

ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С КРУГОВОЙ ЗОНОЙ ОБЗОРА

© 2008 г. А. Я. Прилипка; Н. И. Павлов, доктор техн. наук

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем,
г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: contact@niiki.ru

Предложена схема построения многофункциональной оптико-локационной системы, которая позволяет объединить в одном приборе тепlopеленгатор и лазерный локаатор путем конструктивного совмещения оптической, механической и оптико-электронной частей разных функциональных узлов системы. Тепlopеленгатор способен работать в режиме как кругового, так и секторного обзора, а лазерный локаатор имеет общий с тепlopеленгатором оптический приемный канал. Основные оптико-механические узлы системы снабжены блоками управления, имеют программно-управляемые приводы и датчики текущего состояния, что позволяет программно перестраивать функции системы в рамках решаемых ею задач.

Коды OCIS: 220.4830, 280.3400, 120.1880.

Поступила в редакцию 02.10.2007.

Значительные достижения квантовой электроники позволяют создавать лазерные локационные системы поиска, обнаружения и сопровождения объектов с определением их пространственных координат и скорости. Интерес к таким средствам получения информации об окружающей обстановке обусловлен различными практическими применениями, включая навигацию, управление воздушным движением, исследование окружающей среды, а также системы предупреждения столкновений, контроля воздушного пространства в ближней зоне и др. [1, 2]. Часто лазерные локационные средства используются вместе с другими средствами поиска, в частности, тепlopеленгаторами, которые выдают азимутальные и угломестные координаты для наведения луча оптического локаатора на объекты. Объединение пассивных и активных каналов получения информации в одной оптико-локационной системе должно способствовать более успешному комплексному решению задачи оптической локации. В данной статье рассматривается одна из возможных схем построения многофункциональной оптико-локационной системы с круговой зоной обзора [3].

В рамках представленной ниже схемы предпринимается попытка объединить в одном приборе тепlopеленгатор и лазерный локаатор путем конструктивного совмещения оптической, механической и оптико-электронной частей разных функциональных узлов. В системе предполагается организация автоматической юстировки приемно-передающих каналов. Она создается гибкой (с программно-перестраиваемыми функциями) и способной решать совокупность таких задач, как

- круговой обзор, поиск и обнаружение объектов в пассивном режиме по радиационному контрасту;
- “допоиск” выделенных объектов по отраженному лазерному излучению непосредственно в процессе их пассивного поиска,
- циклическое сопровождение выделенных объектов с построением оптимальной траектории сканирования,
- определение местоположения и скоростей движущихся объектов,
- захват и точное сопровождение движущихся объектов, при котором оптическая ось системы совмещается с направлением на объект.

В силу указанных выше обстоятельств основные подвижные узлы создаваемой системы снабжаются блоками управления, имеют собственные программно-управляемые приводы и датчики текущего состояния, сигналы от которых используются для формирования команд управления приводами по заданной программе.

Традиционно каждая из указанных задач решается специализированной системой. Из-за процесса передачи и обработки информации разнотипными системами накапливаются ошибки в координатах объектов, увеличивается время, необходимое на комплексное решение задачи локации, а сам оптико-локационный комплекс, сформированный из специализированных систем, может иметь неудовлетворительные массогабаритные и экономические показатели.

Вариант структурной схемы многофункциональной оптико-локационной системы с круговой зоной обзора, способной решать задачи поиска, обнаружения и сопровождения объектов с определением

