



УКРАЇНА

(19) UA (11) 13417 (13) A

(51) G 01 S 17/06

ДЕРЖАВНЕ  
ПАТЕНТНЕ  
ВІДОМСТВООПИС ДО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДбез проведення експертизи по суті  
на підставі Постанови Верховної Ради України  
№ 3769-XII від 23.XII 1993 р.Публікується  
в редакції заявника

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КУТА МІСЦЯ ЦІЛІ ДЛЯ НАЗЕМНОГО СЕКВЕНТНОГО РАДІОЛОКАТОРА

1

(21) 96114137

(22) 04.11.96

(24) 16.12.96

(46) 28.02.97. Бюл. № 1

(47) 16.12.96

(56) Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи. Пер. с англ. М., Радио и связь, 1985, с. 217-218, рис. 5.3.1 (прототип).

(72) Жуков Сергій Анатолійович, Бахвалов Борис Миколайович, Родін Олександр Валерійович

(73) Київський університет ім. Тараса Шевченка (UA)

(57) Способ измерения угла места цели для наземного секвентного радиолокатора, заключающийся в излучении зондирующего сигнала в виде видеоимпульса поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты и приеме эхо-сигналов воздушной цели, отличающийся тем, что вместе с целью облучают земную поверхность, измеряют время запаздывания  $t_3$  друг относительно друга отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала цели и длитель-

2

ность  $\tau$  отрицательного видеоимпульса этого сигнала а угол места цели  $\theta$  определяют по соотношению

$$\theta = \arcsin \frac{c \tau}{2h}$$

при  $\tau < \tau_0$  и по соотношению

$$\theta = \arcsin \frac{ct_3}{4h}$$

в иных случаях,

где  $\theta$  – угол места цели; $\tau_0$  – длительность излучаемого зондирующего видеоимпульса; $\tau$  – длительность отрицательного видеоимпульса эхо-сигнала цели; $t_3$  – время запаздывания друг относительно друга двух отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала цели; $h$  – высота подъема над землей приемопередающей антенны; $c$  – скорость света.

Изобретение относится к области радиолокации и может быть использовано в наземных секвентных радиолокаторах с несинусоидальным импульсным зондирующим сигналом в виде наносекундных видеоимпульсов поля радиоволн без несущей частоты для измерения угла места воздуш-

ной цели в секторе малых углов места над землей с помощью одной приемопередающей антенны.

Известен способ измерения угла места воздушной цели для радиолокатора микроволнового диапазона с качающейся по углу места антенной [1]. Этот способ-аналог за-

(19) UA (11) 13417 (13) A

ключается в излучении зондирующего сигнала в виде радиоимпульсов на несущей частоте микроволнового диапазона и приеме эхо-сигналов цели с помощью одной приемопередающей антенны, качаемой по углу места. При этом угол места цели определяют по угломестному положению антенны в момент приема эхо-сигнала цели, а антенна радиолокатора имеет узкую угломестную ширину диаграммы направленности.

Недостатком этого способа-аналога является то, что способ содержит сложную операцию качания антенны по углу места.

Другой недостаток состоит в том, что для реализации способа требуется антенна с узкой шириной диаграммы направленности по углу места, то есть требуется антенна с большим вертикальным размером.

Известен также фазовый способ измерения угла места цели с помощью двух разнесенных по вертикали антенн [2]. Этот способ содержит операцию приема сигналов цели с помощью двух разнесенных по вертикали антенн, а также операцию измерения сдвига фаз сигналов, принимаемых этими разнесенными антеннами.

Этот сдвиг фаз содержит информацию об угле места цели, а результат измерения сдвига фаз используют для определения угла места цели.

Недостатком этого способа является то, что для реализации способа требуется две разнесенные антенны, а одной антенны недостаточно.

Другой недостаток состоит в том, что этому фазовому способу присуща неоднозначность определения угла места в тех случаях, когда сдвиг фаз сигналов в разнесенных антеннах превысит  $2\pi$ .

В качестве прототипа выбран способ измерения угловой координаты (например, угла места цели) для секвентного радиолокатора [3]. Способ-прототип заключается в излучении зондирующего сигнала в виде видеоимпульса поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты с помощью приемопередающей антенны, приеме эхо-сигналов воздушной цели с помощью двух разнесенных по вертикали антенн, измерении времени запаздывания принятых двумя антеннами видеоимпульсов эхо-сигнала цели относительно зондирующего видеоимпульса, определении длительностей  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  от разнесенных антенн до цели по результатам измерения времени запаздывания и определении угла места цели  $\theta$  по соотношению

$$\theta = \arcsin \frac{\tau_1 - \tau_2}{D}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – угол места цели;

$\tau_1$ ,  $\tau_2$  – наклонные дальности от разнесенных антенн до цели;

$D$  – разнос антенн по вертикали.

