



# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2020/0913.2

(22) 08.10.2020

(45) 08.10.2021, бюл. №40

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

(73) Акционерное общество «Международный университет информационных технологий»

(56) RU 2275746 С1, 27.04.2006

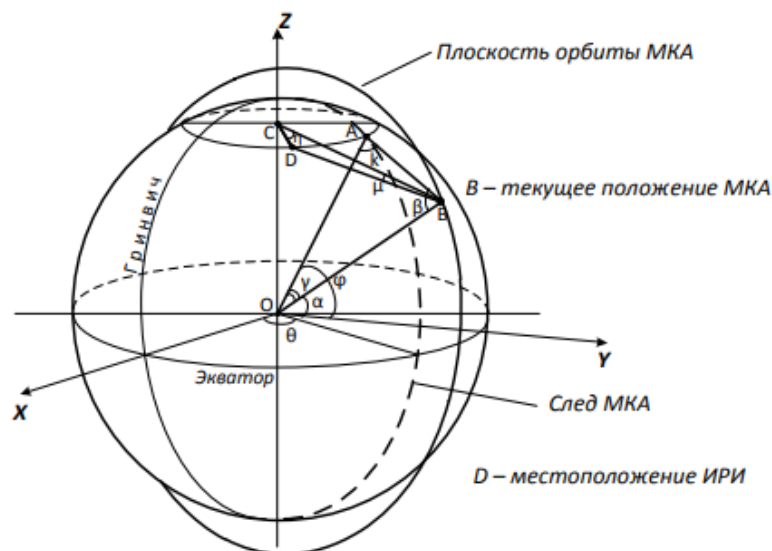
## (54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НИЗКООРБИТАЛЬНОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

(57) Полезная модель относится к системам радиоконтроля для определения местоположения наземных ИРИ с помощью одного низкоорбитального МКА и может быть использована для определения параметров и характеристик ИРИ заявленным параметрам и характеристикам источников, зарегистрированных в

базе данных; поиск и обнаружение источников помех и незарегистрированных ИРИ, а также для оценки эффективности использования РЧС.

Разработан способ определения местоположения источников радиоизлучения с помощью одного низкоорбитального МКА, основанный на угломерном методе, с применением на борту МКА сканирующих антенн, луч одной из которых сканирует в меридианальном направлении для определения пеленга на ИРИ в момент фиксации сигнала методом равноточной зоны (для определения широты ИРИ), а луч второй антенны сканирует в ортогональном направлении движению МКА для определения пеленга на ИРИ (для определения долготы ИРИ), а координаты местоположения ИРИ определяются на основе анализа геометрических соотношений расстояний и углов между МКА, ИРИ и центром масс Земли, пеленгами на ИРИ с использованием итераций и решения уравнения 4-ой степени.

(19) KZ (13) U (11) 5855



Фигура 1 – Определение координат наземного ИРИ на базе одного МКА

Полезная модель относится к области радиотехники, а именно к системам радиоконтроля для определения местоположения наземных источников радиоизлучения (ИРИ) на базе одного низкоорбитального малого космического аппарата (МКА) 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 координат источников радиоизлучений (Патент РФ №2306579 С1. Авторы: Балюков В. М., Титов А. А., Устинов К. В., Царик Д. В., Царик И. В., Царик О. В., Шугуров Д. Е.), заключающийся в определении координат ИРИ одним перемещающимся измерителем, обеспечивающее существенное упрощение технических средств радиоконтроля. Данный способ определения координат ИРИ заключается в приеме сигналов источников радиоизлучений в заданной полосе частот  $\Delta F$  перемещающимся в пространстве измерителем, измерение первичных координатно-информативных параметров обнаруженных сигналов с одновременным измерением и запоминанием вторичных параметров: координат местоположения измерителя, многократное повторное измерение совокупности первичных и вторичных параметров в процессе перемещения измерителя по свободной траектории, при этом в качестве первичных координатно-информативных параметров используют уровень сигнала. При перемещении измерителя измеряют уровни сигнала в  $N$  ( $N \geq 4$ ) точках, последовательно вычисляют  $N-1$  отношений уровней сигнала, по вычисленным отношениям строят  $N-1$  круговых линий положения и определяют координаты источников радиоизлучения как точку пересечения  $N-1$  круговых линий положения. Повышение точности определения координат ИРИ достигается также за счет использования  $C_N^2$  круговых линий положения, где  $C_N^2$  - число всех различных сочетаний из 2 по  $N$ , ( $N \geq 4$ ).