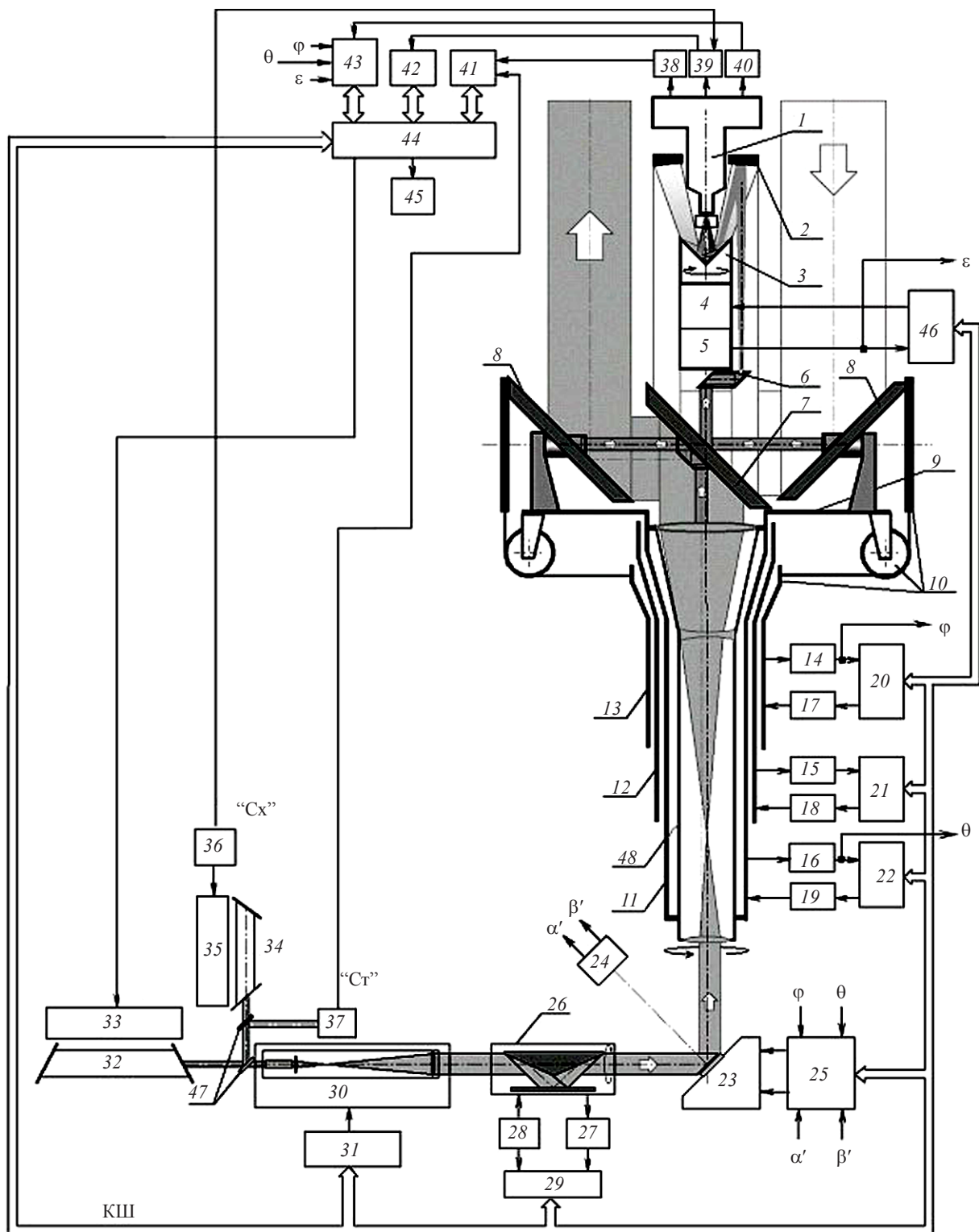


Рис. 1. Структурная схема многофункциональной оптико-локационной системы с круговой зоной обзора.

их пространственных координат и скорости, приведен на рис. 1. Оптико-механическая система построена по схеме симметричного “оптического шарнира”, который включает в себя двухстороннее зеркало 7 азимутального сканирования и два зеркала 8 угломестного наведения приемного и передающего каналов. Зеркало 7 размещено на азимутальной

платформе 9, вращающейся вокруг вертикальной оси. На азимутальной платформе смонтирована также осевая система, которая обеспечивает поворот зеркал 8 вокруг горизонтальной оси, проходящей через центры зеркал 7 и 8. Вертикальная осевая система включает коаксиальные первый 11, промежуточный 12 и второй 13 валы вращения. Каждый вал

