



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 17671

(13) C2

(51) 6 G01S17/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) НАЗЕМНИЙ ВИМІРЮВАЧ КУТОВИХ КООРДИНАТ ЦІЛІ

1

2

(21) 97031172

(22) 17.03.1997

(24) 15.03.2002

(46) 15.03.2002, Бюл. № 3, 2002 р.

(72) Жуков Сергій Анатолійович

(73) Київський університет імені Тараса Шевченка

(56) 1. Справочник по радиолокации. Под ред. М.Сколника. Пер. с англ. Под общей ред. К.Н.Трофимова Т.4. Радиолокационные станции и системы. Под ред. М.М.Вейсбейна. - М.: Сов. Радио, 1978.

2. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения). В.В.Васин, О.В.Власов и др. Под ред. В.В.Григорина-Рябова. - М.: Сов. Радио, 1970, с. 31, рис. 2 14 (прототип).

3. Аренберг А.Г. Распространение дециметровых и сантиметровых волн - М.: Сов. Радио, 1957

(57) Наземный измеритель угловых координат цели, содержащий передатчик непрерывного синусоидального сигнала, антенную систему состоящую из передающей антенны и приемных антенн, двух приемников и фазометра, отличающийся тем, что антенная система выполнена в виде двух ярусов, в нижнем ярусе размещены передающая антенна и две приемных, а в верхнем ярусе - две другие приемные антенны, приемные антенны расположены симметрично относительно передающей антенны, а расстояние между приемными антеннами в нижнем ярусе вдвое больше, чем в верхнем, все антенны одинаковы и имеют симметричные диаграммы направленности, приемные антенны нижнего яруса связаны с первым устройством вычитания, а антенны верхнего яруса - со вторым устройством вычитания сигналов этих антенн, выходы устройств вычитания связаны соответственно с первым и вторым приемниками, выходы которых связаны с фазометром, выход фазометра и выходы приемников свя-

заны также с вычислителем угла места цели θ из уравнения

$$\frac{2\pi d_g}{\lambda} \sin \theta + \arg \left\{ 1 + K_s R_s \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right] \right\} - \\ - \arg \left\{ 1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right) \right\} - \Delta \varphi = 0$$

и азимутального угла цели β по соотношению

$$\beta = \arcsin \left[\frac{\lambda}{2\pi d_g \cos \theta} \arccos \frac{U_1 \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right) \right]}{2U_2 \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right) \right]} \right]$$

где θ - угол места цели, β - азимутальный угол цели относительно оси антенны, λ - длина волны, h - высота подъема нижнего яруса антенной системы над землей, d_g - расстояние между ярусами по высоте, d_s - горизонтальное расстояние между соседними антеннами, $\Delta \varphi$ - сдвиг фаз выходных напряжений второго и первого приемников, U_1, U_2 - амплитуды выходных напряжений первого и второго приемников, R_s - коэффициент отражения радиоволн вертикальной поляризации от земли, равный

$$R_s = \frac{(\varepsilon - j60\lambda\sigma) \sin \theta - \sqrt{\varepsilon - j60\lambda\sigma - \cos^2 \theta}}{(\varepsilon - j60\lambda\sigma) \sin \theta + \sqrt{\varepsilon - j60\lambda\sigma - \cos^2 \theta}}$$

 ε, σ - относительная диэлектрическая проницаемость и проводимость земли, K_s - коэффициент шероховатости земной поверхности, равный

$$K_s = \exp \left[-2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} h_n \sin \theta \right)^2 \right]$$

 h_n - средняя высота мелкомасштабных неровностей земной поверхности на площадке радиолокатора

Изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано в наземных радиолокаторах с непрерывным сигналом для изме-

рения угловых координат малоскоростной цели на фоне пассивных помех от земной поверхности.

Известен трехкоординатный радиолокатор с зеркальной антенной, качаемой в угломестной

(13) C2

(11) 17671

(19) UA

плоскости [1]. Аналог содержит передатчик радиопульсов на несущей частоте микроволнового диапазона, приемно-передающую зеркальную антенну с антенным переключателем, приемник и индикатор. Антенна имеет узкую диаграмму направленности, качается по углу места и вращается по азимуту. Угловые координаты цели определяют по положению антенны в момент приема максимального эхо-сигнала цели.

