

МАЛОГАБАРИТНОЕ ДВУХКООРДИНАТНОЕ УСТРОЙСТВО НАВЕДЕНИЯ ПУЧКА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

© 2004 г. П. И. Набокин, канд. физ.-мат. наук; А. П. Хюппенен, канд. физ.-мат. наук; А. П. Червошкин
НИИ прецизионного приборостроения, Москва

Предложен вариант построения малогабаритного двухкоординатного устройства наведения лазерного пучка с подвижной в большом диапазоне углов антенной и неподвижной приемопередающей частями. Проведен математический анализ соответствия углов ухода абонента положению пятна засветки от маяка абонента в плоскости координатного датчика. Создан макетный образец терминала лазерной линии связи, где в качестве координатного датчика использовалась ПЗС-матрица.

Коды OCIS: 060.1660.

Поступила в редакцию 14.10.2003.

Введение

Атмосферные оптические линии связи относятся к классу беспроводных линий и предназначены для поддержания связи между абонентами через свободное пространство (атмосферу). Линию связи составляют два терминала, направленные друг на друга.

В общем случае атмосферные линии связи аналогичны радиолиниям связи, но отличаются от них своими уникальными характеристиками: высокой скрытностью передачи информации и помехозащищенностью (обусловленными малой шириной диаграммы направленности и отсутствием боковых лепестков); абсолютной помехоустойчивостью к излучению длин волн радио-, СВЧ- и миллиметрового диапазонов и далее – вплоть до ближней ИК области спектра; высокой разведзащищенностью (линия связи обнаруживается только по рассеянному атмосферой излучению лазерного передатчика, что возможно лишь на малых расстояниях от линии – порядка десятков метров). Однако использование в линиях связи узких диаграмм направленности лазерного пучка приводит к усложнению, по сравнению с радиодиапазоном, системы наведения и сопровождения абонента связи.

Для стационарных объектов, угловые отклонения которых меньше полуширины диаграммы направленности приемопередатчика, связь устанавливается первоначальным наведением терминалов без последующего слежения за угловыми смещениями абонента.

Для объектов с угловыми отклонениями, большими полуширины диаграммы направленности, необходимо автоматическое сопровождение абонента, т. е. постоянное отслеживание угловых смещений абонента и разворот в данном направлении приемопередающей антенны терминала. Это может быть достигнуто либо поворотом всего приемопередатчика, либо поворотом его оптической оси от-

клоняющими элементами, расположенными внутри приемопередатчика терминала [1], либо поворотом наружной приемопередающей антенны.

Первый вариант представляется достаточно громоздким, так как возникает необходимость вращения всей приемопередающей части терминала.

Второй вариант интересен тем, что снаружи терминала нет подвижных компонентов, но диапазон углов слежения при этом невелик, особенно для электронного управления пучком (до 1° или немногим более для электро- или акустооптических способов отклонения [2]).

Вариант подвижной наружной антенны наиболее универсален, так как позволяет обслуживать большой диапазон угловых смещений абонента и при этом отсутствует необходимость вращения всей приемопередающей части терминала.

В данной работе рассмотрен один из вариантов построения терминала связи с подвижной оптической антенной.

Оптическая схема терминала линии связи с подвижной антенной

Оптическая схема терминала связи с подвижной относительно приемопередатчика антенной приведена на рис. 1.

Терминал работает с единой антенной на прием и на передачу, на двух длинах волн λ_1 и λ_2 . Маяк работает на длине волны λ_3 . Разделение длин волн приемника (λ_1) и передатчика (λ_2) необходимо для исключения приема сигнала своего передатчика. Маяк необходим для упрощения и ускорения процесса наведения на ответный терминал.

