

УДК 629.7.054.07

Обзорно-поисковые оптические пеленгаторы

Демидов Д.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы»*

Научный руководитель: Илюхин И.М., к.т.н., доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[*baryshnikov@bmstu.ru*](mailto:baryshnikov@bmstu.ru)

Введение

Обзорно-поисковые оптические пеленгаторы служат для автоматического поиска, обнаружения и измерения положения излучающего объекта в пределах определенного участка пространства, ограниченного заданным углом обзора. Информация об угловом положении пеленгуемого объекта в пределах поля обзора чаще всего отображается на экране электронного индикатора, а затем используется оператором для решения конкретных задач управления.

Первые оптико-электронные приборы обзорно-поискового типа появились в 50-х годах прошлого столетия. Они «копировали» работу радиолокаторов и представляли собой устройства с оптико-механическим способом просмотра пространства малым угловым полем в сочетании с одно площадочным приемником излучения (ПИ) и последующим отображением информации о положении цели на экране электронно-лучевой трубки (так называемые приборы 0-го и 1-го поколений). Совершенствование подобных приборов было направлено на некоторое упрощение реализуемого в них оптико-механического способа просмотра пространства и улучшение тактико-технических параметров. Это в первую очередь достигалось за счет использования в них много площадочных ПИ в виде охлаждаемых линеек, перекрывающих по высоте всю наблюдаемую прибором картину. Такие приборы появились в 70 г. прошлого столетия и их можно называть приборами 2-го поколения. Перспектива дальнейшего совершенствования оптических пеленгаторов обзорно-поискового типа (приборы третьего поколения) была связана с отказом от достаточно громоздкого и инерциального оптико-механического способа просмотра. Он заменяется на оптико-электронный способ, реализуемый с помощью матричного ПИ, чувствительная площадка которого перекрывает все поле обзора, и элементы которого могут опрашиваться согласно «гибко управляемому» алгоритму. Отображение информации на плоских матричных экранах еще

больше упрощает конструкцию и сокращает габариты прибора, перенося все функции по организации процесса просмотра элементов изображения наблюдаемой картины и ее визуализации на электронный тракт.

Задачей настоящей работы является проведение сравнительного анализа возможностей обзорно-поисковых пеленгаторов 4-х известных поколений по их основным тактико-техническим и технико-экономическим показателям.

Описание функциональных схем пеленгаторов 4-х поколений.

Функциональная схема приборов 0-го и 1-го поколений представлена на рис.1.

