

*А. Д. Галиуллин<sup>1\*</sup>, Т. Н. Хацевич<sup>1</sup>*

## **Разработка сверхширокоугольного объектива для систем охраны**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: andreygaliullin2012@yandex.ru

**Аннотация.** Разработка объективов с конкурентными характеристиками представляется актуальной задачей для расширения номенклатуры отечественной элементной базы технического оснащения охранных систем. Развитие технологий микроэлектроники в производстве матричных приемников больших форматов (более 1") позволяет реализовать телевизионные камеры с большими полями зрения при приемлемом масштабе изображения. Основная проблема статьи связана с необходимостью разработки широкоугольных и сверхширокоугольных объективов. Целью статьи является представить результаты разработки технологичной конструкции оптической системы сверхширокоугольного светосильного телевизионного объектива для приемника формата 1". Разработка выполнена на основе принципиального решения, сочетающего афокальный и фокусирующий компоненты, при этом в передней фокальной плоскости последнего размещается апертурная диафрагма, необходимая для обеспечения телецентрического хода главных лучей в пространстве изображений. В работе используются методы геометрической оптики и компьютерные методы расчета оптических систем. В качестве результата представляется оптическая система сверхширокоугольного объектива со следующими характеристиками: угловое поле по диагонали кадра 98°, фокусное расстояние 9,7 мм, относительное отверстие 1 : 2. Анализ качества изображения с учетом частотно-контрастной характеристики приемника излучений позволил обосновать возможность применения разработанного объектива в телевизионных системах по стандарту разрешению 2К и 4К. Результаты ориентированы на отечественных производителей объективов.

**Ключевые слова:** широкоугольный объектив, телевизионная камера, частотно-контрастная характеристика

*А. Д. Галиуллин<sup>1\*</sup>, Т. Н. Хатсевич<sup>1</sup>*

## **Development of a wide-angle lens for security systems**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: andreygaliullin2012@yandex.ru

**Abstract.** Development of lenses with competitive characteristics is a relevant task to expand the nomenclature of domestic element base for technical equipment of security systems. The development of microelectronics technologies in the production of matrix receivers of large formats (more than 1") allows to effectively realize television cameras with large fields of view at an acceptable image scale. The main problem of the article is the necessity to develop wide-angle and super wide-angle lenses. The purpose of the article is to present the results of the development of the design of the optical system of the super wide-angle light-aperture television lens for the receiver of the format 1". The development is based on a three-component principal solution combining the afocal and focusing components, in the front focal plane of the latter an aperture diaphragm is placed, which is necessary to ensure the telecentric course of the main rays in the image space. Methods of geometrical

optics and computer methods of design of optical systems are used. As a result, the optical system of a super wide-angle lens with the following characteristics is presented: angular field along the diagonal of the frame  $98^\circ$ , focal length 9.7 mm, relative aperture 1 : 2. The analysis of image quality taking into account the MTF of the radiation receiver allows to define the possibility of using the developed lens in television systems according to the standard resolution of 2K and 4K. The results can be used by Russian manufacturers of lenses.

**Keywords:** wide-angle lens, television camera, MTF

### *Введение*

Техническое оснащение систем безопасности, предназначенных для охраны территорий с целью предотвращения противоправных действий, постоянно модернизируется [1]. Необходимость удовлетворить требования заказчиков охранных систем, связанные с повышением углов обзора и масштаба изображения наблюдаемого пространства, предполагает наличие в арсенале разработчиков охранных систем разнообразной элементной базы как приемников излучений, так и оптики. Достижения микроэлектроники в производстве приемников излучений больших форматов открывает возможности создания широкоугольных телевизионных камер при приемлемых масштабах изображения, что делает возможным обнаружение и распознавание объектов в широком поле зрения для охранных систем. Характеристики камеры определяются совокупным действием в первую очередь объектива камеры и приемника излучений.

На современном рынке представлена широкая номенклатура как приемников излучений, так и объективов, различные сочетания которых разработчик может использовать в своих проектах по созданию охранных систем. Анализируя каталоги производителей объективов, отмечается, что отечественные производители выпускают ограниченную номенклатуру объективов, и основная часть рынка оптики – это зарубежная продукция [1-3]. В политику технологической независимости РФ включена и оптико-электронная промышленность. В этой связи расширение номенклатуры отечественного объективостроения представляется актуальной задачей. Целью данной статьи является представить результаты разработки сверхширокоугольного объектива, выполненной в рамках выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 12.03.02 Оптехника.