Направление на абонента задается системой двух плоских зеркал 31, 32, размещенных на общей платформе: по углу места – зеркалом 31, вращающимся вокруг горизонтальной оси, проходящей через цен-

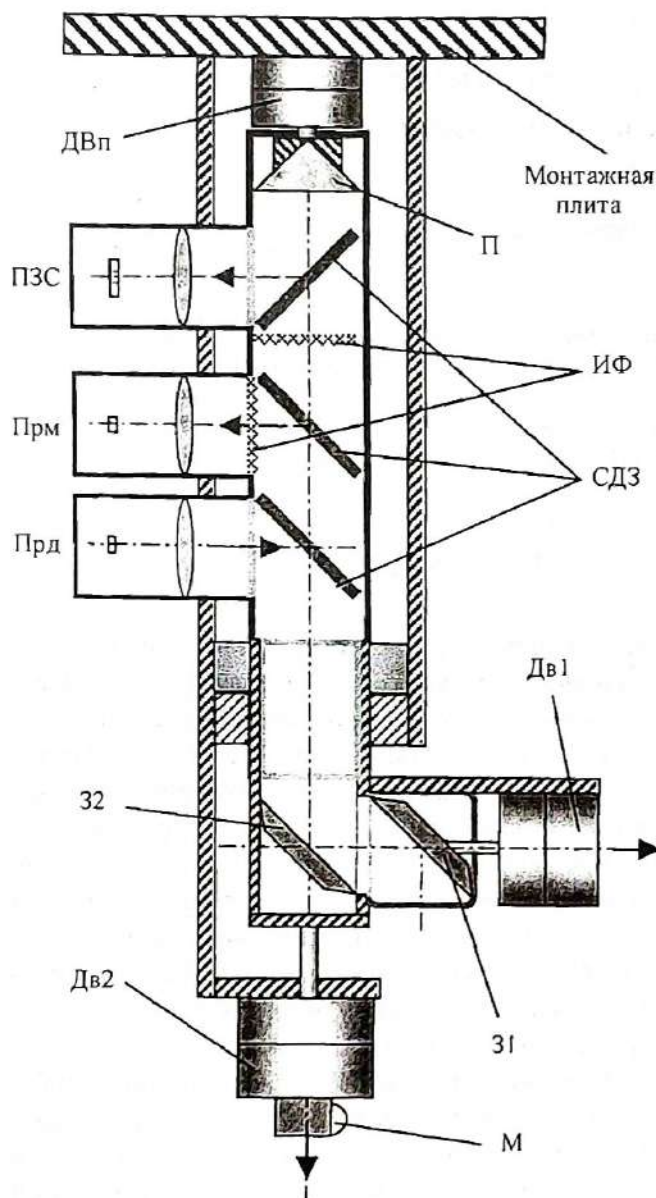


Рис. 1. Оптическая схема терминала линии связи. 31, 32 – плоские зеркала оптической антенны, Прд – передатчик с объективом, формирующим диаграмму направленности, Прм – приемник с объективом, формирующим поле зрения приемника, ПЗС – фоточувствительный координатный датчик (ПЗС-матрица) с формирующим объективом, СДЗ – светоделительные зеркала передатчика, приемника и ПЗС-матрицы, ИФ – интерференционные фильтры перед ПЗС-матрицей и приемником, П – прямоугольная призма, М – широкоугольный источник света – маяк, Дв1 – двигатель угломестного вращения оптической антенны, Дв2 – двигатель азимутального вращения оптической антенны, ДВп – двигатель вращения прямоугольной призмы.

тры зеркал 31, 32; по азимуту – системой зеркал 31, 32, вращающейся вокруг вертикальной оси. Оптическая антенна, построенная таким образом, позволяет работать в диапазонах углов вплоть до 360° по азимуту и по углу места. Разделение пучков трех длин волн осуществляется светоделительными зеркалами СДЗ и интерференционными фильтрами ИФ на длинах волн приемника и маяка. Светоделитель-

ное зеркало перед ПЗС-матрицей – полупрозрачное. Светоделительные зеркала перед передатчиком и приемником могут быть спектроделительными с максимумами отражения на длинах волн передатчика и приемника.