Недостатком данного способа является его реализуемость, так как поиск точки пересечения  $n > 2$  круговых линий положения труднореализуемая задача.

Известен способ определения местоположения источников радиоизлучений (Патент US 9,086,471 B2. Авторы: SES S.A., Brian Mengwasser), 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.

Наиболее близким по технической сущности (прототип) к заявляемому объекту является способ определения координат ИРИ при амплитудно-фазовой пеленгации с борта ЛА, используемый устройством по патенту РФ №2275746 (Авторы: Данилюк А.С., Дикарев В.И., Заренков В.А., Заренков Д.В.). 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 – определение координат местоположения наземных ИРИ, параметров и характеристик ИРИ заявленным параметрам и характеристикам источников, зарегистрированных в базе данных; поиск и обнаружение источников помех и незарегистрированных ИРИ, а также оценка эффективности использования РЧС.

Технический результат достигается за счет применения одного низкоорбитального МКА с двумя сканирующими антеннами на борту типа активной фазированной антенной решетки (АФАР) и определения геометрических соотношений расстояний и углов между МКА, ИРИ и центром масс Земли.

Сущность полезной модели.

Для определения координат (широты и долготы) ИРИ на базе одного МКА, который находится на круговой полярной орбите (наклонение  $i = 90^\circ$ ), предлагается принцип, который поясняется на Фигуре 1.

На Фигуре 1 приняты следующие обозначения: О - центр масс Земли; D – местоположение ИРИ; В – местоположение МКА.

Определение широты места расположения ИРИ осуществляется на основе анализа параметров

треугольника АОВ, построенного в эллипсе (сечение сфероида плоскостью ZOY). Точка А находится на поверхности на следе МКА в месте пересечения его с параллелью, на которой находится ИРИ (то есть на той же широте); сторона ОА =  $R_э$  (радиус Земли), зависящий от широты  $\varphi$ ; сторона ОВ =  $R_o$  (радиус орбиты МКА);  $\varphi$  - широта ИРИ (угол между направлением ОА и экваториальной плоскостью);  $\alpha$  - широта МКА (угол между направлением ОВ и экваториальной плоскостью).

Углы в треугольнике АОВ: ( $\gamma$ ) - разность широт, он противоположен стороне АВ;  $\beta$  - угол под которым с МКА видна точка А относительно направления ОВ, он противоположен сторонам ОА;  $\kappa$  - 3-й угол в треугольнике, противоположен стороне ОВ. При известных 3 параметрах треугольника легко найти другие его параметры.

Известна сторона ОВ и угол  $\beta$  (определяется при сканировании), остальные параметры зависят от  $\varphi$ , который требуется определить. Поэтому потребуется применить метод итераций.

Поскольку поверхность Земли отличается от сферической и имеет форму геоида, поверхность которого сложно выразить математически, при решении ряда практических задач взамен поверхности геоида принимают поверхность сфероида (эллипсоида вращения) - близкого по форме геоиду.

Область радиомониторинга (ОРМ) находится в диапазоне значений северной широты от  $\varphi=40^\circ$  до  $\varphi=56^\circ$  (среднее значение ОРМ  $\varphi = 48^\circ$ ). Именно на средней широте выбираем высоту орбиты МКА  $h$  (в нашем случае  $h = 650\ 000$  м). Для определения радиуса круговой орбиты  $R_o$  требуется вычислить радиус эллипсоида  $R_э$  (линейное расстояние от центра масс Земли до поверхности), зависящий от широты. Далее необходимо определить радиус круговой орбиты МКА.

Для определения координат ИРИ предлагается структурная схема бортового оборудования космического сегмента системы радиомониторинга на базе одного низкоорбитального МКА (Фигура 2). Для реализации данной системы необходимо на борту МКА иметь две сканирующие антенны типа АФАР. АФАР должны обеспечивать определенный угол сканирования земной поверхности с целью обнаружения ИРИ. Обнаруженные сигналы от ИРИ поступают в приемник и далее подвергаются обработке по определенным алгоритмам.