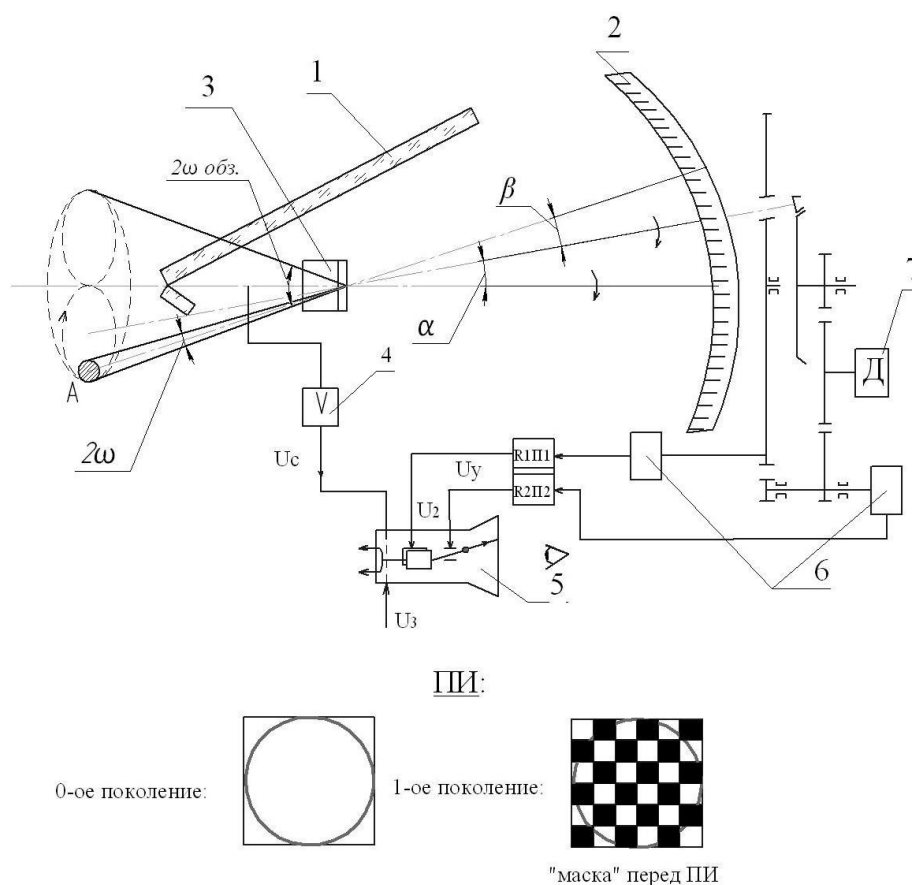


Рис. 1. Функциональная схема тепlopеленгатора нулевого и 1-го поколений:

1 – защитный обтекатель в виде 12-ти гранной пирамиды; 2 – зеркальный объектив; 3 – одноплощадочный приемник излучения (ПИ); 4 – усилительный тракт; 5 – видеоиндикатор (ЭЛТ); 6 – формирователи сигналов текущего положения оптической оси в пределах поля обзора (синусно-косинусные потенциометры); 7 – электродвигатель

Просмотр пространства предметов в пределах угла обзора порядка 20° осуществлялся за 1 секунду перемещением углового поля в 1° за счет сложного

циклоидального вращательного движения зеркального объектива. Он представлял собой внеосевую параболу, оптическая ось которой была смещена относительно оси симметрии на угол $\beta=10^\circ$, а последняя в свою очередь была смещена на угол $\alpha=10^\circ$ относительно продольной оси прибора. Такой относительно простой по исполнению пеленгатор обеспечивал обнаружение теплоизлучательной цели на дальности до 20 км. Однако он имел большие габариты и массу, а также обладал плохой помехозащищенностью по пространственному признаку.

Пространственная избирательность в приборах «1-го поколения», реализующего тот же принцип просмотра пространства, была повышена за счет установки перед одноплощадочным ПИ специальной маски-анализатора. Ячейки маски имели размер, равный размеру изображения цели, что обеспечивало модуляцию импульсов лучистого потока от цели ещё и на «несущей» частоте. Так как неоднородности фона такой маской пространственно «отфильтровывалась», то отношение сигнал/помеха на выходе избирательного усилительного тракта, настроенного на несущую частоту, повышалось. Это позволяло при прочих равных условиях уменьшить габариты и массу прибора.