В качестве маяка с диаграммой направленности излучения в пределах углов полусферы вперед и назад может быть использован источник света на основе ламп накаливания либо светодиодов.

Координатным датчиком системы наведения и автосопровождения абонента является фоточувствительная ПЗС-матрица, размещенная в фокальной плоскости объектива. Положение пятна света маяка абонента, сфокусированного на ПЗС-матрице, соответствует угловому положению абонента относительно оптической оси приемной антенны.

С выхода ПЗС-матрицы сигналы поступают на схему электронной обработки и управления силовыми приводами двигателей вращения подвижной антенны и призмы и на дисплей визуального контроля положения абонента.

Принцип действия устройства наведения и сопровождения состоит в следующем. Абоненты 1 и 2 наводятся друг на друга посредством вращения оптической антенны, сканируя всю рабочую зону построочно. Как только свет маяка ответного абонента попадает в поле зрения ПЗС-матрицы, сканирующее устройство вращением соответствующего двигателя направляет пятно в центр поля координатного датчика. При угловом смещении абонента 1 относительно абонента 2 смещается пятно света маяка абонента 2 на ПЗС-матрице абонента 1, а также пятно света маяка абонента 1 на ПЗС-матрице абонента 2. Устройство сопровождения каждого из абонентов, вращая соответствующий угловому уходу двигатель, возвращает пятно маяка в центр ПЗС-матрицы. Таким образом отслеживаются уходы абонентов по азимуту и по углу места.

Терминал линии связи с системой наведения, построенный таким образом, может использовать диаграммы направленности приемопередатчика до десятков угловых минут (и даже меньше при применении высокоскоростной ПЗС-матрицы и коррекции по скорости и ускорению), поэтому он может применяться для поддержания связи на достаточно протяженных трассах, до 1 км и более.

Математическая модель сканирующего устройства

Введем правую декартову систему координат (рис. 2), связанную с осями базовой конструкции абонента 2 и направлением оси Ox на абонента 1 в начальный момент времени; ось Oy – горизонтальная ось; ось Oz – вертикальная ось.

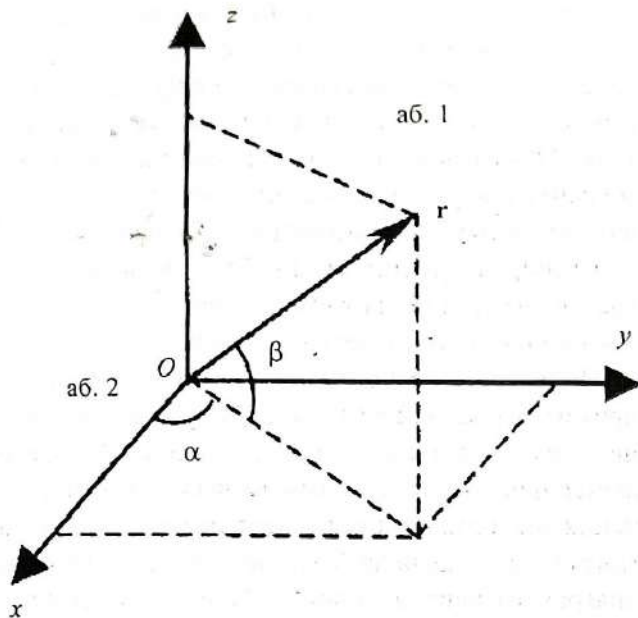


Рис. 2. Система координат.

Направление пучка света от маяка абонента 2 к абоненту 1 описывается его радиусом-вектором r , направляющие косинусы которого в системе координат рис. 2 соответственно равны $\cos\beta\cos\alpha$, $\cos\beta\sin\alpha$, $\sin\beta$ [3], где α , β – отклонения абонента 1 по азимутальному углу и по углу места.

Введем следующие обозначения: $x_0 = \cos\beta\cos\alpha$ – направляющий косинус r вдоль оси Ox ; $y_0 = \cos\beta\sin\alpha$ – направляющий косинус r вдоль оси Oy ; $z_0 = \sin\beta$ – направляющий косинус r вдоль оси Oz .

