



Телевизионные объективы для систем наблюдения

И. П. Шишкин, А. П. Шкадаревич
НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены особенности построения телевизионных объективов для систем наблюдения. При проектировании телевизионных объективов необходимо учитывать совокупность факторов, которые влияют на величину дальности обнаружения: размер пикселя выбранной матрицы и ее разрешение, фокусное расстояние, относительное отверстие и поле зрения объектива. Оптимальное сочетание этих факторов, наряду с конструкцией объектива, позволяет добиться высокого разрешения и получить максимальную дальность обнаружения.

Ключевые слова: объективы, системы наблюдения

Статья получена: 21.11.2019
Принята к публикации: 14.01.2020

ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ

Величина дальности наблюдения (обнаружения) напрямую зависит от фокусного расстояния объектива. В настоящее время на рынке предлагается широкий выбор телевизионных объективов с диапазоном фокусных расстояний (10–700 мм), относительных отверстий ($F/2.5$ – $F/8$) и угловых полей (1 – 30°). Но, как показывает практика, объективы с переменным фокусным расстоянием не могут обеспечить требуемое разрешение, особенно при больших фокусных расстояниях, а значит, не позволяют получить четкое изображение объекта, удаленного на большие расстояния. В этом случае целесообразней использовать длиннофокусные объективы с фиксированным фокусным расстоянием.

Television Lenses for Surveillance Systems

I. P. Shishkin, A. P. Shkadarevich
RTC «LEMT» BelOMO, Minsk, Republic of Belarus

The features of constructing television lenses for surveillance systems are considered. When designing television lenses, it is necessary to take into account a set of factors that affect the magnitude of the detection range: the pixel size of the selected matrix and its resolution, focal length, relative aperture and field of view of the lens. The optimal combination of these factors along with the design of the lens allows you to achieve high resolution and get the maximum detection range.

Keywords: lenses, surveillance systems

Received: 21.11.2019
Accepted: 14.01.2020

FOCAL LENGTH

The magnitude of the range of observation (detection) directly depends on the focal length of the lens. Currently, the market offers a wide selection of television lenses with a range of focal lengths (10–700 mm), relative apertures ($F/2.5$ – $F/8$) and angular fields (1 – 30°). But, as practice shows, lenses with variable focal lengths cannot provide the required resolution, especially at large focal lengths, which means that they do not allow to obtain a clear image of an object remote at long distances. In this case, it is more advisable to use telephoto lenses with a fixed focal length.

PIXEL SIZE

With the development of digital technology, the pixel size in cameras is constantly decreasing, however, to obtain a theoretical resolution of the lens, you must use a sensor with a large pixel. We clarify this statement using well-known formulas.

The lens resolution for a given pixel size is calculated by the formula

$$N = \frac{1}{2x},$$

where N is the spatial frequency in lines/mm, x is the pixel size in microns.

РАЗМЕР ПИКСЕЛА

С развитием цифровых технологий размер пикселя в камерах постоянно уменьшается, однако для получения теоретического разрешения объекта необходимо использовать сенсор с большим пикселем. Поясним это утверждение с помощью известных формул.

Разрешение объектива для заданного размера пикселя вычисляется по формуле:

$$N = \frac{1}{2x},$$

где N – пространственная частота в штр/мм, x – размер пикселя в мкм.

Например, для пикселя 6,25 мкм нужно рассчитать объектив с разрешением 80 лин/мм, а для пикселя 4,16 мкм уже потребуется разрешение не менее 120 лин/мм.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОТВЕРСТИЕ

Величина относительного отверстия объектива при большом фокусном расстоянии в немалой степени определяется возможностью изготовления линз максимального диаметра с требуемой точностью. В табл. 1 показана зависимость диаметра линз, их количества, длины, веса объектива от типа, фокусного расстояния и относительного отверстия.

Для определения минимального относительного отверстия объектива воспользуемся критерием Релея:

$$x = 1,22\lambda \frac{f'}{D},$$

где x – размер пикселя в мкм, f'/D – относительное отверстие, λ – рабочая длина волны в мкм.

