



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) U (11) 6346  
(51) G01S 5/00 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2021/0332.2

(22) 06.04.2021

(45) 20.08.2021, бюл. №33

(72) Кулакаева Айгуль Ергалиевна; Айтмагамбетов Алтай Зуфарович; Бутузов Юрий Алексеевич; Кожаметова Багдат Абдурашидовна

(73) Акционерное общество «Международный университет информационных технологий»

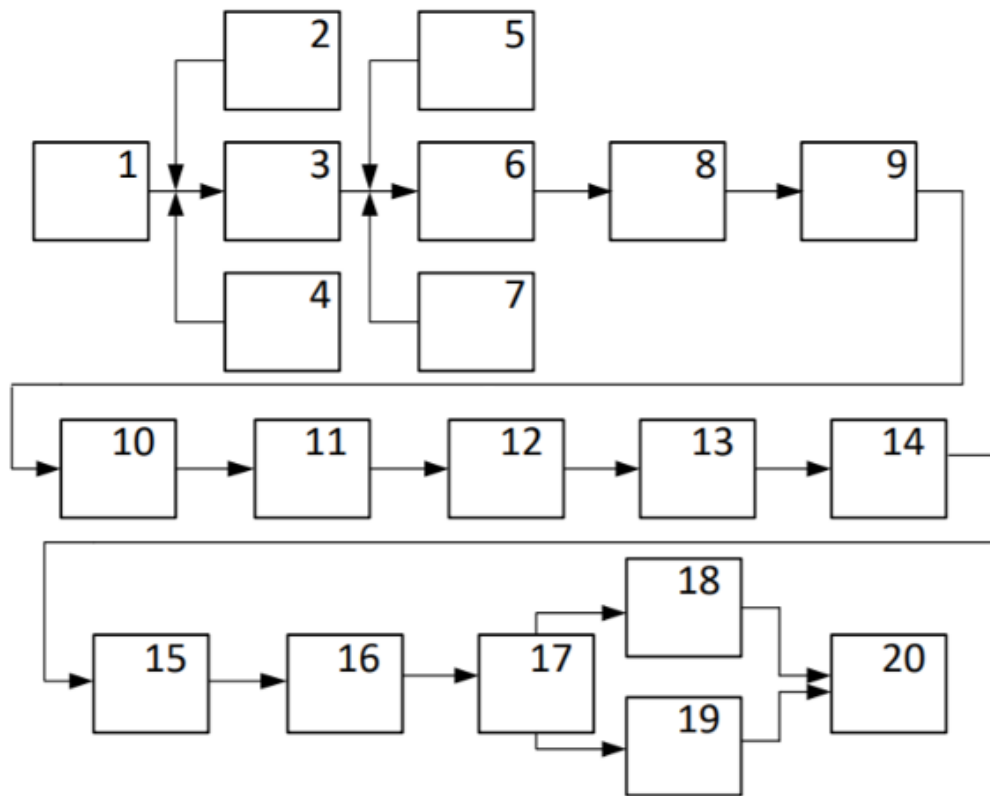
(56) RU 2275746 C1, 27.04.2006

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

(57) Полезная модель относится к области радиотехники, а именно к системам радиоконтроля для определения координат наземных источников радиоизлучения (ИРИ) с помощью низкоорбитального малого космического аппарата и может быть использована для оценки соответствия параметров излучения наземных радиоэлектронных средств (РЭС) нормам разрешительных документов на использование радиочастотного спектра (РЧС), а также для выявления незаконно работающих