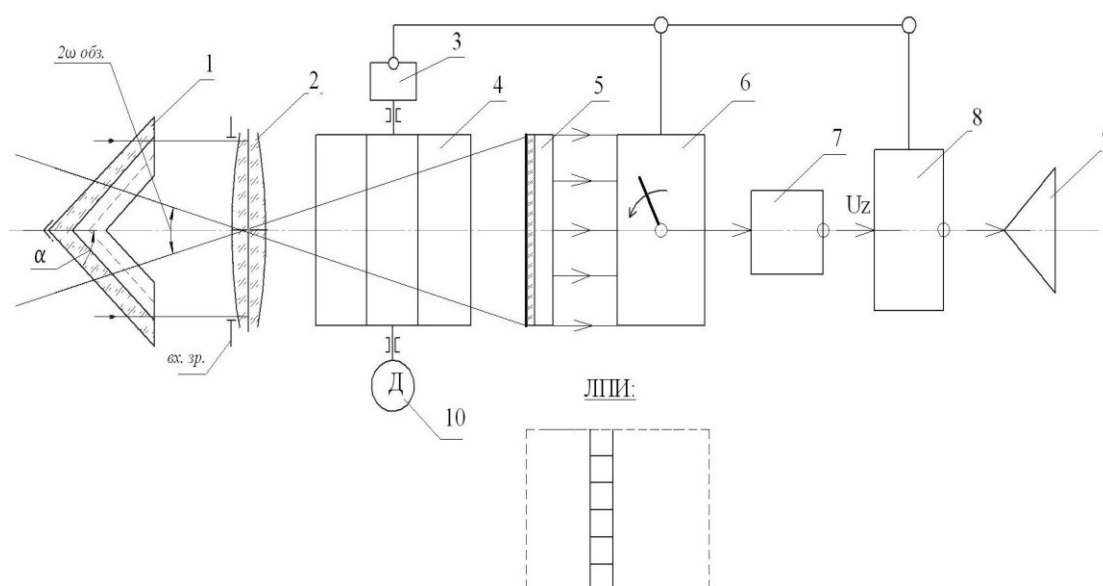


Рис. 2. Функциональная схема пеленгатора 2-го поколения:

1 – защитное окно; 2 – объектив; 3 – формирователь синхроимпульсов начала и конца «кадра»; 4 – призма кадровой развёртки; 5 – линейка ПИ; 6 – устройство опроса элементов линейки ПИ; 7 – усилительный тракт; 8 – формирователь строочно-кадрового видеосигнала; 9 – видеоиндикатор; 10 – электродвигатель

Существенно упростить конструкцию пеленгаторов 2-го поколения удалось путем использования в них линейки ПИ, перекрывающей собой по «высоте» всё прямоугольное

по форме поле обзора. Оптико-механическая развертка этого поля по «ширине» осуществлялась лишь одним движением сканирующего оптического элемента, например качанием плоского зеркала, вращением призмы или нескольких объектов. Функциональная схема прибора 2-го поколения представлена на рис. 2.

Чувствительные элементы линейки ПИ опрашивались электронным способом, что позволяло получить на экране видеоиндикатора «изображение» всего поля обзора в виде одновременно (параллельно) формируемых оптических строк. Так как элементы ПИ имели размер изображения цели, то в таком приборе обеспечивалась высокая избирательность по пространственному признаку.

Наконец, использование в оптических пеленгаторах 3-го поколения матричных ПИ исключила необходимость применения в них механических перемещений, что ещё больше упростило конструкцию прибора, увеличило его энергетическую чувствительность, сохранив высокую помехозащищённость по пространственному признаку. Функциональная схема такого прибора представлена на рис.3.