Антенны на МКА должны иметь узкие диаграммы направленности. Луч одной из них сканирует в меридиональном направлении (в направлении движения МКА) и служит для определения широты места расположения ИРИ в момент фиксации сигнала методом равносигнальной зоны. Луч второй антенны сканирует в ортогональном направлении движению МКА и служит для определения долготы места расположения ИРИ.

Как видно из Фигуры 1, если известна сторона ОВ и угол  $\beta$  (определяется при сканировании), остальные параметры зависят от  $\varphi$ , который требуется определить. Так как известными являются

только два параметра треугольника, то потребуется применить метод итераций.

Блок-схема алгоритма для определения широты ИРИ приведена на Фигуре 3.

После определения широты ИРИ  $\varphi$  перейдем к определению долготы. Рассмотрим особенности определения долготы ИРИ на основе анализа параметров треугольников ABD, ACD, BCD, приведенных на Фигуре 1. Сканирование лучом относительно точки А осуществляется вдоль параллели, соответствующей широте  $\varphi$ , 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 Фигуре 1 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 OZ 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  $R=AC=DC=R_э(\varphi)\times\cos\varphi$ .

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. Далее для определения координат точки D ( $X_d, Y_d$ ) 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 – (+).

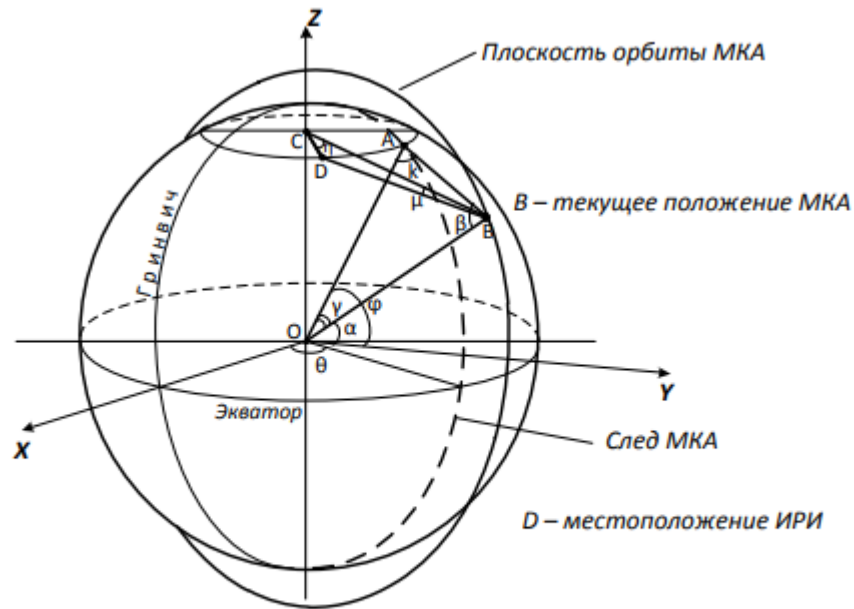
Блок-схема алгоритма для определения долготы ИРИ приведена на Фигуре 4.

### ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

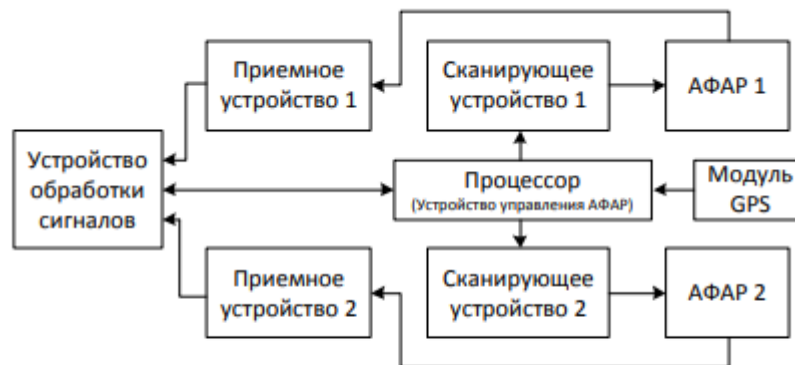
Способ определения местоположения источников радиоизлучения с помощью низкоорбитального малого космического аппарата, включающий прием радиосигналов бортовой антенной, определение пеленгов, регистрацию и обработку полученных данных, *отличающийся* тем, что две антенны типа активная фазированная антенная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