Недостатком аналога является то, что пассивные помехи от земли и отраженные от земной поверхности эхо-сигналы цели мешают обнаруживать малоскоростные цели на фоне таких помех и измерять угловые координаты цели.

Другой недостаток аналога состоит в том, что для измерения двух угловых координат цели требуется вращать громоздкую антенну по азимуту и качать по углу места.

В качестве прототипа выбран фазовый измеритель угловой координаты цели, содержащий антенную систему из передающей и двух приемных антенн связанных со своими приемниками, передатчика и фазометра для измерения сдвига фаз выходных напряжений приемников [2]. Принцип действия прототипа основан на измерении разности фаз сигналов, принятых разнесенными приемными антеннами.

Угловую координату цели θ определяют по результату измерения сдвига фаз $\Delta\varphi$ по соотношению

$$\theta = \arcsin \frac{\lambda \Delta\varphi}{2\pi d} \quad (1)$$

где θ - угол места цели;

λ - длина волны;

$\Delta\varphi$ - сдвиг фаз выходных напряжений приемников;

d - разнос приемных антенн по высоте.

Для измерения двух угловых координат цели прототип должен содержать пять антенн: передающую антенну; две разнесенных по высоте приемных антенны и две разнесенные по горизонтали в поперечном к трассе направлении другие приемные антенны. Кроме того, требуется четыре приемника, связанные с приемными антеннами, и два фазометра.

Недостатком прототипа является то, что пассивные помехи от земли и отраженные от земной поверхности эхо-сигналы цели мешают обнаруживать малоскоростную цель на фоне этих помех и измерять угловые координаты цели.

Другой недостаток прототипа состоит в том, что при использовании непрерывного синусоидального сигнала прямые сигналы передающей антенны попадают в приемные антенны и мешают работе радиолокатора. Для защиты от таких помех требуется обеспечить высокую развязку передающей и приемных антенн, что зачастую связано с большими техническими трудностями.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования наземного измерителя угловых координат цели, в котором за счет выполнения антенной системы из передающей и четырех приемных антенн, расположенных в двух ярусах, и включение в состав радиолокатора непрерывного излучения двух устройств вычитания сигналов приемных антенн обеспечивается фазовое изме-

рение двух угловых координат малоскоростной цели и подавление пассивных помех от земли и мешающих прямых сигналов передатчика.

Поставленная задача решается тем, что в наземном измерителе угловых координат цели, содержащем передатчик непрерывного синусоидального сигнала, антенную систему состоящую из передающей антенны и приемных антенн, два приемника и фазометр, согласно изобретению антенная система выполнена в виде двух ярусов, в нижнем ярусе размещены передающая антенна и две приемных, а в верхнем ярусе - две другие приемные антенны; приемные антенны расположены симметрично относительно передающей антенны, а расстояние между приемными антеннами в нижнем ярусе вдвое больше, чем в верхнем; все антенны одинаковы и имеют симметричные диаграммы направленности; приемные антенны нижнего яруса связаны с первым устройством вычитания, а антенны верхнего яруса - со вторым устройством вычитания сигналов этих антенн; выходы устройств вычитания связаны соответственно с первым и вторым приемниками, выходы которых связаны с фазометром; выход фазометра и выходы приемников связаны также с вычислителем угла места цели θ из уравнения

$$\frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta + \arg \left\{ 1 + K_s R_s \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right] \right\} - \arg \left\{ 1 + K_s R_s \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right] \right\} - \Delta\varphi = 0 \quad (2)$$

$$\beta = \arcsin \left[\frac{\lambda}{2\pi d_s \cos \theta} \arccos \left(\frac{U_1 \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right) \right]}{2U_2 \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right) \right]} \right) \right] \quad (3)$$

где θ - угол места цели;

β - азимутальный угол цели относительно оси антенны; λ - длина волны;

h - высота подъема нижнего яруса антенной системы над землей;

d_s - расстояние между ярусами по высоте;

d_s - горизонтальное расстояние между соседними антеннами;