### *Методы и материалы*

Угловое поле объектива в пространстве предметов (часто называемое для краткости угол поля зрения) является одной из основных характеристик объектива. Сверхширокоугольный объектив по классификации ГОСТ 25205-82 – это объектив с углом поля зрения  $83^\circ$  и более, широкоугольный – с углом поля зрения от  $52^\circ$  до  $82^\circ$ , нормальный – с углом поля зрения от  $40^\circ$  до  $51^\circ$ , длиннофокусный – с углом поля зрения от  $10^\circ$  до  $39^\circ$ , сверхдлиннофокусный – с углом поля зрения  $9^\circ$  и меньше [4, 5] (рис. 1).

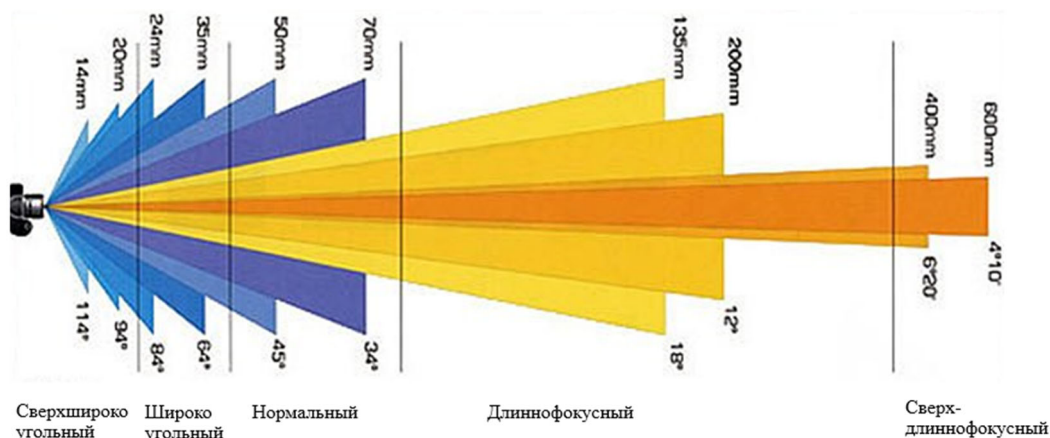


Рис. 1. Классификация объективов по углу поля зрения

Для реализации требуемого заданием поля зрения необходим объектив с фокусным расстоянием, значение которого зависит от того, с приемником какого формата планируется использовать объектив. В инженерном деле для обозначения размера (формата) чувствительной площадки матричного приемника излучений сохраняется возникшее в середине прошлого века обозначение в «видиконовых» дюймах, при этом слово «видиконовый» обычно опускается, но значение дюйма для обозначения приемников составляет примерно 2/3 от традиционного дюйма как неметрической единицы измерения расстояния и длины в некоторых системах мер. В табл. 1 приведены значения геометрических размеров чувствительных площадок приемных матриц различных форматов в дюймах [6]. В табл. 2 для матрицы 1" приведена информация о двух моделях, отличающихся разрешением и размером пикселей [7].

Таблица 1

Физические размеры приемных матриц различного формата

Формат матрицы, дюйм	Диагональ, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Площадь матрицы, мм <sup>2</sup>
1/4"	4,00	2,95	2,21	6,53
1/3"	5,33	3,93	2,95	11,60
1/2"	8,00	5,90	4,42	26,10
2/3"	10,67	7,87	5,90	46,40
1"	16,00	11,80	8,85	104,40
4/3"	21,33	15,73	11,80	185,60

Таблица 2

Матрицы для телевизионных камер

Матрица	Формат, дюйм	Разрешение, количество эффективных пикселей	Разрешение, Мп	Диагональ, мм	Размер пикселя, мкм
GSENSE2011-BVC	1"	2048 × 1152	2,36	15,27	6,5 × 6,5
GMAX2518 (COLOR)	1"	4508 × 4096	18,00	15,20	2,5 × 2,5

Применяя в телевизионной камере матричные приемники большего формата, можно либо повысить угловое поле в пространстве предметов при использовании соответствующего объектива, либо, сохраняя неизменным угловое поле, – повысить фокусное расстояние объектива и тем самым увеличить масштаб изображения. Необходимо учитывать, что в сверхширокоугольных объективах с линейным законом построения изображения F-Theta [8] одинаковый масштаб изображения достигается при большем значении фокусного расстояния  $f'_{FT}$  по сравнению с фокусным расстоянием  $f'_O$  ортоскопического объектива (рис. 2).

