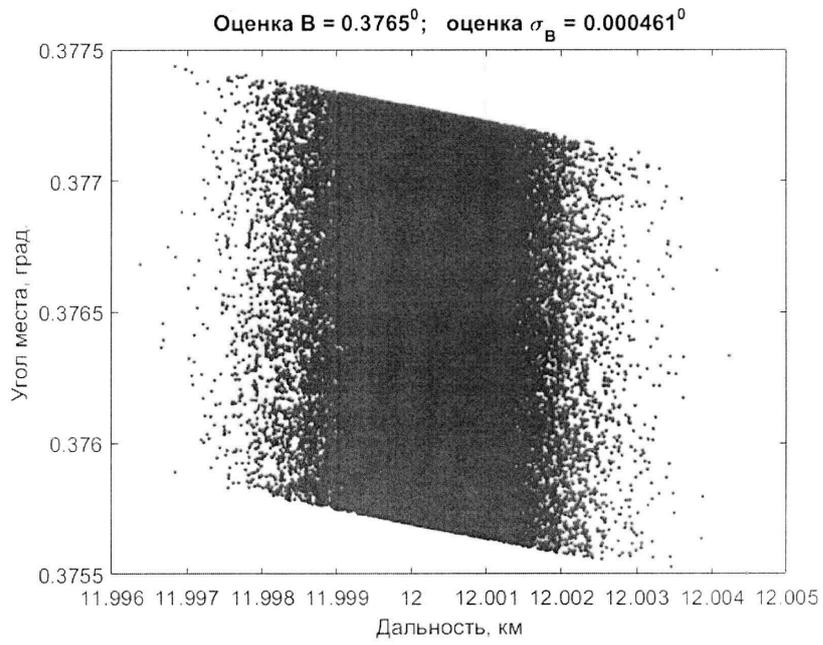
Фиг. 9



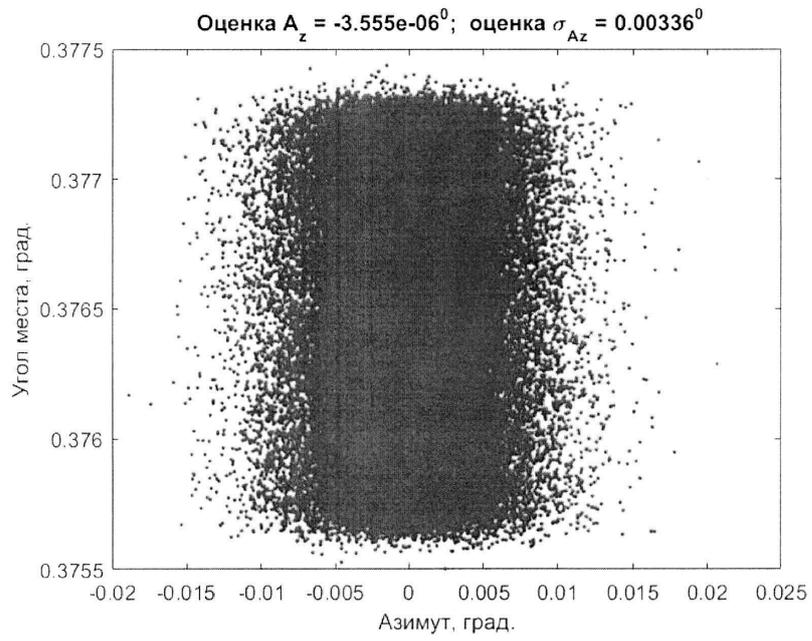
Фиг. 10



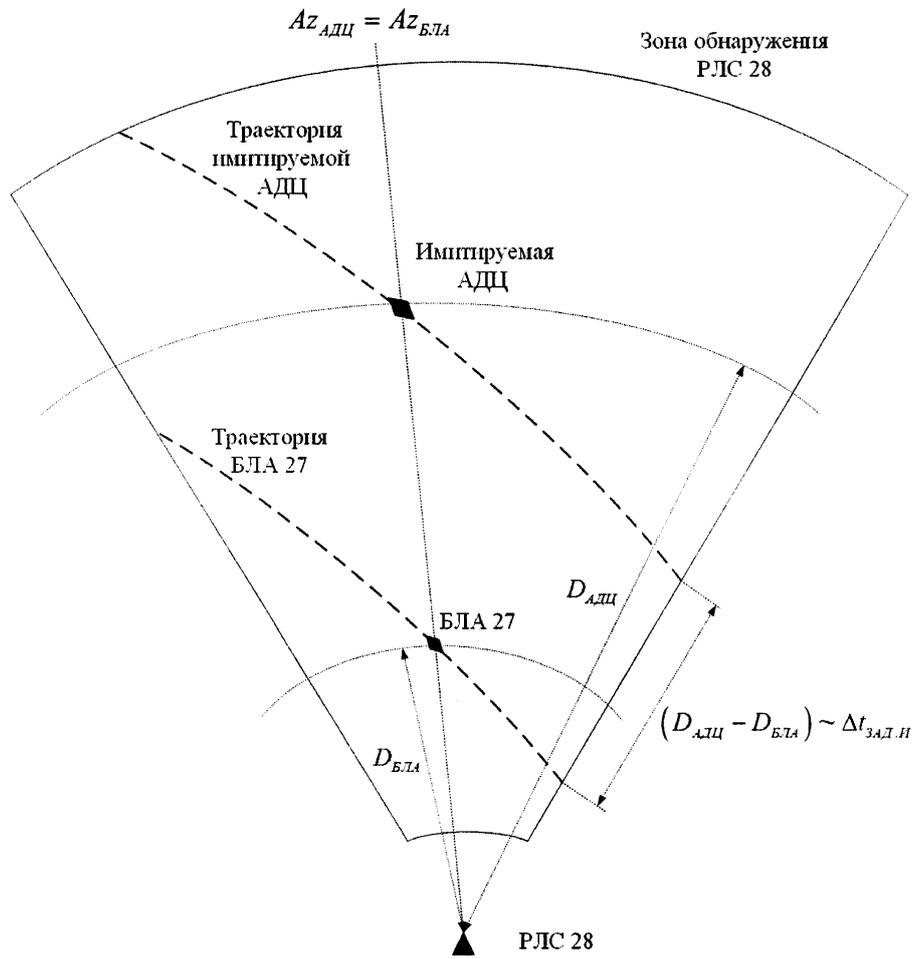
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14