

УДК 621.397: 621.384.3

Ю.Р. Кирпиченко

Некоторые особенности выбора входного объектива активно-импульсной телевизионной системы

Рассмотрены особенности выбора входного объектива, связанные с работой активно-импульсной телевизионной системы как в непрерывном, так и в активно-импульсном режиме.

Ключевые слова: ахроматизация, просветление, фокусное расстояние, глубина резкости, глубина регистрируемой зоны пространства.

Специфика построения объективов активно-импульсных телевизионных систем (АИ ТВС) обусловлена необходимостью их работы как в широком диапазоне спектра, определяемом границами спектральной чувствительности фотокатода электронно-оптического преобразователя (ЭОП) (пассивный режим), так и в узкой области спектра, соответствующей полосе излучения лазерного осветителя (АИ-режим) [1].

Требования к объективу при работе АИ ТВС в пассивном режиме практически те же, что и к объективам обычных пассивных приборов ночного видения на базе ЭОП. При формировании изображения объекта наблюдения объектив должен обеспечить минимальные потери отраженного от объекта наблюдения потока излучения и приемлемую разрешающую способность.

Рассмотрим специфические особенности построения объективов, связанные с просветлением и ахроматизацией объективов для АИ ТВС.

Необходимость ахроматизации объективов связана со стремлением минимизировать влияние хроматических аберраций на их разрешающую способность.

Различают хроматическую аберрацию положения и хроматическую аберрацию увеличения. Размер кружка рассеяния первой линейно возрастает с ростом относительного отверстия объектива, а второй – с увеличением расстояния светящейся точки от оси. Полностью устранить хроматические аберрации невозможно. Как правило, их влияние на разрешающую способность объектива минимизируется путем подбора конфигурации и материала линз, входящих в его состав для двух или трех длин волн. Такие объективы называются соответственно ахроматическими и апохроматическими.

Выбор длин волн, для которых осуществляется коррекция, определяется назначением объектива. Например, в объективах, используемых для визуальных наблюдений, совмещают фокусы красного и синего цветов (визуальная коррекция), а в фотографических объективах совмещают фокусы тех цветов, к которым наиболее чувствительны, например, глаз и фотографическая эмульсия (фотографическая коррекция).

В приборах ночного видения (ПНВ) объективы первоначально рассчитывались для рабочей длины волны, соответствующей максимуму спектральной чувствительности наиболее часто используемых многощелочных фотокатодов S-20 (S-25), а диапазон ахроматизации объектива охватывал всю рабочую область спектра этих фотокатодов. Если учесть, что контраст объектов наблюдения в ИК-области спектра увеличивается, а видимая область спектра может быть отсечена с помощью светофильтров, то область ахроматизации объектива соответственно может быть сужена до 700–900 нм, а расчетная длина волны может быть выбрана равной 800–900 нм [1].

Когда АИ ТВС работает в АИ-режиме, возможный диапазон ахроматизации может быть резко сокращен.

Как и ахроматизация, просветление объективов осуществляется на выделенном участке спектра. На этом участке спектра минимизируются потери, связанные с отражением.

Потери световой энергии вследствие отражения при преломлении, особенно в сложных системах, могут достигать больших величин (до 70÷80%) [2]. Поэтому при конструировании оптических систем большое внимание уделяется выбору материалов с малыми потерями и повышению качества изготовления элементов системы.

Отражение на границах раздела воздух–стекло приводит не только к уменьшению коэффициента пропускания, но и к появлению «паразитной» фоновой засветки, снижающей контраст изображения.

Эффективным способом снижения потерь, обусловленных отражением, является нанесение интерференционных покрытий на поверхности линз. Условие полного гашения отраженного света может быть выполнено лишь для лучей определенной длины волны и при определенных углах падения. Обычно длину волны выбирают равной 546,1 нм [2] либо такой, которая соответствует максимуму эффективного потока источника излучения при нормальном падении лучей [3]. Для лучей других длин волн и других углов падения полного гашения отраженных лучей не будет, но величина отраженного потока все же уменьшится.

Для гашения отраженного света в более широком диапазоне длин волн и углов падения на поверхности оптических элементов наносятся двухслойные или трехслойные пленки с различными показателями преломления.

В соответствии с изложенным выше материалом оптимальным объективом следует считать такой объектив, в котором задачи просветления и ахроматизации решены для одних и тех же участков спектра.

Для реализации повышенных дальностей действия, обеспечиваемых с помощью АИ-режима, требуется, как правило, объектив со значительным фокусным расстоянием. Соответственно угол зрения последнего может быть небольшим, обычно равным углу подсвета осветителя. Наоборот, для поиска и обнаружения объектов в пассивном режиме необходим больший угол поля зрения, т.е. необходим объектив с меньшим фокусным расстоянием.