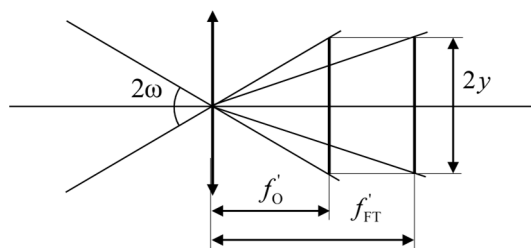


Рис. 2. Масштаб изображения в ортоскопических и F-Theta объективах

На рис. 2 диагональ приемника излучений обозначена как  $2y$ , при этом  $2\omega$  – угловое поле в пространстве предметов по диагонали кадра.

Исходя из соотношения  $f'_{FT} = f'_O \operatorname{tg}\omega/\omega$ , можно оценить различия в значениях фокусных расстояний  $f'_{FT}$  и  $f'_O$ : так, для  $2\omega$ , равного  $90^\circ$ , оно составляет 27 %; для  $2\omega$ , равного  $120^\circ$ , – 65 %.

Между применяемым объективом и матричным приемником излучений в телевизионной камере должно иметь место спектральное, энергетическое, геометрическое, абберационное соответствие.

В качестве принципиального схемного решения для разработки сверхширокоугольного объектива выбрано решение, предложенное в [9] (рис. 3). Оно состоит из трех компонентов: компоненты 1 и 2 образуют афокальную систему с угловым увеличением менее 1 крата после которых устанавливается фокусирующий компонент 3, при этом расстояние между компонентами 2 и 3 равно или больше фокусного расстояния компонента 3. В последнем случае в передней фокальной плоскости компонента 3 устанавливается апертурная диафрагма.

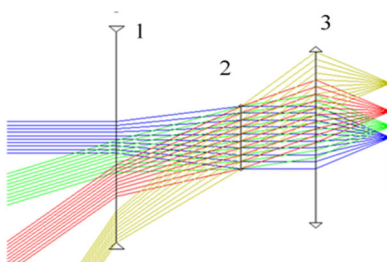


Рис. 3. Структурная схема объектива

Для оценки абберационного согласования объектива с приемником излучений, ориентируясь на статьи [10, 11], используется частотно-контрастная характеристика. Частотно-контрастная характеристика (ЧКХ, Modulation Transfer Function, MTF) – зависимость коэффициента передачи контраста от пространственной частоты синусоидальной испытательной миры. ЧКХ является самой распространенной характеристикой для оценки качества телевизионных объективов. Неотъемлемая часть анализа ЧКХ – это определение значения коэффициента передачи контраста на пространственной частоте Найквиста. Последняя ограничивает максимальную пространственную частоту, используемую в телевизионной камере для корректного преобразования изображения в цифровой сигнал. Частота Найквиста  $\nu_N$  обусловлена дискретизацией многоэлементного изображения, имеющего размер пикселей  $\delta$ , и рассчитывается по формуле:

$$\nu_N = 1/2\delta. \quad (1)$$

Важнейшее свойство ЧКХ – мультипликативность. Сравнение ЧКХ приемника, ЧКХ объектива и ЧКХ объектива совместно с приемником позволяет оценить влияние каждой из этих составляющих на результирующее разрешение телевизионной камеры. При этом коэффициент передачи контраста  $T(\nu)$  многоэлементного приемника изображений в зависимости от размера пикселя  $\delta$  и пространственной частоты  $\nu$  в плоскости приемника описывается выражением [12]:

$$T(\nu) = \text{sinc}(\pi\delta\nu). \quad (2)$$

### *Результаты и обсуждение*

После создания стартовой системы в соответствии с рис. 3 и ее оптимизации методами компьютерного проектирования оптических систем получена оптическая система объектива (рис. 4), поле зрения которого составило по диагонали  $98^\circ$  при фокусном расстоянии 9,7 мм и относительном отверстии 1 : 2. Ход лучей, приведенный на рис. 4, демонстрирует, что в пространстве изображений обеспечивается телецентрический ход главных лучей. Последнее обстоятельство является важным свойством объективов, способствующим, в совокупности с отсутствием виньетирования, обеспечению равномерности облученности пикселей приемников излучений в телевизионных камерах.