наземных РЭС. Разработан способ определения местоположения источников радиоизлучения с помощью одного низкоорбитального МКА, основанном на угломерном методе, включающий применение на борту МКА двух сканирующих антенн типа активная фазированная антенная решетка, луч одной из которых сканирует в меридианальном направлении, а луч второй антенны сканирует в ортогональном направлении движению МКА, определение пеленгов, регистрацию и обработку полученных данных, определение геометрических соотношений расстояний и углов между МКА, ИРИ и центром масс Земли, отличающийся тем, что определение пеленгов производят в нескольких (не менее двух) точках орбиты МКА. Технический результат – возможность оценки параметров и характеристик ИРИ заявленным параметрам и характеристикам источников, зарегистрированных в базе данных; поиск и обнаружение источников помех и незарегистрированных ИРИ; оценка эффективности использования РЧС, а также повышение точности определения координат местоположения наземных ИРИ

(19) KZ (13) U (11) 6346



Фиг. 1

Полезная модель относится к области радиотехники, а именно к системам радиоконтроля для определения координат наземных источников радиоизлучения (ИРИ) с помощью низкоорбитального малого космического аппарата и может быть использована для оценки соответствия параметров излучения наземных радиоэлектронных средств (РЭС) нормам разрешительных документов на использование радиочастотного спектра (РЧС), а также для выявления незаконно работающих наземных РЭС.

Известен способ определения местоположения источников радиоизлучений (Патент США №9086471В2, кл.Н04В 7/1851, 2014), заключающийся в получении информации об электромагнитной энергии, излучаемой источником или наземными источниками. Данное изобретение также может, например, использоваться для определения местоположения источника наземных помех. Спутник наблюдения используется для получения информации об электромагнитной энергии, излучаемой с Земли. Спутник наблюдения вращается вокруг Земли по орбите с наклоном более  $90^\circ$  и менее  $270^\circ$ . Кроме того, спутник наблюдения содержит по меньшей мере одну приемную антенну, причем по меньшей мере одна приемная антенна имеет диаграмму направленности приема, направленную к Земле, и пригодна для приема электромагнитной энергии в радиодиапазоне, когда спутник наблюдения движется по орбите относительно поверхности Земли.

Недостатком данного способа является то, что для определения местоположения наземного ИРИ применяется традиционный метод, на разнице времени прихода TDOA (TDOA - time difference of arrival) или разнице частоты прихода (FDOA - frequency difference of arrival), однако такие способы требуют несколько спутников.

Известен способ определения координат ИРИ при амплитудно-фазовой пеленгации с борта ЛА (Патент РФ №2275746С1, кл. Н04К 3/00, G01S 7/28, 13/32, 2006). Способ включает прием радиосигналов бортовой антенной, частотную селекцию, определение пеленгов, регистрацию и обработку полученных данных. Координаты ИРИ фиксируются как точка пересечения, по крайней мере, двух линий пеленгов. Способ позволяет при его реализации совмещать процесс определения координат ИРИ с другими процессами радиомониторинга: параметрическим и семантическим контролем сигналов.

Недостатком данного способа является низкая точность определения координат ИРИ при амплитудно-фазовой пеленгации с борта ЛА. Это объясняется в первую очередь возникновением ошибок, связанных со случайными флуктуациями пространственного положения плоскости пеленгаторной антенны во время полета ЛА. Величина этих ошибок соизмерима с систематическими и эксплуатационными ошибками используемых при реализации аппаратных средств.

Задача полезной модели – оценка параметров и характеристик ИРИ заявленным параметрам и характеристикам источников, зарегистрированных в базе данных; поиск и обнаружение источников помех и незарегистрированных ИРИ; оценка эффективности использования РЧС, а также повышение точности определения координат местоположения наземных ИРИ.