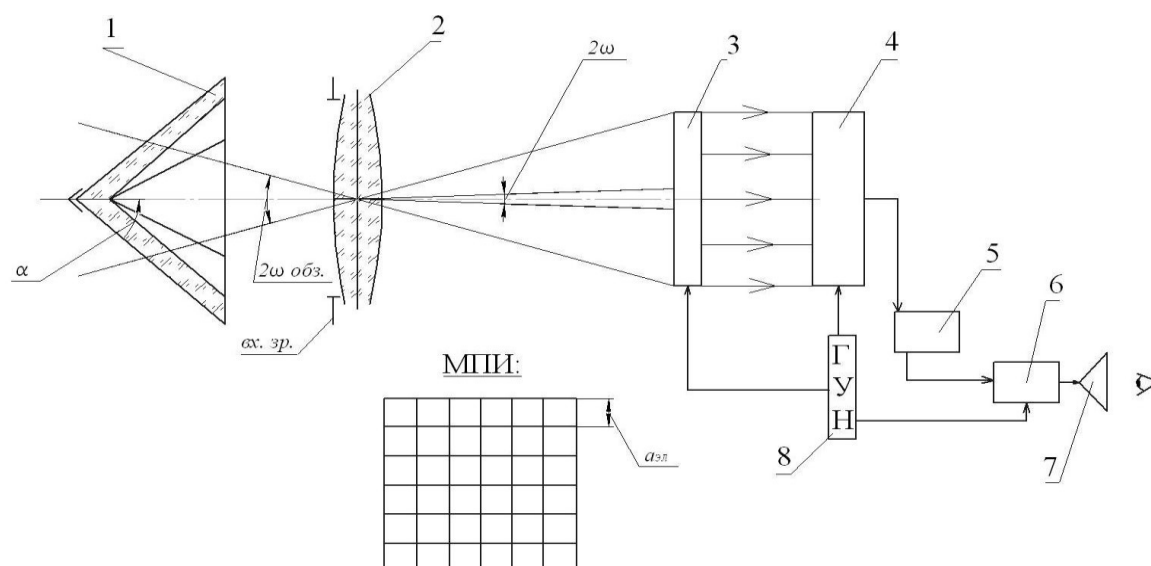


Рис. 3. Функциональная схема пеленгатора 3-го поколения:

1 – защитное окно; 2 – объектив; 3 – матричный ПИ (МПИ); 4 – устройство опроса элементов МПИ; 5 – усилительный тракт; 6 – формирователь построочно-кадрового видеосигнала; 7 – видеоиндикатор; 8 – генератор управляющих напряжений

Сравнительный анализ пеленгаторов 4-х поколений

Пеленгаторы каждого нового поколения улучшали свои тактико-технические показатели. В первую очередь увеличивались дальность обнаружения цели, быстродействие и точность измерения её положения, уменьшались габариты и масса.

Однако их стоимость возрастала вследствие использования более технологически сложных по изготовлению, а поэтому и более дорогих ПИ.

Для сравнения «возможностей» обзорно-поисковых оптических пеленгаторов 4-х вышепредставленных технологических поколений необходимо выбрать некий показатель, который бы позволял количественно оценить «эффективность» их использования для решения тех или иных задач управления.

Так как основным функциональным устройством в первую очередь определяющим новый технический уровень прибора (его поколение), является используемый в нём ПИ, то для сравнения пеленгаторов только по особенностям их схемотехнического использования целесообразно применить в приборах каждого поколения один и тот же тип материала чувствительного слоя ПИ. Например, одно и многоплощадочные фоторезисторы на основе соединения InSb, охлаждаемые до 196° К. Дальность действия прибора с учётом чувствительности ПИ определяет габариты, а, следовательно, и массу приборов. Поэтому сравнение 4-х поколений приборов нужно осуществлять применительно к ряду одинаковых исходных тактико-технических параметров: дальности их действия, величины поля обзора и типа ПИ.

Эффективность «новых» поколений оптических пеленгаторов удобно оценивать путём их сравнения с прибором «нижнего» технического уровня, каковым является прибор «нулевого» поколения. С учётом всего выше изложенного в качестве показателя эффективности обзорно-поисковых пеленгаторов каждого нового поколения было выбрано произведение их основных массогабаритных, информационных и экономических параметров, представленных в виде отношений с аналогичными параметрами прибора «нулевого» поколения:

$$ПЭ_{i0} = \left(\frac{D_0}{D_i} \right) \cdot \left(\frac{f'_0}{f'_i} \right) \cdot \left(\frac{\nu_0}{\nu_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu_0}{\mu_i} \right) \cdot \left(\frac{2w_0}{2w_i} \right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt[3]{n_{эл}}} \right) \quad (*)$$

Предлагаемый показатель эффективности прибора - $ПЭ_{i0}$ для прибора нулевого поколения принимается равным 1, а для каждого нового поколения он численно увеличивается. В выражение для расчета значения $ПЭ_{i0}$ входят: диаметр – D и фокусное расстояние - f' объектива прибора (они характеризуют массогабаритные параметры сравниваемых приборов), частота просмотра - ν поля обзора (она определяет быстродействие прибора), требуемое отношение сигнал/шум ПИ (μ) при наличии в угловом поле прибора световых помех (характеризует степень помехозащищенности прибора), угловой размер ($2w$) элемента разложения (определяет точность измерения

углового положения цели), и относительная стоимость используемого ПИ, выражаемая через число $n_{эл}$ чувствительных элементов.