Рассмотрим сканирующее устройство, состоящее из азимутального и угломестного контура, его оптическая схема показана на рис. 3.

Подвижное зеркало 1 вращается вокруг оси Oy (отслеживает угломестные смещения абонента). Подвижное зеркало 2 закреплено на общей платформе с зеркалом 1 таким образом, что при вращении зеркала 2 вокруг оси Oz зеркало 1 также вращается вокруг этой оси. Система подвижных зеркал 1, 2 вращается вокруг оси Oz (отслеживает азимутальные смещения абонента). Подвижная призма 3 вращается вокруг оси Oz (корректирует поворот изображения при вращении зеркал 1 и 2). Неподвижное полупрозрачное зеркало 4 разделяет падающий и отраженный от призмы 3 пучки света. Плоскость 5 – плоскость регистрации смещений абонента (плоскость ПЗС-матрицы).

Рассмотрим, как будут меняться координаты абонента 1 на ПЗС-матрице абонента 2 при вращении подвижных оптических элементов сканирующего устройства абонента 2.

Моделирование смещения пучка света маяка абонента будем проводить для угловых смещений. Линейные смещения соответствующего пятна на координатном датчике можно получить из угловых

смещений, умноженных на фокусное расстояние формирующего объектива F .

1. Определим изменение направления пучка света от абонента 1 при повороте зеркал абонента 2: зеркала 1 вокруг оси Oy на угол θ и зеркала 1 и 2 вокруг оси Oz на угол φ (направления поворотов указаны стрелками).

После отражения падающего пучка от подвижных зеркал получим

$$\left. \begin{aligned} x_{33} &= -x_0 \sin\varphi \cos(\varphi + \theta) + y_0 \cos\varphi \cos(\varphi + \theta) + \\ &+ x_0 \cos\varphi \sin\theta \sin(\varphi + \theta) + y_0 \sin\varphi \sin\theta \sin(\varphi + \theta) - \\ &- z_0 \cos\theta \sin(\varphi + \theta), \\ y_{33} &= x_0 \sin\varphi \sin(\varphi + \theta) - y_0 \cos\varphi \sin(\varphi + \theta) + \\ &+ x_0 \cos\varphi \sin\theta \cos(\varphi + \theta) + \\ &+ y_0 \sin\varphi \sin\theta \cos(\varphi + \theta) - z_0 \cos\theta \cos(\varphi + \theta), \\ z_{33} &= x_0 \cos\theta \cos\varphi + y_0 \sin\theta \cos\varphi + z_0 \sin\theta, \end{aligned} \right\} (1)$$

где x_{33} , y_{33} , z_{33} – направляющие косинусы пучка света абонента 1 после отражения от подвижных зеркал 1 и 2.

2. Изменение направления пучка света абонента 1 при повороте призмы 3 вокруг оси Oz на угол Ω описывается следующей системой:

$$\left. \begin{aligned} x_{33п} &= -x_0 \sin\varphi \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) + \\ &+ y_0 \cos\varphi \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) + x_0 \cos\varphi \sin\theta \sin(\varphi + \\ &+ \theta - 2\Omega) + y_0 \sin\varphi \sin\theta \sin(\varphi + \theta - 2\Omega) - \\ &- z_0 \cos\theta \sin(\varphi + \theta - 2\Omega), \\ y_{33п} &= -x_0 \sin\varphi \sin(\varphi + \theta - 2\Omega) + y_0 \cos\varphi \sin(\varphi + \\ &+ \theta - 2\Omega) - x_0 \cos\varphi \sin\theta \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) - \\ &- y_0 \sin\varphi \sin\theta \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) + \\ &+ z_0 \cos\theta \cos(\varphi + \theta - 2\Omega), \\ z_{33п} &= -x_0 \cos\theta \cos\varphi - y_0 \sin\theta \cos\varphi - z_0 \sin\theta, \end{aligned} \right\} (2a)$$