Обеспечить возможность работы АИ ТВС в режимах обнаружения и распознавания объектов можно, например, используя либо объектив с плавно или дискретно изменяющимся фокусным расстоянием, либо два параллельных канала с двумя объективами. В первом случае ахроматизация и просветление должны осуществляться для спектрального диапазона работы АИ ТВС в АИ-режиме. Во втором случае участки спектра просветления и ахроматизации могут быть разными для каналов, работающих в АИ и пассивном режимах.

Исторически для построения АИ ПНВ первоначально использовались линзовые объективы. Они проще в сборке и юстировке, но обладают значительной массой и продольными габаритами. Качество их изображения сравнительно низко, в особенности по краю поля зрения. Значительно более высокое качество изображения, меньшие массу и продольные габариты имеют зеркально-линзовые объективы. К их недостаткам следует отнести некоторое увеличение поперечных габаритов (по сравнению с линзовыми объективами) при одинаковой светосиле, необходимость использования блендов, а также ощутимые потери на виньетирование, что ограничивает их применение в широкоугольных ПНВ [1].

Учитывая вышеизложенное и то, что в зеркально-линзовых объективах меньшие потери, связанные с отражением, использование таких объективов в АИ ТВС предпочтительнее даже при их очевидных недостатках при широких углах зрения, необходимых в режиме обнаружения.

Для решения задач обнаружения и распознавания оптимальным решением было бы использование зеркально-линзового объектива с плавно или дискретно изменяющимся фокусным расстоянием с ахроматизацией и просветлением на участке спектра работы АИ ТВС в АИ-режиме.

При выборе объектива необходимо учитывать возможность АИ ТВС при его использовании достаточно резко воспроизводить объекты наблюдения, имеющие некоторую пространственную протяженность.

Вследствие ограниченной разрешающей способности АИ ТВС и глаза изображение пространственно расположенных объектов на экране монитора будет одинаково четким в некоторой области пространства. Глубина пространства, изображение которого получается достаточно резким, называют глубиной резко изображаемого пространства или глубиной резкости.

Одной из особенностей работы АИ ТВС в АИ-режиме является конечная глубина регистрируемой зоны пространства, расстояние до которой в зависимости от положения интересующегося объекта в пространстве может меняться в широких пределах.

В этой связи требования к системе автоматической регулировки резкости будут отличаться от требований, предъявляемых к работе АИ ТВС в режиме обнаружения (пассивный режим) и в режиме распознавания (АИ-режим). В АИ режиме, в отличие от пассивного, необходима оптимальная фокусировка объекта наблюдения, находящегося в зоне регистрируемого пространства.

Определим влияние параметров объектива на возможность получения одинаково резкого изображения в регистрируемой зоне пространства на различных удалениях зоны от приемника излучения АИ ТВС.

Воспользуемся известными выражениями [3], связывающими расстояния до ближней и дальней границ резко изображаемого пространства с параметрами объектива и разрешающей способностью приемника излучения

$$p_1 = \frac{H_0 p_0}{H_0 + p_0}, \quad (1)$$

$$p_2 = \frac{H_0 p_0}{H_0 - p_0}, \quad (2)$$

где $H_0 = f^2/d_1 F$ – гиперфокальное расстояние; p_0, p_1, p_2 – соответственно расстояния от входного зрачка объектива до плоскости наводки, ближней и дальней границ резко изображаемого пространства; f – фокусное расстояние объектива; F – величина, обратная относительному отверстию; d_1 – диаметр допустимого кружка нерезкости.

Под гиперфокальным расстоянием H_0 в (1) и (2) подразумевается такое расстояние до объекта, начиная с которого все более удаленные объекты изобразятся с достаточной степенью резкости при наводке объектива на бесконечность.

Анализ выражений (1) и (2) показывает, что условие одинаковой резкости в зоне выделения пространства можно записать в виде

$$L - \frac{\Delta L}{2} = \frac{H_0 L}{H_0 + L}, \quad (3)$$

где L – расстояние до плоскости наводки на резкость равное расстоянию до середины зоны выделения; ΔL – ширина зоны выделения.

Решая (3) относительно L , получим

$$L = \frac{\Delta L}{4} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8f^2}{d_1 F \Delta L}} \right). \quad (4)$$

Выражение (4) связывает расстояние до середины зоны выделения, в которой все объекты воспроизводятся одинаково резко, с параметрами объектива и разрешающей способностью приемной части АИ ТВС.

Анализ кривых, рассчитанных по формуле (4) и приведенных на рис. 1, 2, показывает, что расстояние до зоны «одинаковой резкости», т.е. зоны, в которой все объекты, попавшие в нее, будут одинаково резкими, может составлять значительную величину. А это означает, что при увеличении расстояния условия фокусировки изменяются только при изменении расстояния до середины зоны выделения, а при уменьшении – еще и требуется подстройка фокусировки в пределах зоны выделения.