оснащен собственным приводом, блоком управления вращением и датчиком углового положения. В случае первого вала вращения 11, который обеспечивает азимутальное сканирование, эти элементы на рис. 1 обозначены как 19, 22 и 16. Промежуточный вал 12 введен в систему для стабилизации моментов трения и обеспечения управляемости приводов первого и второго валов вращения во всем диапазоне скоростей, включая скорости вблизи нуля. Вращение второго вала 13 обеспечивает сканирование по углу места, при этом передача движения к зеркалам 8 угломестного сканирования осуществляется посредством шкивов и струнно-ленточных передач 10. Траекторное задание для привода 17 может изменять вектор угловой скорости вращения второго вала 13 так, что он может отличаться от вектора угловой скорости вращения первого вала 11 как по величине, так и по направлению. Вектор угловой скорости синхронного вращения зеркал 8 угломестного наведения приемного и передающего каналов относительно горизонтальной оси определяется разностью векторов угловых скоростей вращения первого и второго валов вертикальной осевой системы. При постоянной разности векторов скоростей первого и второго валов вращения формируется спиральная развертка контролируемой зоны обзора. Возврат в исходную точку начала сканирования осуществляется изменением знака разности векторов скоростей вращения первого 11 и второго 13 вала.

Левая сторона оптического шарнира обеспечивает наведение на объект зондирующего лазерного излучения, источником которого в созданном экспериментальном образце оптико-локационной системы является частотно-импульсный CO₂-лазер 32. Передающий канал, кроме зондирующего лазера, включает “пилотный” лазер 34, ось диаграммы направленности которого совмещена с осью пучка зондирующего излучения; блок сменных телескопов 30, формирующий диаграммы направленности с различной расходимостью лазерного излучения; призму Дове 26, ориентирующую диаграмму направленности в требуемом положении при всех угловых положениях зеркал 7 и 8; двухкоординатный дефлектор лазерного излучения 23, выходной телескоп 48, левую поверхность двухстороннего зеркала 7 азимутального сканирования, левое зеркало 8 угломестного наведения. С помощью пилотного лазера формируется контрольный лазерный пучок, используемый для автоматической юстировки оптико-локационной системы. Дефлектор 23 служит для исправления ошибок оптико-механической системы и управления лазерным лучом в пределах поля зрения лазерного локатора.

Правая сторона оптического шарнира обеспечивает прием как собственного теплового излучения объектов, так и отраженного от них зондирующего лазерного излучения (на рис. 1 сечение зондирующего пучка лазерного излучения, отраженного от объектов, отдельно не выделено и расположено внутри сечения пучка теплового излучения). Излучение, принятое правым зеркалом 8, поступает после отражения от правой поверхности двухстороннего зеркала 7 на зеркально-линзовый объектив 2 приемного телескопа, затем на угловое зеркало 3, проходит через линзовый корректор и попадает на комбинированное фотоприемное устройство (ФПУ) 1. Угловое зеркало 3 выполнено с возможностью вращения вокруг оптической оси приемного телескопа (аналог подобной сканирующей системы приведен в известной монографии Дж. Ллойда [4]). На общей подложке комбинированного ФПУ смонтированы охлаждаемые линейки фоточувствительных элементов тепlopеленгатора и лазерного локатора. Указанные линейки расположены параллельно друг другу. Их центры лежат на некотором расстоянии друг от друга на горизонтальной (координатной) оси, которая совпадает с направлением сканирования по азимуту в режиме кругового поиска, а сами линейки направлены перпендикулярно горизонтальной оси.

Возможность автоматической юстировки приемно-передающих каналов обеспечивается реализацией специальной контрольной схемы, в которой используется излучение пилотного лазера 34. Схема работает следующим образом. Контрольный пучок излучения пилотного лазера 34 проходит оптический тракт активного канала, через прямоугольную призму с усеченной вершиной в центре зеркала 7 поступает последовательно на отражающую грань прямоугольной призмы, установленной на выходном зеркале 8, через полупрозрачные части на левой и правой поверхностях азимутального зеркала 7 на отражающую грань прямоугольной призмы, установленной на входном зеркале 8, и после отражения от полупрозрачной части правой поверхности зеркала 7 вводится через диафрагму, закрепленную на выходной грани призмы-ромба 6, в приемный телескоп. В фокальной плоскости приемного телескопа формируется распределение интенсивности контрольного пучка лазерного излучения, по которому определяются мгновенное положение оптической оси передающего канала и текущее значение ее углового рассогласования с оптической осью приемного канала. Для регистрации распределения интенсивности контрольного пучка лазерного излучения используются несколько фоточувствительных элементов тепlopеленгатора и лазерного локатора,