Технический результат – возможность оценки параметров и характеристик ИРИ заявленным параметрам и характеристикам источников, зарегистрированных в базе данных; поиск и обнаружение источников помех и незарегистрированных ИРИ; оценка эффективности использования РЧС, а также повышение точности определения координат местоположения наземных ИРИ

Технический результат достигается за счет того, что в способе определения местоположения источников радиоизлучения с помощью одного низкоорбитального МКА, основанном на угломерном методе, с применением на борту МКА двух сканирующих антенн типа активная фазированная антенная решетка, луч одной из которых сканирует в меридианальном направлении, а луч второй антенны сканирует в ортогональном направлении движению МКА, определение пеленгов, регистрацию и обработку полученных данных, определение геометрических соотношений расстояний и углов между МКА, ИРИ и центром масс Земли, согласно предлагаемой полезной модели определение пеленгов производят в нескольких, не менее двух, точках орбиты МКА. Определение пеленгов в не менее двух точках орбиты МКА позволило повысить точность определения координат ИРИ. Для лучшего понимания сущности предлагаемого способа привлечены графические материалы, где на фиг. 1 представлена блок-схема системы, реализующей способ определения местоположения ИРИ, на фиг. 2а) изображена схема определения долготы ИРИ, на фиг. 2 б) представлена схема определения координат наземного ИРИ с помощью измерения в двух разных точках орбиты МКА. Система, реализующая способ определения местоположения ИРИ включает блок ввода значений радиуса  $R_0$  орбиты МКА 1; блок аппаратного определения угла  $\mu_2$  между направлениями от МКА (точка В2) на ИРИ (точка D) и на точку А) 2; блок вычисления широты и долготы точки В2 нахождения МКА  $\alpha_2$  и угла между направлениями от МКА на центр масс Земли (О) и ИРИ  $\beta'_2$  3; блок вычисления координаты точки В2 4; блок аппаратного определения угла  $\mu_1$  между направлениями от МКА (точка В1) на ИРИ (точка D) и на точку А) 5; блок вычисления широты и долготы точки В1 нахождения МКА  $\alpha_1$  и угла между направлениями от МКА на центр масс Земли (О) и ИРИ  $\beta'_1$  6; блок вычисления координаты точки В1 7; блок вычисления  $\Delta\gamma$  8; блок вычисления третьего угла  $k$  в треугольнике, противостоит стороне ОВ; разности широт  $\gamma$ , противостоит стороне АВ; 3 широты  $\phi_1$  ИРИ с погрешностью на долготу; радиуса