сканирует в меридиональном направлении для определения пеленга на ИРИ в момент фиксации сигнала методом равноточной зоны (для определения широты ИРИ), а луч второй антенны сканирует в ортогональном направлении движению МКА для определения пеленга на ИРИ (для определения долготы ИРИ), обнаруженные сигналы

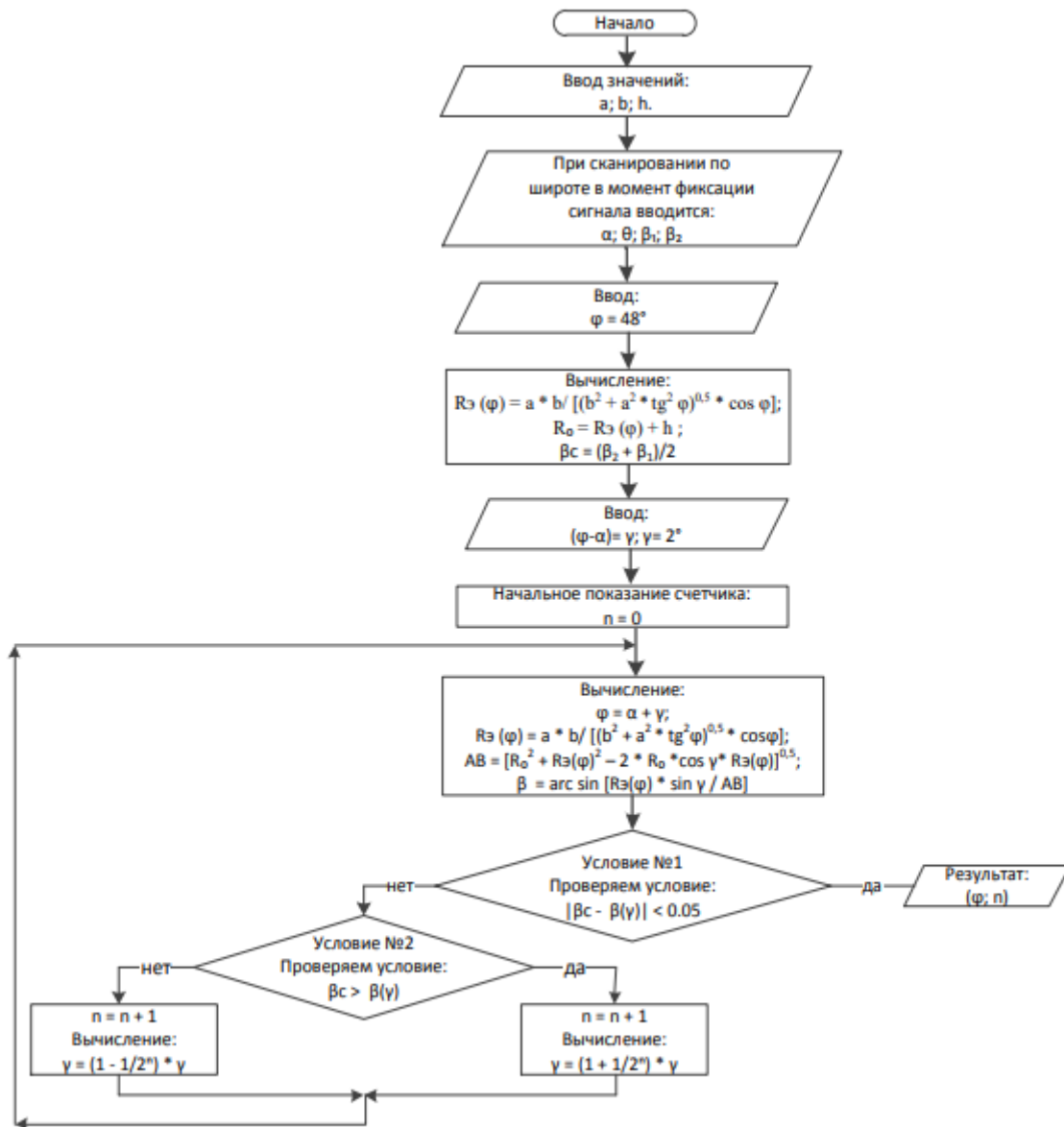
от ИРИ поступают в приемник и далее координаты местоположения ИРИ определяют пеленгами на ИРИ на основе анализа геометрических соотношений расстояний и углов между МКА, ИРИ и центром масс Земли.