Для определения входящих в выражение (*) параметров была разработана программа «Оптический пеленгатор», позволяющая рассчитать их значения на ПЭВМ применительно к каждому типу пеленгатора. Упрощенная блок-схема программы представлена на рис.4.

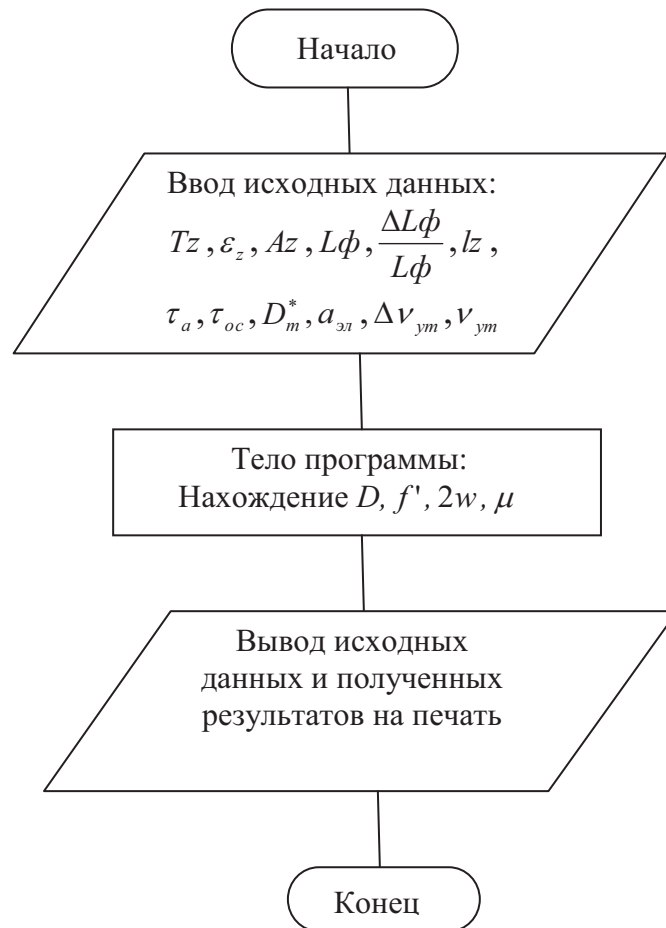


Рис. 4. Упрощенная блок схема программы «Оптический пеленгатор»

В качестве исходных данных в программу вводятся параметры цели (её температура - T_z , коэффициент излучения - ε_z и площадь излучаемой поверхности - A_z), средняя яркость фона - $L\phi$ и степень его относительной неоднородности - $\frac{\Delta L\phi}{L\phi}$, дальность до цели - l_z , интегральные коэффициенты пропускания слоя атмосферы - τ_a и оптической системы - τ_{oc} , удельная обнаружительная способность D_m^* и размеры чувствительного слоя ПИ или его элементов - $a_{эл}$, а также полоса пропускания - $\Delta\nu_{ym}$

усилительного тракта и её положение - ν_{ym} на шкале частот. После выполнения необходимых вычислений программа формирует выходной документ в виде распечатки введенных исходных данных и рассчитанных параметров исследуемого прибора. Вариант одного из таких документов прилагается (см. Приложение 1).

Сравниваемые параметры приборов 4-х поколений и значение показателя их эффективности приведены в Таблице.