симметрично расположенные относительно центров соответствующих линеек. Смещение центра дифракционного пятна контрольного пучка лазерного излучения определяется датчиком отклонения оптической оси контрольного пучка 39, связанным с блоком вычисления направления оптической оси передающего канала 42. Рассчитанное в блоке 42 значение текущего углового рассогласования оптических осей передающего и приемного каналов транслируется через центральный блок управления 44 в блок управления 25 отражательным зеркалом дефлектора 23. С блоком управления 25 связан быстродействующий двухкоординатный датчик положения 24 отражательного зеркала дефлектора, который контролирует точность исполнения команд управления α' и β' . Перечисленные выше узлы, служащие для формирования контрольного пучка лазерного излучения, определения его параметров и последующей обработки, а также для формирования управляющих команд, составляют вместе устройство автоматической юстировки.

Зондирующий лазер 32 и комбинированное фотоприемное устройство 1 смонтированы на неподвижном основании. Для компенсации поворота изображения объектов в фокальной плоскости фотоприемного устройства, обусловленного вращением зеркал 7 и 8, в оптическую систему приемного телескопа встроено угловое зеркало компенсатора поворота 3, а в передающий канал введена вращающаяся вокруг оптической оси передающего канала призма Дове 26. Траекторные задания для привода 4 углового зеркала и привода 28 вращения призмы Дове таковы, что векторы скоростей этих приводов равны взятой с обратным знаком полусумме векторов скоростей вращения валов 11 и 13.

Другие блоки и обозначения на структурной схеме оптико-локационной системы, приведенные на рис. 1: 33 и 35 – блоки накачки зондирующего и пилотного лазеров соответственно, 36 – генератор-синхронизатор, 37 – опорно-контрольный фотоприемник, 40 – электронный блок теплопеленгатора, 43 – блок формирования теплового изображения контролируемой зоны, выделения и сопровождения объектов; 38 – аналого-цифровой преобразователь сигналов лазерного локатора, 41 – блок обработки сигналов лазерного локатора и выдачи данных по местоположению объектов, 45 – устройство отображения текущей информации; “Сх” – сигнал синхронизации, “Ст” – сигнал начала (старта) отсчета дальности, КШ – командно-информационная шина.

Многофункциональная оптико-локационная система работает следующим образом.

По команде от центрального блока управления (ЦБУ) 44 осуществляется циклическое сканирова-

ние верхней полусферы пространства с помощью отражательных зеркал 8 (правое) и 7. Для этого по командам от ЦБУ, транслируемым по командно-информационной шине в блоки управления 20, 21, 22, 29, 46, приводятся в действие соответствующие приводы 17, 18, 19, 4, 28 подвижных элементов системы. В процессе сканирования контролируемой зоны тепловое излучение объектов через зеркала 8 (правое) и 7 поступает на вход зеркально-линзового объектива 2, угловое зеркало компенсатора поворота изображения 3 и далее на комбинированное фотоприемное устройство 1. Кроме теплового излучения сканируемых фрагментов контролируемой зоны, на вход зеркально-линзового объектива 2 поступает излучение контрольного пучка пилотного лазера 34, запускаемого по командам от ЦБУ одновременно с моментом начала работы оптико-локационной системы. Для исключения влияния излучения пилотного лазера на работу каналов теплопеленгатора это излучение промодулировано с частотой выше верхней границы полосы частот каналов теплопеленгатора.

В процессе кругового поиска объектов выходные сигналы теплопеленгатора 40 поступают в блок формирования теплового изображения контролируемой зоны, выделения и сопровождения объектов 43 синхронно с данными θ и φ датчиков 16 и 14 углового положения валов вращения 11 и 13, а также показаний ϵ датчика 5 углового положения углового зеркала 3 компенсатора поворота изображения. Данные θ и φ несут информацию соответственно об азимутальном и угломестном положении вектора оптической оси приемного канала. При обнаружении возможного объекта блок 43 транслирует его угловые координаты $\theta_{об}$ и $\varphi_{об}$ в ЦБУ 44. ЦБУ формирует траекторию перехода привода 17 в состояние $\varphi = \varphi_{об}$ и в момент совпадения координат вектора оптической оси приемного канала θ , φ с координатами объекта $\theta_{об}$, $\varphi_{об}$ формируется, с требуемым упреждением во времени, импульс запуска зондирующего лазера 32. Величина упреждения определяется угловым сдвигом диаграмм направленности теплопеленгатора и лазерного локатора, текущей скоростью сканирования системой пространства по азимуту и аппаратным временем задержки формирования зондирующего импульса лазерного излучения. Опорно-контрольный фотоприемник 37 фиксирует момент генерации зондирующего импульса лазерного излучения и транслирует в блок 41 сигнал начала отсчета дальности.