Из двух разнесенных антенн, используемых для реализации этого способа, одна антенна является приемопередающей и переключается с передачи на прием с помощью антенного переключателя, а другая антенна работает только на прием.

Недостатком прототипа является то, что для реализации этого способа требуется две разнесенные по высоте антенны, а одной антенны недостаточно.

Другой недостаток прототипа состоит в том, что при измерениях углов места цели в секторе малых углов места над землей отраженные от земли эхо-сигналы цели затрудняют работу и мешают определять координаты цели.

В основу изобретения поставлена задача устранения отмеченных недостатков аналогов и прототипа и обеспечение возможности измерения угла места цели в секторе малых углов места над землей с помощью одной поднятой над землей приемопередающей антенны.

Поставленная задача решается тем, что в способе измерения угла места цели для наземного секвентного радиолокатора, заключающемся в излучении зондирующего сигнала в виде видеоимпульса поля радиоволн наносекундной длительности без несущей частоты и приеме эхо-сигналов воздушной цели, согласно изобретению, вместе с целью облучают земную поверхность, измеряют время запаздывания из друг относительно друга отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала цели и длительность  $\tau$  отрицательного видеоимпульса этого сигнала, а угол места цели  $\theta$  определяют по соотношению

$$\theta = \arcsin \frac{c\tau}{2h}, \quad (2)$$

при  $\tau < \tau_0$  и по соотношению

$$\theta = \arcsin \frac{ct_3}{4h}, \quad (3)$$

в иных случаях.

где  $\theta$  – угол места цели;

$\tau_0$  – длительность излучаемого зондирующего видеоимпульса;

$\tau$  – длительность отрицательного видеоимпульса эхо-сигнала цели;

$t_3$  – время запаздывания друг относительно друга двух отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала цели;

$h$  – высота подъема над землей приемопередающей антенны;

$c$  – скорость света.

При этом для реализации предлагаемого способа требуется только одна приемопередающая антенна, переключаемая с передачи на прием антенным переключателем, ось антенны направляют горизонтально, а качать антенну по углу места не требуется. Высота подъема антенны над землей  $h$  и длительность зондирующего видеоимпульса  $t_0$  полагаются известными, а полярность зондирующего видеоимпульса поля радиоволн условно принята положительной

Техническая сущность предложенного способа поясняется рисунками на фиг.1,2. На фиг.1 представлена упрощенная структурная схема секвентного радиолокатора, реализующего предложенный способ, а также условно показаны цель, поверхность земли, лучи прямых и отраженных от земли радиоволн и упрощенные эпюры зондирующего видеоимпульса и видеоимпульсов на выходе приемника. На фиг.2 представлены упрощенные эпюры зондирующего видеоимпульса и видеоимпульсов эхо-сигналов цели на выходе приемника при различных значениях угла места цели  $\theta$ .

В состав секвентного радиолокатора, реализующего предложенный способ измерения малых углов места цели, на схеме фиг.1 входят следующие основные элементы:

приемопередающая антенна 1;

антенный переключатель 2, закорачивающий вход приемника во время излучения зондирующего видеоимпульса;

передатчик 3 несинусоидальных импульсных зондирующих сигналов в виде наносекундных видеоимпульсов длительностью  $t_0$  без несущей частоты;

приемник 4 в виде широкополосного усилителя видеоимпульсов эхо-сигнала цели;

широкополосный диод 5 для отделения отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала с выхода приемника 4 от положительных видеоимпульсов для того, чтобы последние не мешали проводить измерения;

измеритель 6 времени запаздывания  $t_3$  друг относительно друга двух отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала цели;

измеритель 7 длительности отрицательного видеоимпульса эхо-сигнала;

вычислитель 8 для определения угла места цели  $\theta$  по соотношениям (2), (3)

Схема на фиг.1 представляет возможный пример технических средств для реализации предложенного способа

Ниже приводятся пояснения физической сущности предложенного способа и обосновываются его существенные отличительные признаки. Предложенный способ основан на использовании прямых и отраженных от земли радиоволн эхо-сигналов цели. Поэтому для реализации способа принципиально необходимо облучать земную поверхность. Это позволяет реализовать способ с помощью одной приемопередающей антенны с широкой диаграммой направленности, охватывающей весь сектор малых углов места.