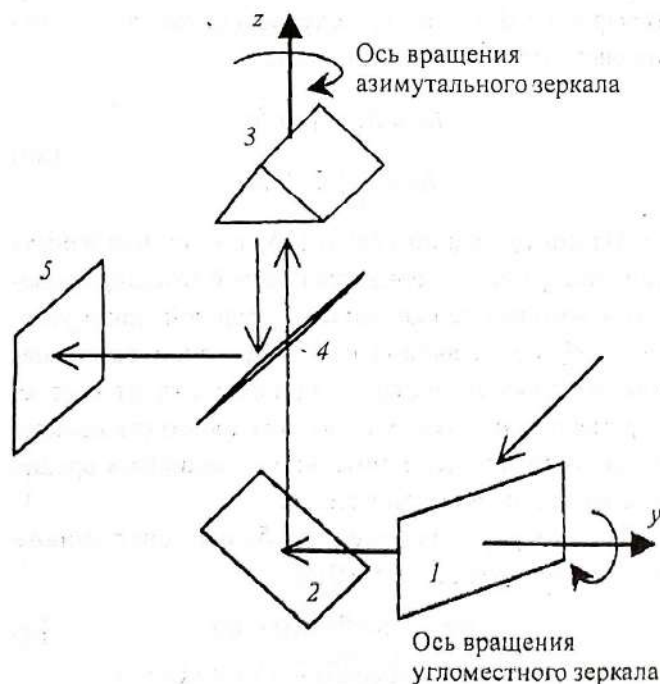


Рис. 3. Оптическая схема двухкоординатного сканирующего устройства (пояснения в тексте).

где $x_{33n}, y_{33n}, z_{33n}$ – соответствующие направляющие косинусы пучка света абонента после отражения от подвижных зеркал 1 и 2 и призмы 3.

После отражения от неподвижного полупрозрачного зеркала 4 получим

$$\left. \begin{aligned} x_{33n} &= -x_0 \sin \varphi \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) + y_0 \cos \varphi \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) + x_0 \cos \varphi \sin \theta \sin(\varphi + \theta - 2\Omega) + \\ &+ y_0 \sin \varphi \sin \theta \sin(\varphi + \theta - 2\Omega) - \\ &- z_0 \cos \theta \sin(\varphi + \theta - 2\Omega), \\ y_{33n} &= x_0 \cos \varphi \cos \varphi + y_0 \sin \varphi \cos \varphi + z_0 \sin \theta, \\ z_{33n} &= -x_0 \sin \varphi \sin(\varphi + \theta - 2\Omega) + y_0 \cos \varphi \sin(\varphi + \theta - 2\Omega) - \\ &- x_0 \cos \varphi \sin \theta \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) - \\ &- y_0 \sin \varphi \sin \theta \cos(\varphi + \theta - 2\Omega) + \\ &+ z_0 \cos \theta \cos(\varphi + \theta - 2\Omega), \end{aligned} \right\} (26)$$

где $x_{33n}, y_{33n}, z_{33n}$ – направляющие косинусы пучка света абонента после прохождения всех оптических элементов, изображенных на рис. 3.

Проанализируем систему (26). Пусть зеркала оптической антенны и призма неподвижны, т. е. $\varphi = 0$, $\theta = 0$, $\Omega = 0$ и абонент 1 смещается по азимуту на угол $\delta\alpha$. В этом случае для координат пятна света на ПЗС-матрице имеем

$$\begin{aligned} \delta y &= Fx_{33n} = F \sin \delta\alpha, \\ \delta z &= Fz_{33n} = 0, \end{aligned} \quad (3a)$$

где $\delta y, \delta z$ – линейные смещения пятна света на ПЗС-матрице, соответствующие азимутальному и угломестному уходу абонента, F – фокусное расстояние формирующего объектива.