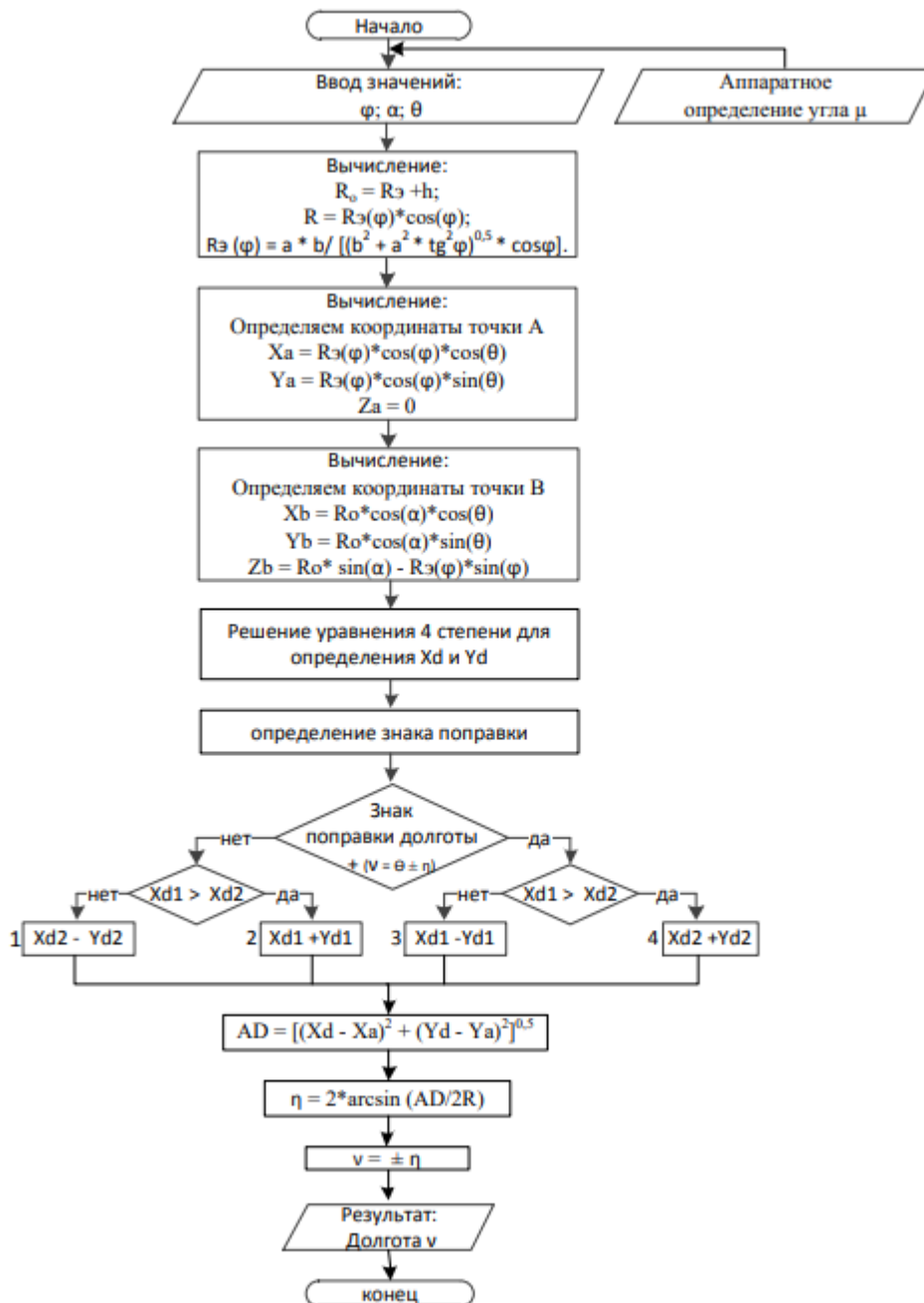
Фигура 1 – Определение координат наземного ИРИ на базе одного МКА



Фигура 2 – Структурная схема бортового оборудования космического сегмента системы спутникового радиомониторинга на базе одного низкоорбитального МКА



Фигура 3 – Блок-схема алгоритма определения широты ИРИ



Фигура 4 – Блок-схема алгоритма определения долготы ИРИ