Сформированный зондирующий пучок лазерного излучения последовательно проходит формирующий телескоп 30, призму Дове 26 (вращение которой осуществляется по командам от ЦБУ), отра-

жательное зеркало 23, выходной телескоп 48, левую отражательную поверхность зеркала 7, левое зеркало 8 угломестного наведения и направляется в расчетную точку местоположения возможного объекта. При наличии реального объекта отраженное лазерное излучение зондирующего пучка принимается правым зеркалом 8 и, отражаясь на правой отражающей поверхности зеркала 7, направляется в приемный телескоп, который фокусирует излучение на фоточувствительные элементы лазерного локатора, смонтированные на общей подложке комбинированного фотоприемного устройства 1. Далее протектированные сигналы излучения поступают на вход аналого-цифрового преобразователя 38 и транслируются затем в блок обработки сигналов и выдачи данных о местоположении объектов 41. Блок 41 вычисляет дальность до объекта, площадь его эффективной отражающей поверхности, угловую скорость и уточняет координаты объекта. Полученные результаты обработки сигналов лазерного локатора транслируются в центральный блок управления 44 и отображаются на мониторе 45.

На рис. 2 представлены диаграммы направленности тепловеленгатора и лазерного локатора в режиме циклического поиска: цифрами 1 и 2 обозначены мгновенные поля зрения тепловеленгатора и лазерного локатора соответственно, 3 и 4 – полосы пространства, просматриваемые соответственно тепловеленгатором и лазерным локатором; 5 и 5' – обнаруживаемые объекты, 6 и 7 – направления сканирования по азимуту и углу места.

В зависимости от действующей программы после активного “доиска” местоположения возможного объекта блок 44 может перейти в режим дальнейшего поиска объектов или в режим циклического

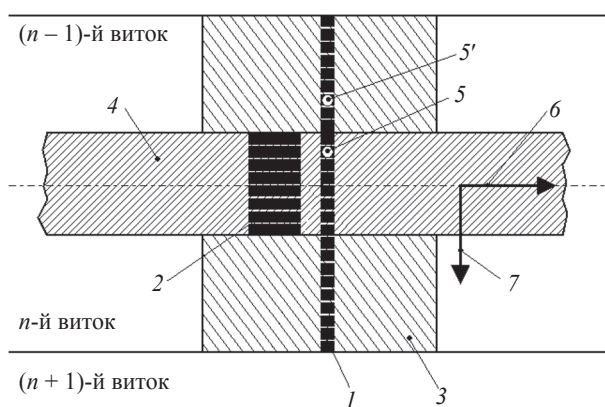


Рис. 2. Диаграммы направленности тепловеленгатора и лазерного локатора в режиме циклического поиска.

(с частотой азимутального сканирования) сопровождения обнаруженного объекта. В режиме сопровождения привод 19 вала вращения 11, обеспечивающего сканирование оптико-локационной системой пространства по азимуту, продолжает равномерное вращение, а траекторные задания для привода 17 вала вращения 13 формируются так, чтобы отслеживать объект по его угломестной координате. При совпадении угломестной и азимутальной координат вектора оптической оси с координатами объекта осуществляется запуск зондирующего лазера с учетом требуемого упреждения по времени.

Из режима циклического сопровождения система может перейти в режим продолжения поиска объектов или в режим точного сопровождения объектов с высокой частотой обновления информации.