Пусть призма и угломестное зеркало неподвижны, т. е. $\Omega = 0$, $\theta = 0$, угол поворота азимутального зеркала равен φ и абонент 1 смещается по азимуту $\alpha = \varphi + \delta\alpha$, $\beta = 0$. В этом случае для координат пятна света на ПЗС-матрице имеем

$$\begin{aligned} \delta y &= F \cos \varphi \sin \delta\alpha, \\ \delta z &= F \sin \varphi \sin \delta\alpha. \end{aligned} \quad (36)$$

Из соотношений (3a) и (36) видно, что азимутальное вращение зеркал оптической антенны приводит к возникновению как азимутальной, так и угломестной составляющих на ПЗС-матрице, соотношение которых меняется в зависимости от φ (т. е. переменные не разделяются). Это приводит к неопределенности для исполнительного механизма вращения зеркал оптической антенны.

Рассмотрим, как изменятся δy и δz при повороте призмы на угол $\Omega = (\varphi + \theta)/2$:

$$\delta y = F \cos \beta \sin(\alpha - \varphi), \quad (4)$$

$$\delta z = F(-\cos \beta \sin \theta \cos(\alpha - \varphi) + \sin \beta \cos \theta).$$

При $\alpha = \varphi$ получаем $\delta y = 0$, $\delta z = F \sin(\beta - \theta)$, при $\beta = \theta - \delta y = 0$, $\delta z = 0$.

Таким образом, видно, что с призмой, вращающейся по закону $\Omega = (\varphi + \theta)/2$, переменные разделяются, т. е. угловые смещения абонента 1 по азимуту соответствуют δy – смещению пятна света абонента 1 на ПЗС-матрице абонента 2, угловые смещения абонента 1 по углу места соответствуют δz – смещению пятна света на ПЗС-матрице абонента 2.

Сканирующая система, изображенная на рис. 2б, состоит из трех подвижных элементов: азимутального и угломестного зеркал и призмы.

Определим допустимые отклонения вращения призмы от закона $\Omega = (\varphi + \theta)/2$. Допустимая погрешность наведения любого из зеркал ($\Delta\varphi, \Delta\theta$) определяется шириной диаграммы направленности излучения информационного передатчика абонента. Погрешность должна быть не хуже полуширины диаграммы направленности. Призма необходима для корректировки поворотов изображения, при этом координаты смещения пятна света ответного абонента на ПЗС-матрице (δz и δy) пропорциональны соответствующим угломестному и азимутальному смещениям абонента.

Предположим, что призма вращается с запаздыванием $\Delta\Omega$, т. е. $\Omega = (\varphi + \theta)/2 - \Delta\Omega$. Из соотношений (26) получим выражения для координат азимутального и угломестного смещения абонента на ПЗС-матрице

$$\left. \begin{aligned} \delta y &= F(\sin(\alpha - \varphi) \cos \beta \cos 2\Delta\Omega + \\ &+ \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta \sin \theta \sin 2\Delta\Omega - \sin \beta \cos \theta \sin 2\Delta\Omega), \\ \delta z &= F(\sin(\alpha - \varphi) \cos \beta \sin 2\Delta\Omega - \cos(\alpha - \\ &- \varphi) \cos \beta \sin \theta \cos 2\Delta\Omega + \sin \beta \cos \theta \cos 2\Delta\Omega). \end{aligned} \right\} (5)$$

Пусть абонент смещается по азимуту, т. е. $\alpha \neq 0$, $\varphi \neq 0$, $\beta = 0$, $\theta = 0$, при полном разделении переменных должно быть $\delta y \neq 0$, $\delta z = 0$. Из соотношений (5) получаем $\delta z = F \sin(\alpha - \varphi) \sin 2\Delta\Omega$ – это отклонение от нулевого значения должно быть меньше погрешности наведения зеркал оптической антенны

$$\sin(\alpha - \varphi) \sin 2\Delta\Omega < \Delta\theta, \quad (6)$$

где $\Delta\theta$ – допустимая погрешность наведения угломестного зеркала, $\alpha - \varphi = \delta\alpha$ – максимально возможный уход абонента 1 за время экспозиции изображения ПЗС-матрицы, $\Delta\Omega$ – допустимое отклонение призмы.