Поколение прибора Параметр	0	1	2	3
Диаметр объектива – D [мм]	82,5	54.9	30.7	24.6
Фокусное расстояние - f' [мм]	82,5	54.9	51.3	54.9
Угловой размер элемента разложения - $2w$ [угл. мин.]	60	60	30	20
Частота просмотра поля обзора - ν [Гц]	1	1	10	20
Требуемое для надежного обнаружения отношение сигнал/шум ПИ - μ	12.85	11.27	7.3	6.03
Количество чувствительных элементов в ПИ - N	1	1	40	60
Показатель эффективности $ПЭ_{i0}$	1	4.5	24.2	39.4

Представленная в таблице количественная оценка эффективности приборов 4-х поколений показывает существенное увеличение её показателя, особенно у пеленгаторов 2-го и 3-го поколений.

Дальнейшее совершенствование обзорно-поисковых пеленгаторов возможно на базе создания ещё более чувствительных многоплощадочных ПИ в сочетании с цифровыми системами обработки формируемых ими сигналов.

Список литературы

1. Проектирование оптико-электронных приборов. Учебник. / Под ред. Ю. Г. Якушенкова. – М.:Логос, 2000-488 с.
2. Грязин Г.Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства. Л.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

3. Катыс Г.П. Автоматическое сканирование. М.: Машиностроение, 1969. – 518 с.
4. Дикарев В. Н., Илюхин И. М. Методика и примеры эскизного проектирования оптико-электронных приборов управления: учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 28с.

Приложение 1.

Пример распечатки выходного документа программы «Оптический пеленгатор»
для прибора «0-го» поколения.

Выбранные параметры пеленгатора и основные исходные данные:

- относительное отверстие оптической системы	- 1.00
- диаметр полевой диафрагмы	- 1.5 мм
- площадь чувствительного слоя приемника излучения	- 2.25E-4 см ²
- удельная обнаружительная способность слоя ПИ	- 2.0E+9 см.Гц ^{1/2} /Вт
- интегральная вольтовая чувствительность слоя ПИ	- 2.00E+3 В/Вт
- эффективная полоса пропускания усилительного тракта	- 0.267 кГц
- положение ее "середины" (макс. ЧХ) на шкале частот	- 0.267 кГц
- требуемое для надежной работы ОЭП отношение с/сл.пом.	- 6.00
- дальность надежного обнаружения цели	- 20.0 км
- эффективная площадь ее излучающей поверхности	- 2.0 м ²
- относит. яркость и характер излуч. единич.неодн.фона	- 0.01, случайный
- форма полевой диафрагмы-анализатора:	

ПД-АИ в виде круглого отверстия диаметром 1.5 мм, по которой перемещается изображение цели с частотой повторения 1 Гц.

Рассчитанные параметры пеленгатора:

- диаметр зрачка входа оптической системы	- 82.5 мм
- и ее фокусное расстояние	- 82.5 мм
- угловое поле по диаметру ПД	- 1.05 град.
- допустимый кружок рассеяния ОС в плоскости анализа	- 0.144 мм
- эффективный приборный пороговый поток приемника	- 0.522 нВт
- эффек.контр.луч.поток от цели (порог ее надеж.обнар.)	- 6.707 нВт
- эффективный лучистый поток постоянной "засветки" ПИ фоном	- 5.062 мкВт
- эффективный лучистый поток из-за "флюктуаций" изл.фона	- 0.987 нВт
- отношение с/ш ПИ на уровне надежного обнаружения цели	- 12.85
- с.к.з. собственных шумов приемника излучения	- 14.91 мкВ

- с.к.з. собственных шумов усилителя	- 1.49 мкВ
- уровень порога срабатыв. УПР, приведенный к входу УТ	- 95.81 мкВ
- ампл. сигнала надежного обнаружения цели на входе УТ	- 191.62 мкВ
- показатель спектральной избирательности прибора	- 9.43
- показатель пространственной избирательности прибора	- 1.0

Продолжение Приложения 1.

- интегральный показатель помехозащищенности прибора	- 0.469
параметры прибора, которые он имел бы при отсутствии переменной составляющей излучения фона:	
- диаметр зрачка входа оптической системы	- 56.5 мм
- требуемое отнош. с/ш ПИ для надежного обнаруж. цели	- 6.03.