Переход в режим точного сопровождения осуществляется управляемым торможением привода 19 вала вращения 11, обеспечивающего сканирование по азимуту, при траекторных заданиях для привода 17 вала вращения 13, формируемых так, чтобы выравнять угловые векторы скоростей вращения вала 13 и изменения угломестной координаты объекта (“удержание” угломестной координаты объекта). На последнем витке торможения ЦБУ 44 меняет траекторные задания приводам углового зеркала компенсатора поворота изображения 4 и призмы Дове 26, которые переходят в режим синхронного равномерного вращения. При равенстве векторов угловых скоростей оптической оси приемного канала системы и объекта траекторные задания для привода углового зеркала компенсатора поворота изображения 4 формируются так, чтобы осуществить радиальную развертку изображения контролируемой зоны. В этом случае тепловеленгатор кругового обзора преобразуется в тепловеленгатор секторного обзора со “слепым” пятном в центре обзора (“слепое” пятно возникает из-за того, что центры линеек фоточувствительных элементов тепловеленгатора и лазерного локатора смещены относительно друг друга). Зона “слепого пятна” (см. рис. 3) является зоной активного поиска объектов зондирующим пучком лазерного излучения, диаграмма направленности которого сканирует “слепое” пятно по заданной траектории, формируемой блоком управления устройством 25, отклоняющим пучок лазерного излучения. (На рис. 3 использованы следующие обозначения: 1 – центр “слепого” пятна, 2 – направление радиальной развертки, 3 – траектория сопровождения объекта в приемной плоскости при частотной лазерной локации.) Траекторные задания для приводов 19 и 17 валов вращения 11 и 13 формируются так, чтобы совместить координаты

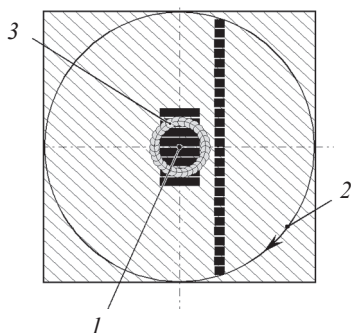


Рис. 3. Диаграммы направленности тепловизора и лазерного локалятора в режиме точного сопровождения.

вектора оптической оси приемного канала (центр “слепого” пятна) с угловыми координатами объекта. При срыве активного сопровождения, т. е. если объект находится вне “слепого” пятна, сигнал от объекта регистрируется тепловизором секторного обзора. В этом случае траекторные задания для приводов 19 и 17 формируются так, чтобы переместить центр “слепого” пятна и совместить координаты вектора оптической оси приемного канала с угловыми координатами объекта.

По окончании режима точного сопровождения объекта или при полной потере объекта оптико-локационная система может перейти в режим “допосиска” потерянного объекта в ближайших окрестностях, взять на точное сопровождение другой объект или вернуться в режим кругового обзора контролируемой зоны.

Реализуемость предложенной структурной схемы подтверждена созданным макетным образцом, основные технические характеристики которого представлены в таблице.

При всей сложности реализации предложенного технического решения представленная оптико-локационная система имеет главное достоинство — многофункциональность. Она способна вести поиск объектов в пассивном и активном режимах в круговой зоне, осуществлять сопровождение мно-

Характеристики (параметры) макетного образца

Характеристика (параметр)	Значение
Спектральный диапазон пассивного канала, мкм	8–14
Длина волны активного канала, мкм	10,6
Размер контролируемой зоны, град	360×60
Время обзора контролируемой зоны, с	8
Скорость азимутальной развертки, рад/с (оборот/с)	до 44 (7)
Шаг спиральной развертки, град	1
Число каналов тепловизора	26
Число каналов приема лазерного излучения	8
Диаметр входного зрачка, мм	125
Обнаружительная способность ФПУ в максимуме спектральной характеристики, Вт ⁻¹ см Гц ^{1/2}	4×10 ¹⁰
Погрешность измерения угловых координат, мрад	± 0,5
Расчетная погрешность измерения дальности, м	± 15
Расчетная дальность действия, км	15

гих объектов при отсутствии внешнего целеуказания, определять местоположение и скорости движущихся объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев И.Н., Протопопов В.В., Троицкий И.Н., Устинов Н.Д. Лазерная локация / Под ред. Устинова Н.Д. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.
2. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Основы импульсной лазерной локации / Под ред. Рождествина В.Н. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 512 с.
3. Прилипко А.Я., Павлов Н.И., Левченко В.Н. Многофункциональная оптико-локационная система // Патент России № 2292566. 2007.
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. 414 с.