Для $\lambda = 0,55$ мкм и пикселя 3,75 мкм получим $F/5,6$, а для пикселя 5,36 мкм – $F/8$.

For example, for a 6.25 μm pixel, you need to calculate a lens with a resolution of 80 lines/mm, and for a 4.16 μm pixel, a resolution of at least 120 lines/mm is already required.

RELATIVE APERTURE

The magnitude of the relative aperture of the lens at a large focal length is to a large extent determined by the ability to manufacture lenses of maximum diameter with the required accuracy. Table 1 shows the dependence of the diameter of the lenses, their number, length, and weight of the lens on the type, focal length, and relative aperture.

To determine the minimum relative aperture of the lens, we use the Rayleigh criterion:

$$x = 1,22\lambda \frac{f'}{D},$$

where x is the pixel size in microns, f'/D is the relative aperture, and λ is the working wavelength in microns.

For $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ and a pixel of 3.75 μm , we get $F/5.6$, and for a pixel of 5.36 μm , we get $F/8$.

LENS ANGLE FIELD AND SENSOR DIAGONAL

The diagonal of the sensor is determined by the focal length and the angular field of the lens. In turn, the larger the angular field, the smaller the achievable limit of the resolution of the lens in the calculation.

CAMERA RESOLUTION

To calculate the camera resolution, we use the expression

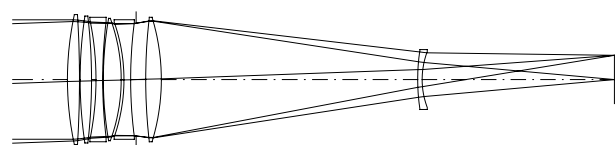
$$R = \frac{S}{x^2},$$

where R is the camera resolution in pixels, S is the sensor area in mm^2 , x is the pixel size in microns.

Таблица 1.

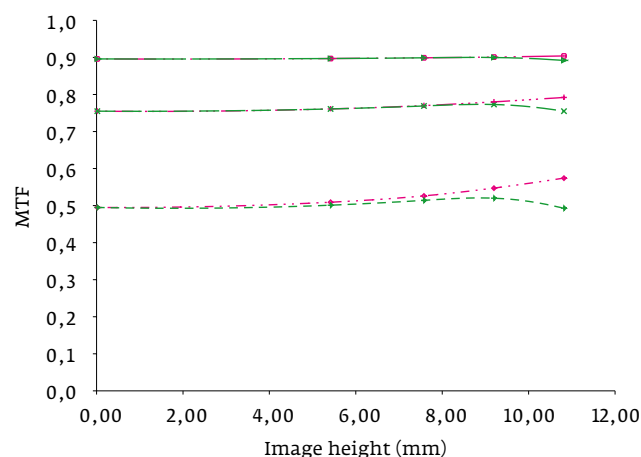
Table 1.

Фокусное расстояние Focal length	Относительное отверстие Relative aperture	Тип Type	Световой диаметр Light diameter	Количество линз Number of lenses	Длина, мм Length, mm	Вес, кг Weight, kg
100	$F/2,8$	ретрофокус	52	9	170	0.2
300	$F/4$	телеобъектив	72	12	240	0.5
300	$F/5,6$	телеобъектив	52	7	240	0.2
700	$F/5,6$	телеобъектив	120	7	560	2.5



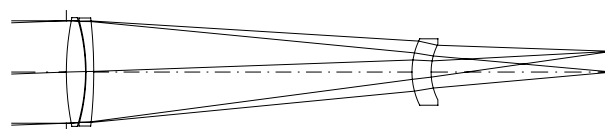
f 300/5,6 Scale: 0,79 31,65 mm 19-Sep-19

a)



b)