эллипсоида  $RЭ$  Земли на широте  $\phi_1$ ; радиуса  $R$  горизонтального сечения Земли на широте  $\phi_1$  9; блок вычисления координаты точки  $A_2$  10; блок вычисления координаты точки  $A_1$  11; блок вычисления поправки на долготу  $\eta_2$  12; блок вычисления поправки на долготу  $\eta_1$  13; блок вычисления уравнения 4-й степени для определения поправок на долготу 14; блок вычисления уравнения 4-й степени для определения поправки на долготу 15; блок вычисления  $k_1, \gamma_1, \phi_2$  16; блок определения знака поправки 17; блок вывода западного направления 18; блок вывода восточного направления 19; блок вывода координат широты и долготы ИРИ 20. Для определения координат (широты и долготы) наземного ИРИ, предлагается принцип определения координат наземного ИРИ с помощью измерения в двух разных точках орбиты МКА, который поясняется на фиг. 2а). Область радиомониторинга (ОРМ) находится в диапазоне значения северной широты от  $\phi = 40^\circ$  до  $\phi = 56^\circ$  (среднее значение ОРМ  $\phi = 48^\circ$ ). Именно на средней широте выбрана высота орбиты МКА  $h$  (в нашем случае  $h = 650\,000$  м). В блоке 1 вводится значение радиуса  $R_0$  орбиты МКА. При сканировании луча антенны МКА вдоль меридиана фиксируется сигнал ИРИ и в блоке 3 определяются в этот момент аппаратно широта точки  $B_2$  нахождения МКА  $\alpha_2$ ; долгота точки  $B_2$  нахождения МКА  $\theta_2$ ; угол между направлениями от МКА на центр масс Земли (О) и ИРИ  $\beta'_2$ . Повторно сигнал ИРИ фиксируется на следующей точке В и в блоке 3 определяются аппаратно широта  $\alpha_2$  и долгота  $\theta_2$ , а также угол  $\beta'_2$ . В блоке 8 определяется  $\Delta\gamma = \alpha_1 - \alpha_2$  и вычисляются в блоке 4 координаты точки  $B_2$ . При сканировании второго луча антенны МКА вдоль параллели фиксируется сигнал ИРИ и в блоке 2 определяется в этот момент аппаратно угол  $\mu_2$  и по нему вычисляем в блоке 12 поправку на долготу  $\eta_2$ . При сканировании луча антенны МКА вдоль меридиана с новой точки фиксируется сигнал ИРИ и определяются в блоке 6 в этот момент аппаратно широта точки  $B_1$  нахождения МКА  $\alpha_1$ ; долгота точки  $B_1$  нахождения МКА  $\theta_1$ ; угол между направлениями от МКА на центр масс Земли (О) и ИРИ  $\beta'_1$ . В блоке 7 вычисляются координаты точки  $B_1$ . При сканировании второго луча антенны МКА вдоль параллели с новой точки фиксируется сигнал ИРИ и в блоке 5 определяется в этот момент аппаратно угол  $\mu_1$  и по нему в блоке 13 вычисляется поправка на долготу  $\eta_1$ . Затем блок 9 производит вычисление третьего угла  $k$  в треугольнике, противолежащей стороне ОВ, разности широт  $\gamma$ , противолежащей стороне АВ, широты  $\phi_1$  ИРИ с погрешностью на долготу, радиуса эллипсоида  $RЭ$  Земли на широте  $\phi_1$  и радиуса  $R$  горизонтального сечения Земли на широте  $\phi_1$ . Радиус эллипсоида Земли  $RЭ$  - отрезок, соединяющий центр масс Земли О с точкой на эллипсоиде D. В блоках 10 и 11 вычисляются координаты точки  $A_2$  и  $A_1$ . Одновременно для двух точек нахождения МКА сигнал ИРИ фиксируется лучом АФАР сканирующей в ортогональном направлении первому лучу и в этот момент аппаратно