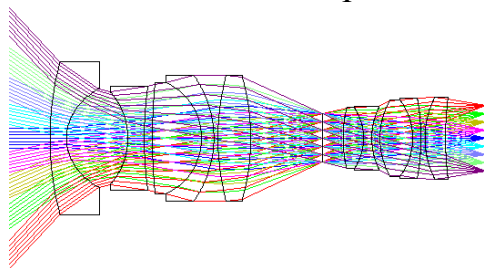


Рис. 4. Оптическая система широкоугольного объектива с ходом лучей

В объективе обеспечен линейный характер формирования изображения, при этом F-Theta дисторсия не превышает 0,6 %.

Стабильность разрешения по полю в разработанном объективе иллюстрируется графиком сечений ЧКХ по полю изображения для пространственных частот 40, 80, 100 и 160 лин/мм (рис. 5).

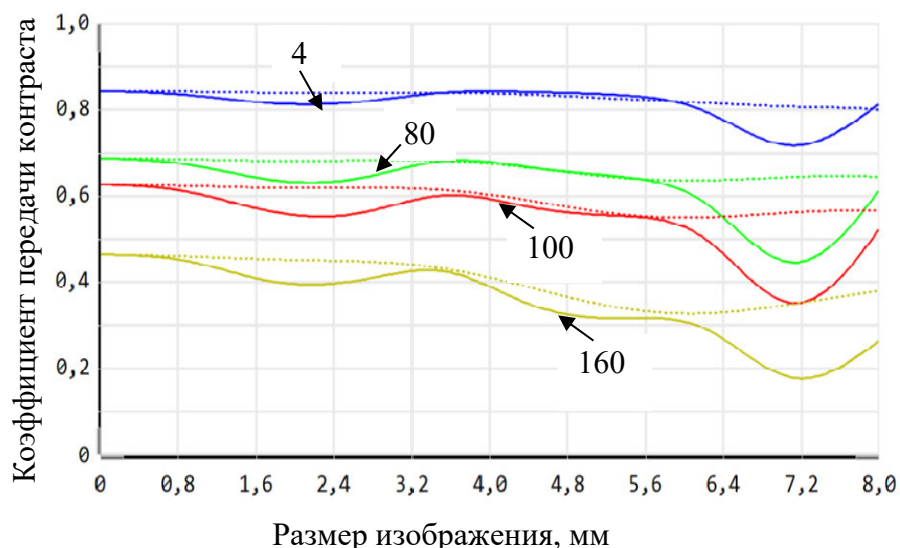


Рис. 5. Сечения ЧКХ по полю изображения объектива

Для моделирования соответствия объектива и приемника излучений на рис. 6 приведены графики ЧКХ объектива, приемника излучений, рассчитанной по формулам (1), (2), и кривая, полученная как результат их перемножения. Расчеты выполнены для двух приемников излучений, отличающихся шагом пикселей: 0,003 (рис. 6 а) и 0,006 мкм (рис. 6 б). Пространственные частоты по оси абсцисс на графиках ограничены значением частот Найквиста.

Анализ графиков, приведенных на рис. 6, показывает, что общая ЧКХ объектива и приемника, имеющего шаг пикселей 0,003 мкм, обеспечивает коэффициент передачи контраста на частоте Найквиста, равный 0,2, а с приемником, имеющим шаг пикселей 0,006 мкм, – 0,45. Принимая во внимание возможное снижение контраста, обусловленное влиянием электронного тракта, можно ожидать, что оптимальным для разработанного объектива будет его применение в телевизионной камере, приемная матрица которой имеет шаг пикселей 0,006 мкм, что для формата в 1 " (см. табл. 1, 2) соответствует 3 Мп. Иными словами, наиболее оптимальным представляется применение объектива в телевизионных системах по стандарту разрешению 2К и допустимым – в телевизионных системах по стандарту разрешения 4К.