$\Delta\varphi$ - сдвиг фаз выходных напряжений второго и первого приемников; U_1 , U_2 - амплитуды выходных напряжений первого и второго приемников; R_s - коэффициент отражения радиоволн вертикальной поляризации от земли, равный

$$R_s = \frac{(\varepsilon - j60\lambda\sigma) \sin \theta - \sqrt{\varepsilon - j60\lambda\sigma - \cos^2 \theta}}{(\varepsilon - j60\lambda\sigma) \sin \theta + \sqrt{\varepsilon - j60\lambda\sigma - \cos^2 \theta}} \quad (4)$$

где ε - относительная диэлектрическая проницаемость и проводимость земли;

K_s - коэффициент шероховатости земной поверхности, равный

$$K_s = \exp \left[-2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} h_n \sin \theta \right)^2 \right] \quad (5)$$

h_n - средняя высота мелкокомасштабных неровностей земной поверхности на площадке радиолокатора;

\arg - обозначение аргумента комплексного числа.

При этом полагается, что электрические параметры земли ϵ , σ и средняя высота h_n мелко-масштабных неровностей земной поверхности на площадке радиолокатора известны или заранее измерены каким-либо известным способом. Второй фазометр и два другие из четырех приемников прототипа в заявленном устройстве не используются.

Выполнение антенной системы радиолокатора непрерывного излучения и использование двух устройств вычитания сигналов приемных антенн обеспечивает возможность измерения двух угловых координат малоскоростной цели на фоне пассивных помех от земли и мешающих прямых сигналов передатчика, что улучшает помехозащищенность радиолокатора от таких помех.

Техническая сущность и принцип действия заявленного устройства поясняются чертежами. На фиг. 1 представлена упрощенная структурная схема 33. явленного устройства, а также условно показаны цель, поверхность земли и расположение антенн в двух ярусах антенной системы. На фиг. 2 представлен расчетный график зависимости сдвига фаз $\Delta\phi$ выходных напряжений приемников от угла места цели θ . На фиг. 3 представлен расчетный график зависимости отношения амплитуд U_1/U_2 выходных напряжений приемников от азимутального угла цели β .

В состав заявленного устройства на схеме фиг. 1 входят следующие основные элементы: крайние приемные антенны 1, 2 нижнего яруса антенной системы;

приемные антенны 3, 4 верхнего яруса антенной системы;

передающая антенна 5,

передатчик 6 непрерывного синусоидального сигнала,

первое устройство вычитания 7 сигналов приемных антенн 1, 2 нижнего яруса;

второе устройство вычитания 8 сигналов приемных антенн 3, 4 верхнего яруса;

первый 9 и второй 10 одинаковые приемники; фазометр 11 для измерения сдвига фаз $\Delta\phi$ выходных напряжений приемников 10, 9;

вычислитель 12 угла места θ и азимутального угла β цели по измеренному значению сдвига фаз $\Delta\phi$ и амплитудам U_1 , U_2 выходных напряжений приемников 9, 10 с помощью соотношений (2 - 5).

Принцип действия предложенного устройства поясняется следующим. Передатчик 6 формирует, а передающая антенна 5 излучает непрерывный синусоидальный зондирующий сигнал. Приемные антенны 1, 2, 3, 4 принимают эхо-сигналы малоскоростной цели, приходящими от цели прямыми и отраженными от земли радиоволнами, а также пассивные помехи от земли и прямые сигналы передатчика, которые попадают в приемные антенны прямо от передающей антенны и мешают работе.

Приближенно полагается, что средние статистические отражательные характеристики земной поверхности на площадке радиолокатора слева и справа от оси антенны примерно одинаковы. Ввиду симметрии антенной системы радиолокатора пассивные помехи от земли и прямые сигналы

передающей антенны 5 будут примерно одинаковы на выходах приемных антенн 1, 2. Это справедливо также для приемных антенн 3, 4 второго яруса антенной системы. При этом эхо-сигналы малоскоростной цели, азимут которой отличается от направления оси антенной системы, будут отличаться на выходах антенн 1, 2 и 3, 4 ввиду разности хода лучей радиоволн от цели до этих антенн.