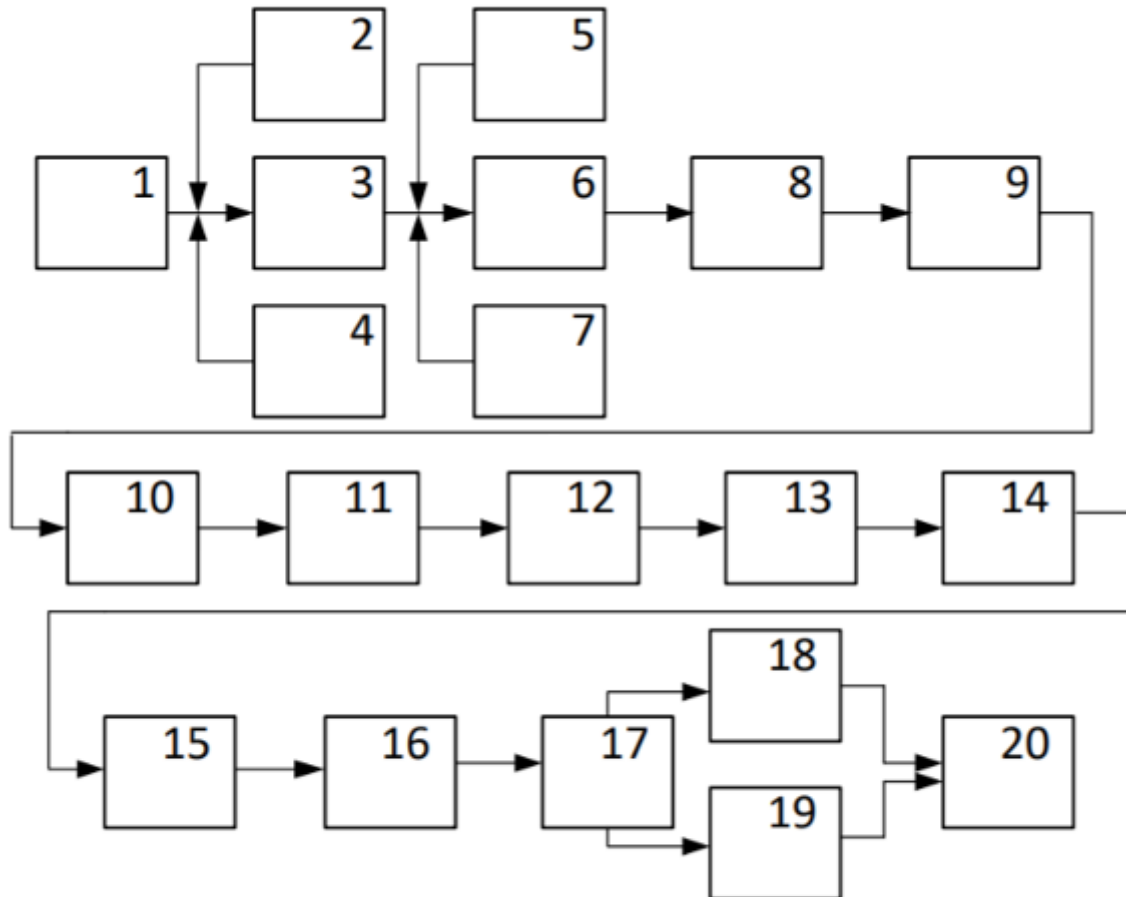
определяются углы  $C$  и  $\mu_1$  (между направлениями от точек  $B_2$  и  $B_1$  на точку А и точку D, где находится ИРИ). В блоках 14 и 15 вычисляются два уравнения 4-й степени для определения в блоках 12 и 13 поправок на долготу  $\eta_2$  и  $\eta_1$ . Долгота местонахождения ИРИ выводится в блоке 18  $v_1 = \theta_1 \pm \eta_1$  и  $v_2 = \theta_2 \pm \eta_2$  в блоке 19 (определяется в блоке 17 в зависимости от знака поправки). При ИРИ в точке D для 2-х поправок на долготу  $\eta$  - определяется  $D'A = R \cdot (1 - \cos \eta)$ , где  $R = AC$  4 - определяется AM по координатам точек А и В - определяется  $D'M = D'A + AM$  - определяется угол  $D'BM = \arctg(BM/D'M)$  - определяется угол АВМ - определяется угол  $D'BA = D'BM - \text{угол АВМ}$  - это увеличение угла  $\beta$  за счет наличия поправки на долготу, хотя широта та же. - определяется угол  $\beta_2 = \beta_1 - \text{угол D'BA}$  В блоке 16 вычисляется  $k_1$  и  $\gamma_1$ . Затем определяется  $\phi_2$ . Результаты определения координат широты и долготы местоположения ИРИ определяются в блоке 20. Сканирование лучом относительно точки А осуществляется вдоль параллели, соответствующей широте  $\phi$ , в западном и восточном направлении. При появлении сигнала фиксируется направление на ИРИ с помощью угла  $\mu$  ( $\mu$  - угол между направлениями от МКА (точка В) на ИРИ (точка D) и на точку А), а также знак поправки на долготу  $\eta$  относительно долготы МКА ( $\theta$ ) - западное направление (-), восточное - (+). На фиг. 2б показано только западное местоположение ИРИ (точка D), аналогично точка D может быть под таким же углом  $\mu$  в восточном направлении. Точка А - точка пересечения рассмотренной выше параллели со следом орбиты МКА на земной поверхности. Точка С находится на оси ОZ в месте пересечения ее плоскостью по параллели, на которой находится ИРИ (то есть на той же широте). Данное сечение представляет собой окружность, на которой лежат точки А и D, а точка С - центр этой окружности.