Радиоволны от антенны до цели и обратно распространяются следующими четырьмя путями

1) антенна – цель – антенна;

2) антенна – цель – земля – антенна;

3) антенна – земля – цель – антенна;

4) антенна – земля – цель – земля – антенна

При каждом отражении от земли или от цели полярность видеоимпульса поля радиоволн изменяется на противоположную [3]. Самым коротким является путь 1), а видеоимпульс эхо-сигнала для этого пути будет иметь отрицательную полярность. Пути 2) и 3) одинаковы по длине, а видеоимпульсы эхо-сигнала для этих путей складываются в антенне и образуют один видеоимпульс положительной полярности почти удвоенной амплитуды по сравнению с видеоимпульсом пути 1). Время запаздывания видеоимпульса путей 2), 3) относительно видеоимпульса пути 1) равно

$$t_{31} = \frac{2h \sin \theta}{c}, \quad (4)$$

где  $h$  – высота подъема антенны над землей;

$\theta$  – угол места цели;

$c$  – скорость света.

Путь 4) самый длинный, а видеоимпульс эхо-сигнала цели для этого пути имеет отрицательную полярность и запаздывает относительно видеоимпульса пути 1) на время

$$t_3 = \frac{4h \sin \theta}{c}, \quad (5)$$

Соотношения (4), (5) получены из геометрии прямого и отраженного от земли лучей, показанных на фиг.1.

При больших значениях угла места цели  $\theta$  видеоимпульсы пути 1), путей 2), 3) и пути 4)

будут разделены по времени и одному зондирующему видеоимпульсу будут соответствовать три видеоимпульса эхо-сигнала цели на выходе приемника 4, два из которых отрицательны и один положительный, а длительность всех этих трех импульсов будет одинаковой и равна длительности  $t_0$  зондирующего видеоимпульса (см. фиг. 2д). В этом случае для определения угла места цели  $\theta$  предлагается измерить время запаздывания  $t_3$  двух отрицательных видеоимпульсов и определять угол места цели  $\theta$  по соотношению (3), которое получено из (5).

Когда цель находится под нулевым углом места  $\theta=0$ , положительные и отрицательные видеоимпульсы накладываются и подавляют друг друга, а обнаружение цели не возможно. При малых положительных (но отличных от нуля) углах места цели наложение отрицательных и положительных видеоимпульсов эхо-сигнала друг на друга будет немного смещенным из-за небольшой разности путей распространения и видеоимпульсы будут подавлять друг друга лишь частично. Предлагается использовать остатки от наложения этих видеоимпульсов для определения малых углов места цели. Эпюры эхо-сигналов на выходе приемника 4 при малых углах места цели и частичном наложении друг на друга положительных и отрицательных видеоимпульсов эхо-сигнала цели условно показаны на фиг. 2б, в, г. В этом случае длительность результирующего (после наложения) отрицательного видеоимпульса сигнала на выходе приемника 4 равна

$$\tau = \frac{2h \sin \theta}{c}, \quad (6)$$

и будет меньше длительности зондирующего видеоимпульса  $t_0$ . Соотношение (6) получено из геометрии лучей радиоволн на фиг. 1 и эпюр видеоимпульсов на фиг. 2 б, в, г. При  $\tau < t_0$  для определения угла места цели предлагается измерить длительность результирующего (после наложения) отрицательного видеоимпульса  $\tau$  на выходе приемника 4 и использовать соотношение (2), которое получено из (6).