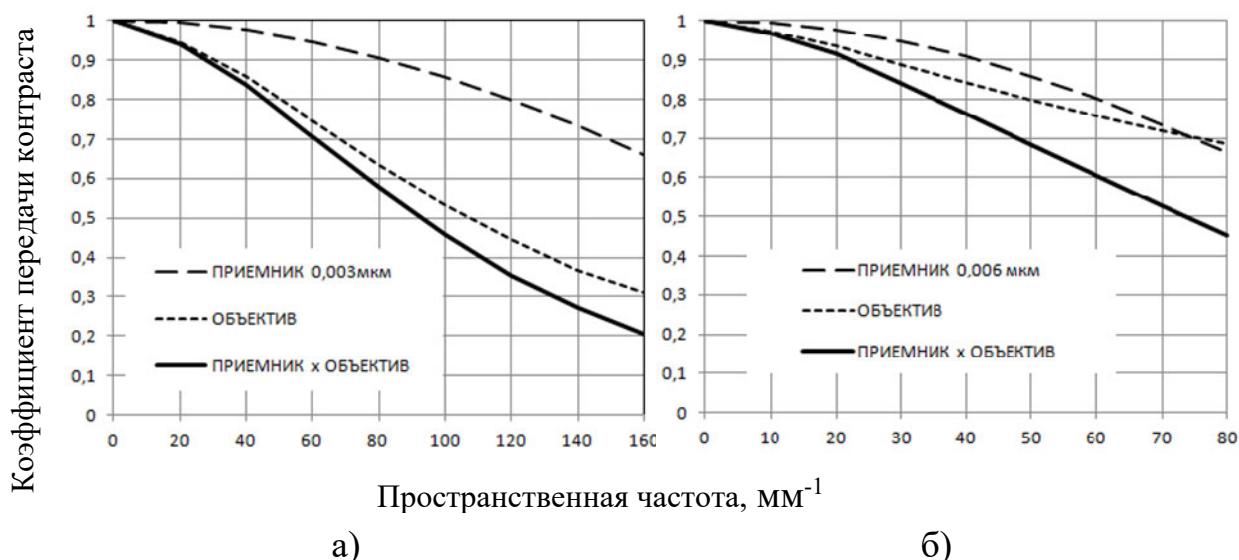


Рис. 6. ЧКХ объектива совместно с приемником излучений с различным шагом пикселей: а) 0,003 мкм; б) 0,006 мкм

### Заключение

Технические характеристики, достигнутые в инженерном решении по разработке объектива с угловым полем по диагонали  $98^\circ$ , подтверждают эффективность использования в разработке широкоугольных объективов принципиального схемного подхода, основанного на сочетании афокальной системы и фокусирующего компонента.

Анализ качества изображения с учетом ЧКХ объектива и матричного приемника излучений обосновывает целесообразность применения разработанного объектива в телевизионных системах по стандарту разрешению 2К и 4К. Результаты ориентированы на заинтересованных отечественных производителей объективов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков В. Г. Принадлежности к телевизионным камерам для спецтехники : Спецтехника и связь. – 2009. – № 3. – С. 2–17.
2. Каталог «Computar» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.computar.com/category/fisheye> (дата обращения: 06.04.2024).
3. Каталог «HIKVISION» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.hikvision.ru/products/accessory-lens> (дата обращения: 06.04.2024).
4. ГОСТ 25205-82 Фотоаппараты и съемочные фотографические объективы. Термины и определения. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам. – 15 с.
5. Углы обзора видеокамер [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://74foto.ru/obektiv-2/ugol-obzora-obektiva-tablicza-tablicza-uglov-obzora-i-rasstoyanij-ot-kamery-do-obekta-rasschitat-ugol-obzora-ugol-obzora-videokamer.html> (дата обращения: 13.04.2024).
6. Размер матрицы фотоаппарата [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vybrat-tekhniku.ru/ustrojstvo/razmer-matriczy-fotoapparata> (дата обращения: 09.04.2024).
7. Каталог «НПК Фотоника» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.npk-photonica.ru/product/sensors/vis/filter/form\\_factor-is-1%22/chromatics-is-color/spectral-is-vis/apply](https://www.npk-photonica.ru/product/sensors/vis/filter/form_factor-is-1%22/chromatics-is-color/spectral-is-vis/apply) (дата обращения: 10.04.2024).

8. Боднарчук А.И., Хацевич Т.Н. Дисторсия в F-ТНЭТА объективах : Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 25–32.

9. Абрамкина Д.Е., Хацевич Т.Н. Оптические системы особоширокоугольных объективов для цифровых камер : Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. – С. 3–10.

10. Бычков А.Н. О влиянии частотно-контрастной характеристики объектива и спектрального состава источника излучения на разрешающую способность телевизионного датчика // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. – Т. 51. № 5. – С. 52–55.

11. Куляс О.Л., Лошкарев А.С., Назаренко П.А., Никитин К.А. Измерение характеристик и оценка возможностей видеокамер со сверхширокоугольной оптикой // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 89–99.

12. Пронин С.П., Зрюмов Е.А., Зрюмов П.А. Исследование изменения контраста в изображении вибрирующих парных штрихов с помощью ПЗС-фотоприемника // Известия Алтайского государственного университета. – 2012. – № 1-2 (73). – С. 115–119.

© А. Д. Галиуллин, Т. Н. Хацевич, 2024