Радиус окружности  $R = AC = DC = RЭ(\phi) \times \cos \phi$ . Сторона BC - расстояние между МКА и точкой С, сторона BD - расстояние между МКА и ИРИ, сторона BA - расстояние между МКА и точкой А, сторона AD (хорда окружности), знание которой необходимо для определения поправки  $\eta$ . Для определения всех расстояний необходимы координаты точек А, В, С и D. Далее определяются координаты точки А, местоположения МКА (точка В) и координаты точки С, следовательно, необходимо определить расстояния AC, BC и BA. Для определения координат точки D ( $X_d, Y_d$ ) применяется теорема косинусов и составляется уравнение (4-й степени). После определения координат точки D ( $X_d, Y_d$ ) определяется отрезок AD. Далее по AD и R определяется поправка на долготу ( $\eta$ ) (знак поправки на долготу  $\eta$  относительно долготы МКА ( $\theta$ ) - западное направление (-), восточное - (+). С целью повышения точности определения координат местоположения наземных ИРИ можно проводить несколько измерений (3, 4...N) из разных точек орбиты МКА в пределах видимости ИРИ.

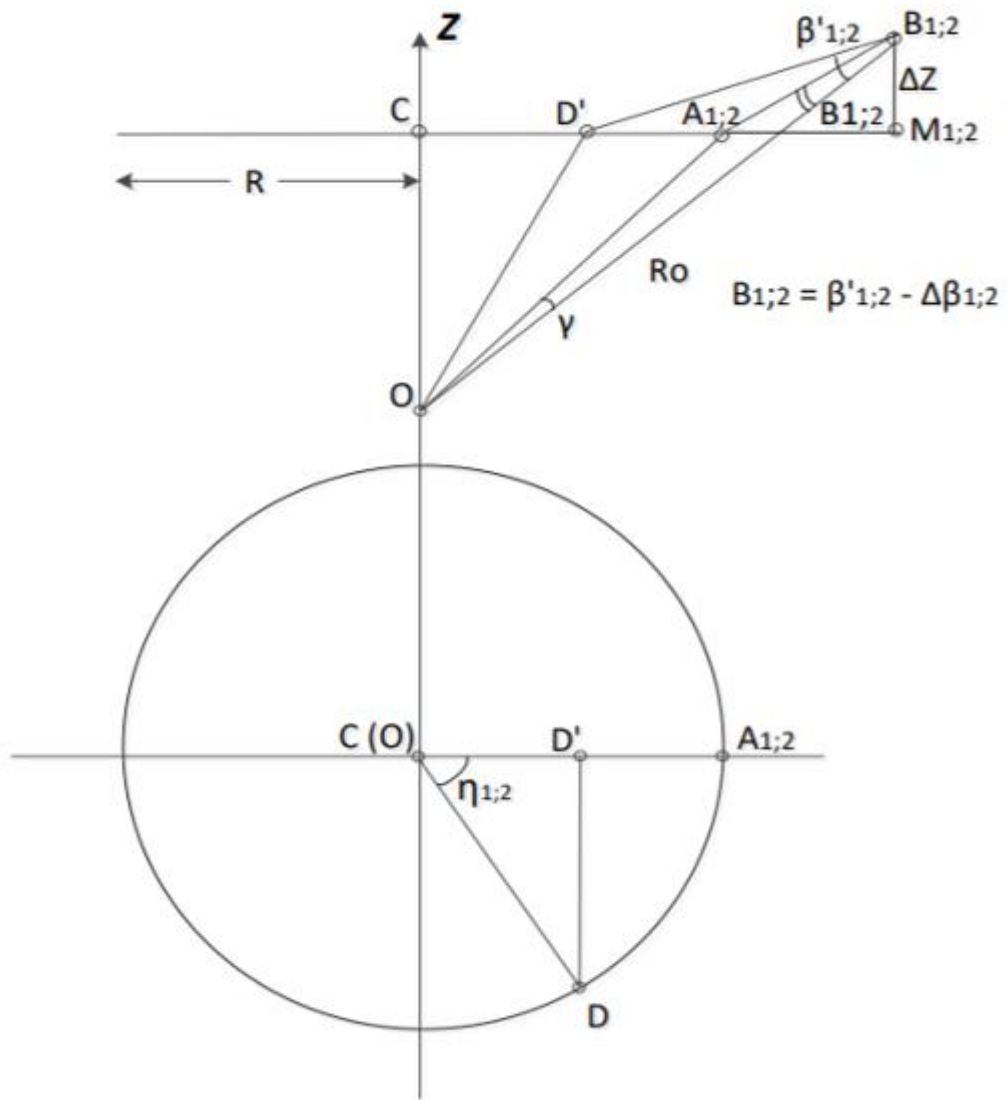
### ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Способ определения местоположения источников радиоизлучения с помощью низкоорбитального малого космического аппарата, включающий прием радиосигналов бортовой антенной, определение пеленгов, регистрацию и обработку полученных данных, *отличающийся* тем, что применяют на борту МКА две сканирующие антенны типа активная фазированная антенная решетка, луч одной