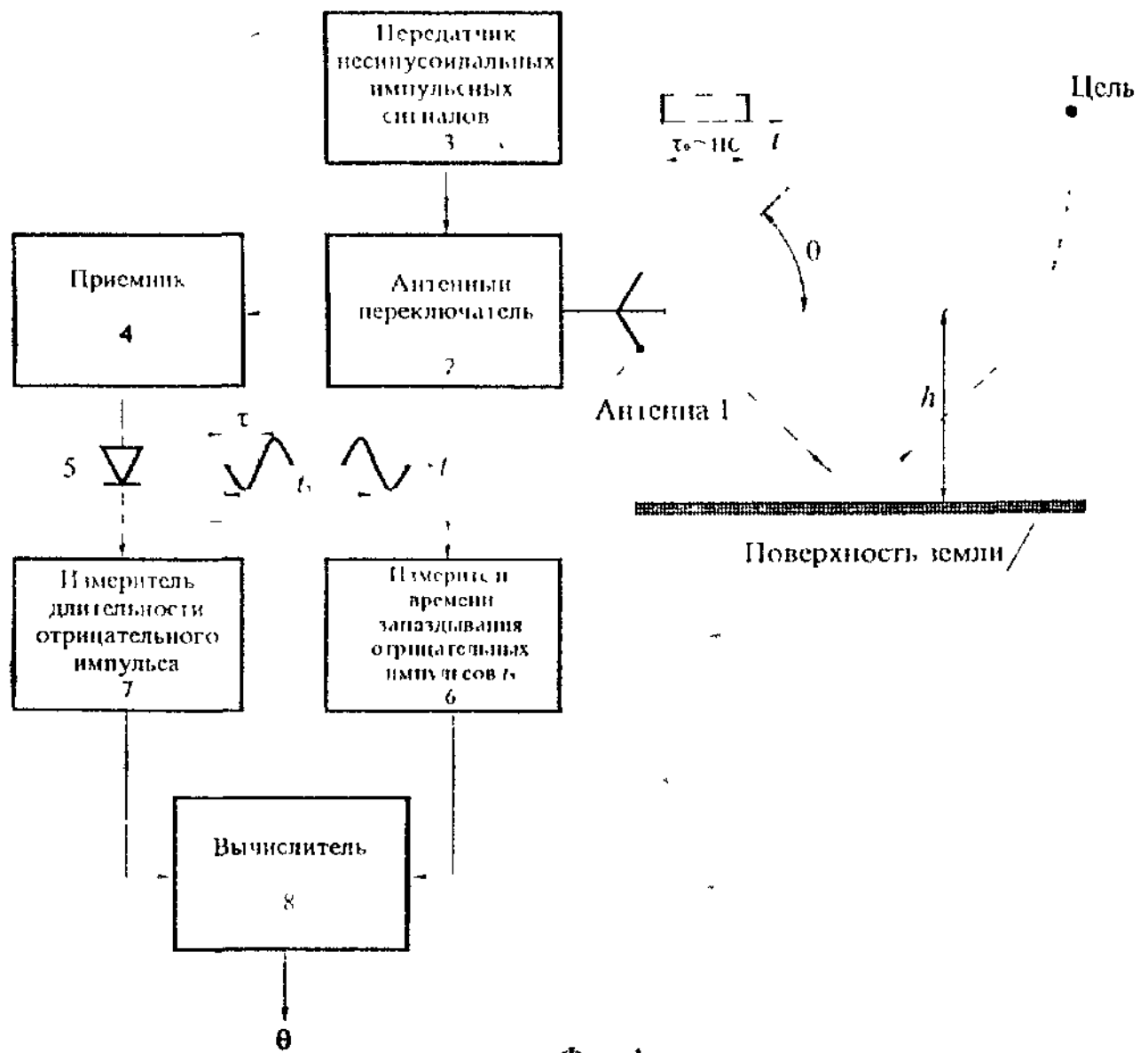
Таким образом, предложенный способ может быть практически реализован, обеспечивает достижение положительного эф-

фекта, устраняет отмеченные недостатки аналогов и прототипа, а отмеченные выше отличительные признаки являются существенными и принципиально необходимы для реализации способа.

Операции выполнения предложенного способа осуществляются следующим образом. Излучают зондирующий видеоимпульс поля радиоволн наносекундной длительности  $t_0$ . При этом облучают цель и земную поверхность с помощью одной приемопередающей антенны широкой диаграммой направленности. Одному зондирующему видеоимпульсу будет соответствовать обычно три видеоимпульса эхо-сигнала на выходе приемника 4. Отрицательные видеоимпульсы сигнала на выходе приемника отделяют от положительного видеоимпульса с помощью диода 5 для того, чтобы положительный видеоимпульс не мешал проводить дальнейшие измерения. Измеряют время запаздывания  $t_3$  друг относительно друга двух отрицательных видеоимпульсов с помощью измерителя 6. Измеряют длительность  $\tau$  любого из двух отрицательных видеоимпульсов с помощью измерителя 7 и сравнивают результат измерения с известной длительностью  $t_0$  зондирующего видеоимпульса. При  $\tau < t_0$  угол места цели определяют по соотношению (2), а в противном случае — по соотношению (3).

Достоинством предложенного способа является то, что он обеспечивает измерение угла места цели в секторе малых углов места над землей в случаях, когда прототип не обеспечивает решения задачи из-за мешающего воздействия отраженных от земли эхо-сигналов цели. Предложенный способ использует эти мешающие прототипу сигналы для достижения положительного эффекта. Для реализации предложенного способа требуется только одна приемопередающая антенна сравнительно малых размеров и с широкой диаграммой направленностью, а качать антенну по углу места не требуется.