Для подавления пассивных помех от земли и прямых сигналов передатчика в каналах приема предлагается вычесть сигналы приемных антенн 1, 2 и 3, 4 с помощью первого 7 и второго 8 устройств вычитания соответственно. При этом на выходах устройств вычитания 7, 8 пассивные помехи от земли и прямой сигнал передатчика будут подавлены, а эхо-сигнал цели, азимут которой отличается от направления оси антенной системы, не будет подавлен. Эхо-сигналы цели с выходов устройств вычитания 7, 8 усиливаются одинаковыми приемниками 9, 10 соответственно и измеряют сдвиг фаз $\Delta\phi$ и амплитуды U_1 , U_2 выходных напряжений этих приемников. Измеренные величины содержат информацию об угловых координатах цели θ , β .

Для доказательства этого ниже приводятся необходимые математические соотношения.

Напряжения эхо-сигнала цели U_1 , U_2 на выходах первого 9 и второго 10 приемников приближенно определяются соотношениями [3]

$$U_1 = A \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right) \right] \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} d_c \cos \theta \sin \beta \right), \quad (6)$$

$$U_2 = A \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right) \right] \exp \left(j \frac{2\pi}{\lambda} d_s \sin \theta \right) \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} d_c \cos \theta \sin \beta \right), \quad (7)$$

где U_1 , U_2 - комплексные амплитуды напряжений на выходах приемников;

A - комплексный коэффициент, зависящий от антенн, передатчика и цели;

R_s , K_s - коэффициенты отражения радиоволн от земли и шероховатости земной поверхности, определенные соотношениями (4), (5);

θ , β - угол места и азимутальный угол цели, а другие обозначения были пояснены выше.

Соотношения (6), (7) получены с учетом интерференции прямых и отраженных от земли радиоволн эхо-сигналов цели и геометрии антенной системы, показанной на фиг. 1. Из соотношений (6), (7) можно получить следующие выражения для сдвига фаз $\Delta\phi$ и отношения амплитуд U_1/U_2 выходных напряжений приемников 9, 10

$$\Delta\phi = \arg U_2 - \arg U_1 = \frac{2\pi d_s}{\lambda} \sin \theta + \arg \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right) \right] - \arg \left[1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right) \right], \quad (8)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = 2 \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} d_c \cos \theta \sin \beta \right) \frac{1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} h \sin \theta \right)}{1 + K_s R_s \exp \left(-j \frac{4\pi}{\lambda} (h + d_s) \sin \theta \right)} \quad (9)$$

Как видно из соотношений (8), (9), сдвиг фаз $\Delta\phi$ выходных напряжений приемников 9, 10 содержит информацию об угле места цели θ , а отношение амплитуд U_1/U_2 этих напряжений зависит от азимутального угла цели β . Для определения угла места цели θ предлагается использовать

трансцендентное уравнение (2), полученное из (8), а для расчета азимутального угла цели β - соотношения (3), полученное из (9).

Предложенное техническое решение позволяет однозначно определить угол места цели θ и модуль азимутального угла цели β . Это можно видеть из расчетных графиков на фиг. 2, 3. На фиг. 2 показана рассчитанная по формуле (8) зависимость сдвига фаз $\Delta\varphi$ выходных напряжений приемников 9, 10 от угла места цели θ , а на фиг. 3 показана рассчитанная по формуле (9) зависимость отношения амплитуд U_1/U_2 этих напряжений от модуля азимутального угла цели β относительно азимута оси антенны.

Расчетный пример на фиг. 2, 3 выполнен для следующих значений параметров радиолокатора:

длина волны $\lambda = 4$ см;

высота подъема над землей нижнего яруса антенной системы $h = 7$ м;

расстояние между ярусами антенной системы по высоте $d_B = 0,16$ м,

горизонтальное расстояние между соседними антеннами $d_G = 0,1$ м;

тип антенны - пирамидальный рупор;

размер апертуры антенны $L_G = 0,1$ м; $L_B = 0,16$ м;

поляризация радиоволн вертикальная;

угломестный рабочий сектор $\theta = 0,8^\circ - 7^\circ$;

азимутальный рабочий сектор $\beta = \pm 6^\circ$;

относительная диэлектрическая проницаемость земли $\epsilon = 20$;

проводимость почвы $\sigma = 0,01$ См/м,

средняя высота мелкомасштабных неровностей на площадке радиолокатора $h_n = 0,5$ м.