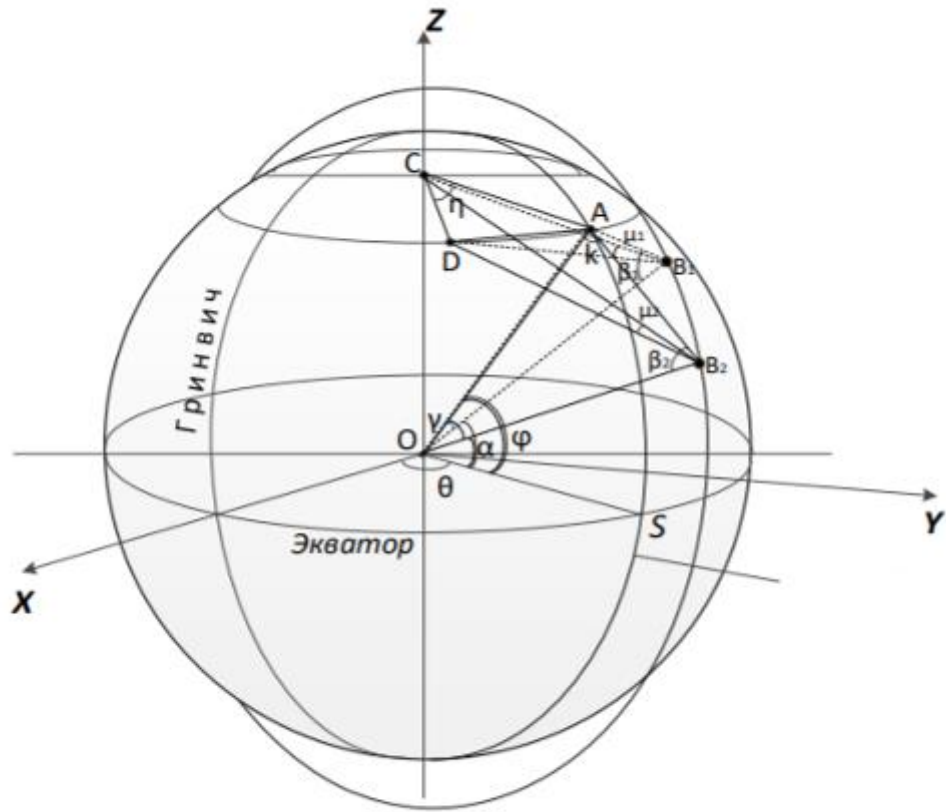
из которых сканирует в меридианальном направлении, а луч второй антенны сканирует в ортогональном направлении движению МКА, определяют геометрические соотношения расстояний и углов между МКА, ИРИ и центром масс Земли, при этом определение пеленгов производят в нескольких, не менее двух, точках орбиты МКА.



Фиг. 1



Фиг. 2а)



Фиг. 26)