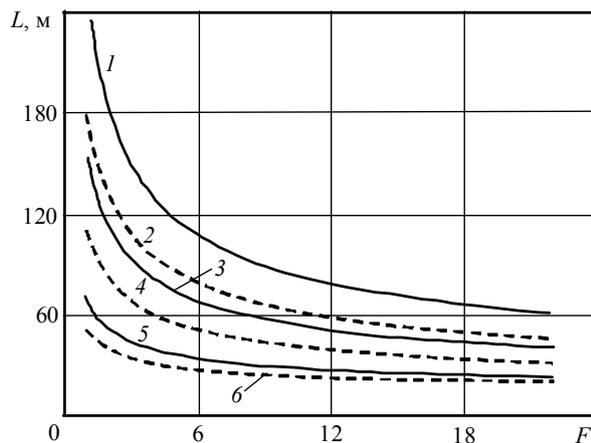
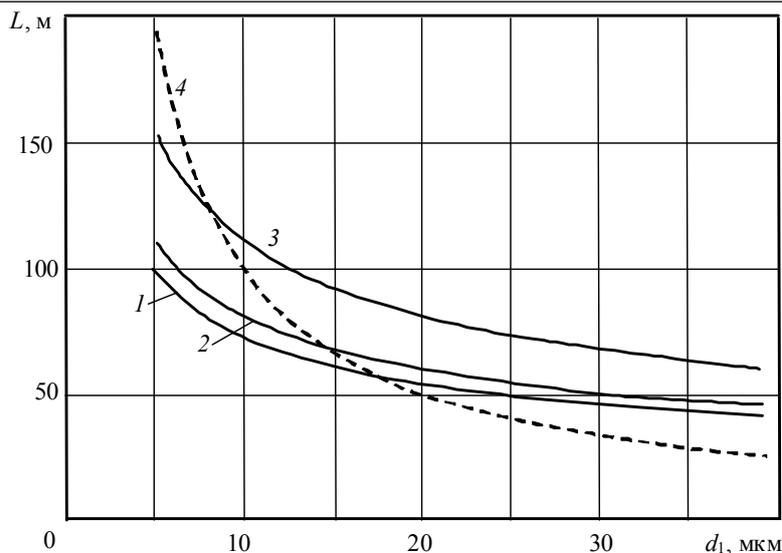


Рис. 1. Зависимость расстояния до середины зоны «одинаковой резкости» от числа F :

- 1 – $d_1 = 10$ мкм, $f = 200$ мм;
- 2 – $d_1 = 20$ мкм, $f = 200$ мм;
- 3 – $d_1 = 10$ мкм, $f = 120$ мм;
- 4 – $d_1 = 20$ мкм, $f = 120$ мм;
- 5 – $d_1 = 10$ мкм, $f = 50$ мм;
- 6 – $d_1 = 20$ мкм, $f = 50$ мм

Для увеличения дальности действия АИ ТВС в АИ-режиме фокусное расстояние объектива и его относительное отверстие необходимо увеличивать. Все это способствует увеличению расстояния до зоны «одинаковой резкости» и вызывает необходимость подстройки фокусировки в пределах каждой зоны в более широком интервале изменения расстояний до середины зоны выделения. Такая необходимость возникает и при увеличении разрешающей способности приемной части АИ ТВС (кривая 4, рис. 2).

Рис. 2. Зависимость расстояния до середины зоны «одинаковой резкости» (1–3) и разрешающей способности (4) от диаметра кружка нерезкости: 1 – $F = 2$, $f = 75$ мм; 2 – $F = 4$, $f = 120$ мм; 3 – $F = 2$, $f = 120$ мм



Литература

1. Оптические приборы наблюдения, обработки и распознавания объектов в сложных условиях / Б.С. Алешин, А.В. Бондаренко, В.Г. Волков и др. – М.: ГНИИЛС, 1999. – 139 с.
2. Прикладная оптика: учеб. пособие для вузов / А.С. Дубовик, М.И. Апенко, Г.В. Дурейко и др. – М.: Недра, 1982. – 612 с.
3. Бабенко В.С. Оптика телевизионных устройств. – М.: Энергия, 1964. – 256 с.

Кирпиченко Юрий Романович

Канд. техн. наук, доцент каф. телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: (382-2) 42-33-87

Эл. почта: kirp@tu.tusur.ru

Kirpichenko Y.R.

Some peculiarities of choosing input lens for gated viewing laser camera systems

There are some peculiarities of choosing input lens, which are connected with the work of gated viewing laser camera systems in both persistent and gated mode.

Keywords: achromatization of lens systems, blooming of optical systems, focal length, depth of field, ground sample distance.