Предложенная конструкция антенной системы радиолокатора (симметричное расположение антенн, их идентичность, одинаковое горизонтальное направление осей антенн, симметрия диаграмм направленностей антенн и указанные расстояния между приемными антеннами по горизонтали) необходима для обеспечения одинакового значения пассивных помех от земли и прямых сигналов передатчика на выходах приемных антенн, а также обеспечения возможности измерения двух угловых координат цели.

Устройства вычитания 7, 8 необходимы для подавления пассивных помех от земли и прямых сигналов передатчика на входах приемников.

Таким образом, заявленное устройство может быть практически реализовано, а отмеченные выше отличительные признаки являются существенными и принципиально необходимы для реализации этого устройства.

В заявленном устройстве целесообразно использовать радиоволны вертикальной поляризации, так как такие радиоволны слабее отражаются от земли и отраженный сигнал меньше мешает работе радиолокатора. Следует отметить, что соотношение (3) позволяет определить величину азимутального угла цели β по модулю, но не позволяет определить, с какой стороны от оси ан-

тенны (справа или слева) находится цель. Для получения такой информации следует использовать другие средства.

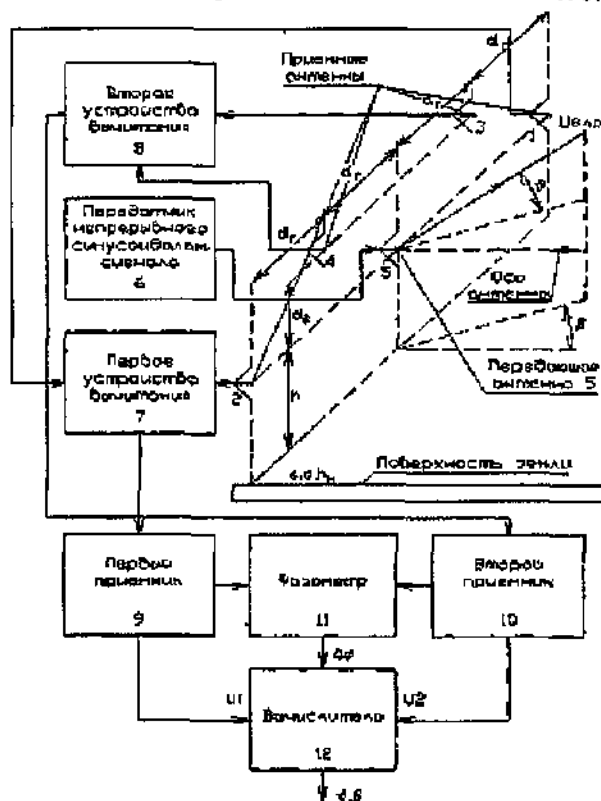
Основные элементы заявленного устройства на схеме фиг. 1 выполнены следующим образом. Передатчик 6 выполнен в виде генератора непрерывного синусоидального напряжения. Все антенны 1 - 5 одинаковы и имеют симметричные диаграммы направленности. Требуемое размещение антенн на плоской апертуре показано на фиг. 1. Расстояния d_B , d_G между антеннами выбирают так же, как в прототипе, из условия обеспечения однозначности фазового метода измерений, чтобы сдвиг фаз $\Delta\varphi$ в рабочем секторе угловых координат не превышал 2π .

Устройства вычитания 7, 8 могут быть выполнены путем противофазной коммутации фидерных линий приемных антенн. Приемники 9, 10 и фазометр 11 аналогичны соответствующим устройствам прототипа. Приемники 9, 10 должны быть одинаковы и иметь одинаковые амплитудные и фазовые характеристики, что можно обеспечить, так как сигнал узкополосный. Для ввода значений амплитуд U_1 , U_2 выходных напряжений приемников 9, 10 в вычислитель 12 можно использовать, например, аналого-цифровые преобразователи. Вычислитель 12 представляет микроЭВМ для вычисления угловых координат цели по соотношениям (2), (3).