Пусть абонент 1 движется с угловой скоростью $\omega = 30$ град/с. Тогда максимальный уход за время экспозиции ПЗС-матрицы $t = 20$ мс будет составлять $\delta\alpha = \omega t = 0,6^\circ$. Тогда из (6) для $\Delta\theta = 10'$ и $\delta\alpha = 0,6^\circ$ получим допустимую погрешность установки призмы $\Delta\Omega < 8,2^\circ$.

Все вышесказанное касалось корректировки поворотов изображения при помощи вращающейся призмы. Но можно корректировать повороты изображения и разделять переменные без использова-

ния призмы. Для этого потребуются датчики угла поворота каждого из зеркал и постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), в которое записывается информация о весовых множителях для координат на ПЗС-матрице δz и δy в зависимости от углов поворота зеркал антенны θ и φ .

Весовые множители можно определить из закона компенсации вращения изображения

$$\left. \begin{aligned} \delta y_p &= \delta y \cos(\theta + \varphi) - \delta z \sin(\theta + \varphi), \\ \delta z_p &= \delta y \sin(\theta + \varphi) + \delta z \cos(\theta + \varphi), \end{aligned} \right\}$$

где δy_p , δz_p – реальные угловые смещения абонента.

Аналогичным образом, как и в случае с призмой, можно определить угловой размер ячейки ПЗУ, т. е. сумму углов $\theta + \varphi$, по достижении которой будет происходить переход в следующую ячейку ПЗУ с соответствующими весовыми множителями.

Технические характеристики разработанного терминала и параметры отдельных элементов

Терминалы установлены на подвижных объектах и предназначены для поддержания связи между абонентами, меняющими свое местоположение в пространстве с течением времени. Диапазон углов слежения и автосопровождения $\pm 60^\circ$ по азимуту, $\pm 20^\circ$ по углу места с погрешностью $10'$. Скорость передачи информации $f = 16$ кбит/с.

Передачик – полупроводниковый лазер, средняя мощность излучения $P = 15$ мВт; длины волн максимумов излучения: терминал 1 – $\lambda_1 = 785$ нм, терминал 2 – $\lambda_2 = 830$ нм; ширина диаграммы направленности 1° по уровню 0,5 (выбор сделан из соображений возможного ухода абонента за время считывания информации с ПЗС-матрицы).

Приемник – кремниевый фотодиод ФД-256 с усилителем; пороговая чувствительность в отсутствие фона 4×10^{-13} Вт/Гц^{0,5}; чувствительность фотодиода $s_i = 0,5$ А/Вт; поле зрения приемника 1° .

Маяк – светодиод, мощность 300 мВт; длина волны максимума излучения $\lambda_3 = 870$ нм, расходимость 40° по уровню 0,5.

Координатный датчик – фоточувствительная кремниевая ПЗС-матрица; размеры матрицы: 3,9 (по вертикали) $\times$ 5 мм (по горизонтали); число рабочих пикселей: 288 – по вертикали, 592 – по горизонтали; угловое поле зрения $\approx 5^\circ$.

Спектроразделительные зеркала: ширина полосы отражения 30 нм по уровню 0,5; коэффициент отражения в полосе отражения более 80%; коэффициент отражения вне полосы отражения менее 10%.

Светоразделительное зеркало координатного датчика: коэффициент отражения 50%; коэффициент пропускания 50%.

Интерференционные фильтры: ширина полосы пропускания 15 нм по уровню 0,5; пропускание вне рабочей полосы менее 1%.

Параметры подвижного блока оптических антенн: азимутальное зеркало – диаметр 27 мм, угломестное зеркало – диаметр 27 мм, световой диаметр оптической антенны $d = 18$ мм; шаг вращения азимутального и угломестного зеркал – $6,7'$.