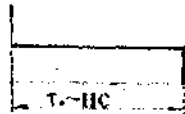
Таким образом, предложенный способ обеспечивает измерение угла места цели в секторе малых углов места над землей, положительный эффект и решение поставленной задачи и устраняет отмеченные недостатки аналогов и прототипа.



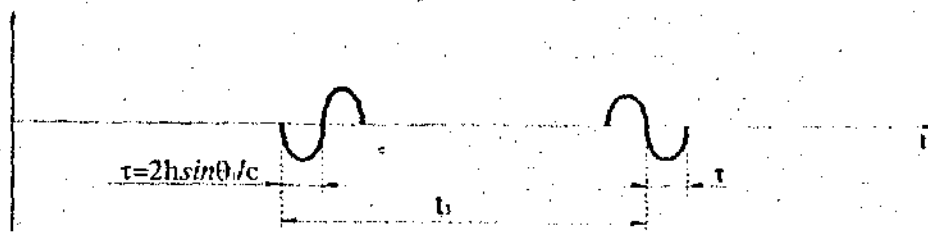
Фиг 1

Способ измерения угла места цели  
для наземного секвентного радиолокатора

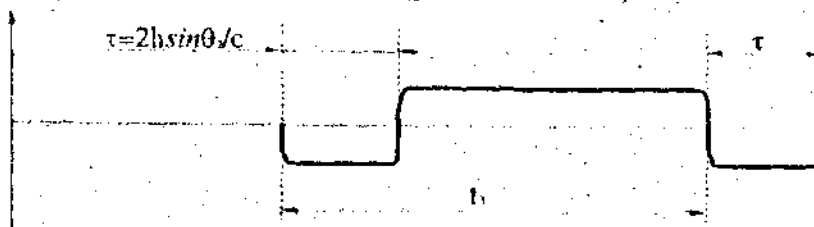
а) зондирующий видеопульс



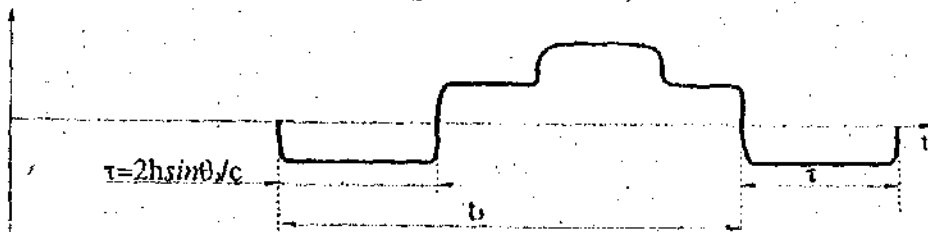
б) видеопульсы эхо-сигнала цели (угол места  $\theta_1$ )



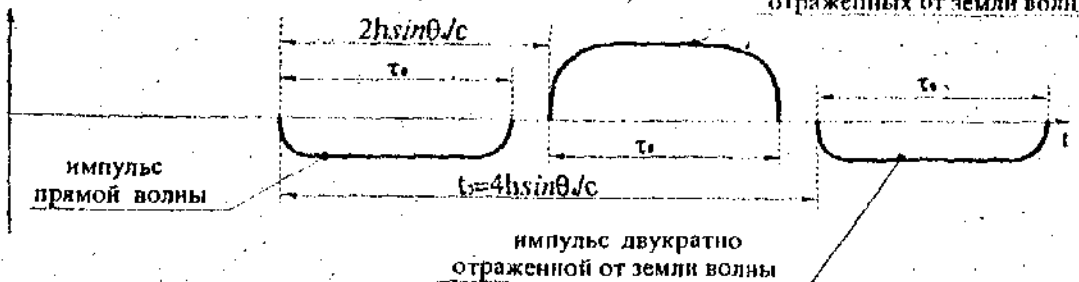
в) видеопульсы эхо-сигнала цели (угол места  $\theta_2 > \theta_1$ )



г) видеопульсы эхо-сигнала цели (угол места  $\theta_3 > \theta_2$ )



д) видеопульсы эхо-сигнала цели (угол места  $\theta_4 > \theta_3$ )



Фиг. 2

Упорядник

Техред М.Моргентал

Коректор О.Кравцова

Замовлення 4114

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,  
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул.Гагаріна, 101