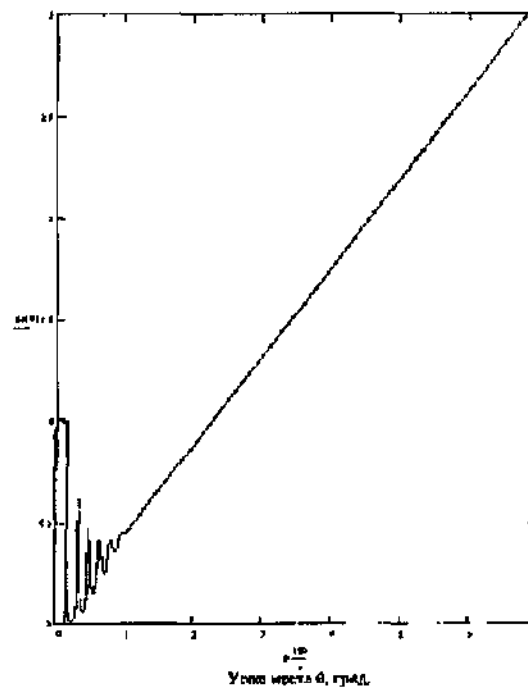
Динамика работы заявленного устройства осуществляется следующим образом. Передатчик 6 формирует, а передающая антенна 5 излучает непрерывный синусоидальный зондирующий сигнал. Приемные антенны 1, 2, 3, 4 принимают эхосигналы, приходящие от цели прямыми и отраженными от земли радиоволнами, пассивные помехи от земли, а также прямые сигналы передатчика. Симметрия антенной системы обеспечивает равенство напряжений пассивных помех и прямых сигналов передатчика на выходах приемных антенн 1, 2 и 3, 4, а эхосигналы цели на выходах этих антенн будут отличаться ввиду разности хода лучей от этих антенн до цели, азимут которой отличается от направления оси антенны. Устройства вычитания 7, 8 подавляют пассивные помехи от земли и прямые сигналы передатчика, но не подавляют эхосигналы цели. Сигналы с выходов устройств вычитания 7, 8 усиливают приемниками 9, 10 и измеряют амплитуды U_1 , U_2 с сдвигом фаз $\Delta\varphi$ выходных напряжений приемников. Вычислитель 12 вычисляет угловые координаты цели по результатам измерения U_1 , U_2 , $\Delta\varphi$ с помощью соотношений (2), (3).

Эффект Доплера в заявленном устройстве не используется, поэтому радиолокатор может измерять угловые координаты малоскоростной цели на фоне пассивных помех от земли.

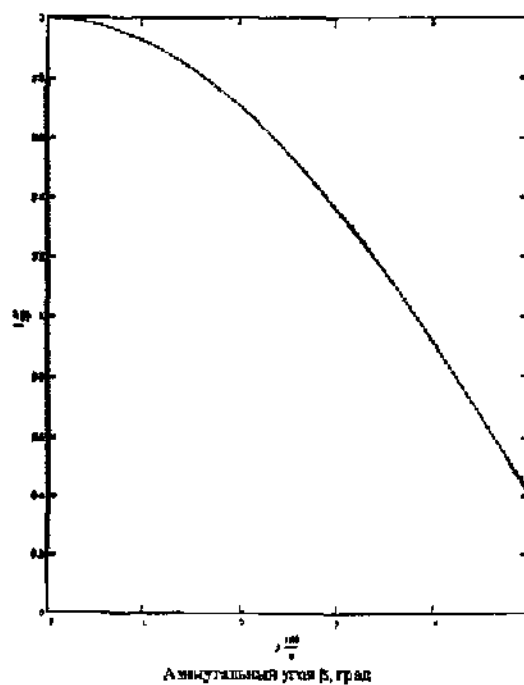
Таким образом, заявленное устройство устраняет отмеченные недостатки аналога и прототипа и обеспечивает решение поставленной задачи.



ФИГ 1



ФИГ 2



ФИГ 3

1. The first part of the document is a list of the names of the members of the committee.

2.

3.

4.