Сканирующее устройство системы наведения терминала позволяет построчно сканировать угловое пространство в режиме поиска со скоростями 112,5 град/с по азимуту и 38 град/с по углу места. Скорость в режиме сопровождения 30 град/с.

Для обоснования выбора данного светового диаметра оптической антенны проведем его оценку в зависимости от дальности связи.

Номинальная чувствительность фотоприемника при поле зрения 1° определяется мощностью фоновой засветки от наиболее мощного источника шума

$$P_{\text{ном10}} = 10 \sqrt{\frac{2e\Delta f}{s_i}} P_\Phi \text{ для отношения } \frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} = 10.$$

Здесь e – заряд электрона, Δf – полоса частот принимаемого сигнала, мощность фоновой засветки $P_\Phi = B_\lambda (\pi/4) d^2 \Delta\alpha \Delta\beta \Delta\lambda K_{\text{опт}}$, где B_λ – спектральная энергетическая яркость источника фона ($B_\lambda = 220$ Вт/м² ср мкм – для рассеянного снегом солнечного излучения); $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ – ширины диаграмм приемо-передатчика по азимуту и по углу места, $\Delta\lambda$ – ширина полосы пропускания интерференционного фильтра фотоприемника, $K_{\text{опт}}$ – суммарный коэффициент пропускания оптических элементов терминала (для схемы рис. 1 $K_{\text{опт}} \geq 0,5$), d – световой диаметр оптической антенны.

Мощность сигнала на входе фотоприемника

$$P_{\text{сигн}} = \frac{Pd^2}{L^2 \Delta\alpha \Delta\beta} K_{\text{опт}} \tau_{\text{атм}},$$

где P – мощность излучения передатчика, L – протяженность линии связи, $\tau_{\text{атм}}$ – пропускание атмосферы.

Приравняв $P_{\text{сигн}}$ и $P_{\text{ном10}}$, полагая $\tau_{\text{атм}} = 1/50$ (пропускание атмосферы при $S_m = L$, где S_m – метеорологическая дальность видимости), получим зависимость $d(L)$:

$$d = 500 L^2 \frac{(\Delta\alpha \Delta\beta)^{3/2}}{P} \sqrt{\frac{\pi e \Delta f B_\lambda \Delta\lambda}{2 s_i K_{\text{опт}}}}.$$

Подставив в полученное выражение значения параметров, приведенных выше, увидим, что даже при световом диаметре антенны $d = 5$ мм связь обеспечивается на дальностях L до 100 м.

Заключение

В настоящей работе предложена схема малогабаритного двухкоординатного устройства наведения оптических антенн подвижных абонентов друг на друга. Оптическая антенна состоит из пары плоских зеркал, расположенных под углом 45° к направлению падающего пучка света и вращающихся вокруг базовой оси приемопередатчика. Диапазон углов слежения за абонентом по азимуту и по углу места может достигать 360° . При такой компоновке все активные элементы терминала связи (передатчик, приемник, координатный датчик) неподвижны и расположены в базовой конструкции терминала.

Проведен математический анализ соответствия углов ухода абонента с линии связи положению пятна засветки от маяка абонента в плоскости координатного датчика, сигналы которого используются для коррекции направления антенны на абонента.

Рассмотрены два варианта реализации устройства слежения: 1) с вращающейся призмой, корректирующей поворот изображения при вращении антенны, 2) с внесенной в ПЗУ программной коррекцией поворота изображения с использованием датчиков углов вращения зеркал антенны.

Создан и опробован макетный образец терминала оптической связи: средняя мощность передатчика 15 мВт, ширина диаграммы направленности приемо-передающей антенны 1° , световой диаметр антенны 18 мм, скорость передачи информации 16 кбит/с, угловая скорость сопровождения абонента до 30 град/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов. радио, 1978. 400 с.
2. Мустель Э.Р., Парыгин В.Н. Модуляция и сканирование света. М.: Наука, 1970. 295 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1984.