— 20 LP/MM (sagittal) — 40 LP/MM (sagittal) — 80 LP/MM (sagittal)
— 20 LP/MM (tangential) — 40 LP/MM (tangential) — 80 LP/MM (tangential)



f 300/5,6 Scale: 0,68 36,76 mm 19-Sep-19

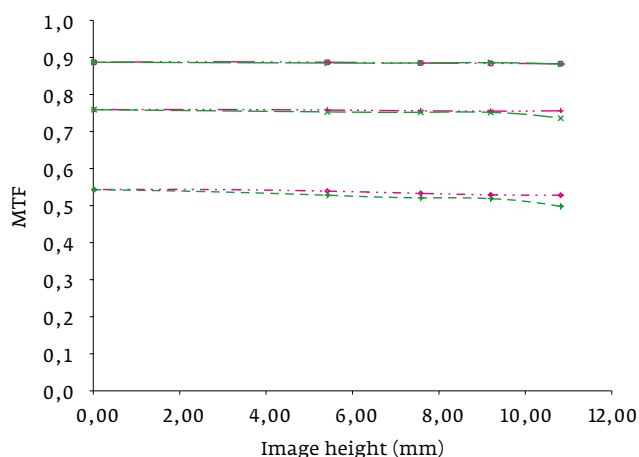


Рис. 1. Телеобъективы с фокусировкой: а – вид объективов, б – графики оптической передаточной функции [MTF (Modulation transfer function) — Контраст; Image High — Координата поля зрения]

Fig. 1. Focused telephoto lenses: a – view of the lenses, b – graphs of the optical transfer function

Таблица 2.

Table 2.

Field Point	Relative Field	MTF Design	Design+ Tolerance
1	0	0,55	0,36
2	0,5	0,55	0,35
3	0,7	0,54	0,34
4	0,85	0,53	0,33
5	1,0	0,52	0,32

Field Point	Relative Field	MTF Design	Design+ Tolerance
1	0	0,54	0,36
2	0,5	0,52	0,34
3	0,7	0,52	0,33
4	0,85	0,51	0,33
5	1,0	0,48	0,30

УГЛОВОЕ ПОЛЕ ОБЪЕКТИВА И ДИАГОНАЛЬ СЕНСОРА

Диагональ сенсора определяется фокусным расстоянием и угловым полем объектива. В свою очередь, чем больше угловое поле, тем меньше достижимый предел разрешения объектива при расчете.

РАЗРЕШЕНИЕ КАМЕРЫ

Для расчета разрешения камеры используем выражение:

$$R = \frac{S}{x^2},$$

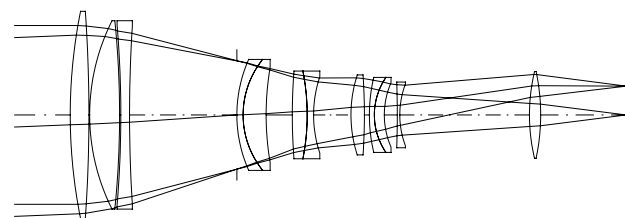
где R – разрешение камеры в пикселях, S – площадь сенсора в мм^2 , x – размер пикселя в $\mu\text{м}$.

Камера, созданная на базе матрицы 1" (диагональ 16 мм, площадь сенсора $S=123 \text{ мм}^2$, пиксел $x=5,5 \text{ мкм}$), будет иметь разрешение $R=4 \text{ Мп}$, а с матрицей 4/3" (диагональ 21,6 мм, $S=225 \text{ мм}^2$, $x=5,5 \text{ мкм}$) – 7,4 Мп.

КОНСТРУКЦИЯ

Для объективов с большим фокусным расстоянием обычно выбирают схему телеобъектива, которая является наиболее компактной из всех известных схем.

При разработке длиннофокусных объективов особое внимание уделяется габаритам, количеству линз, весу, стоимости, а также предельным допускам на форму и центровку линз большого диаметра при изготовлении. Например, объектив с фокусом 300 мм и относительным отверстием $F/4$ будет иметь диаметр фронтальной линзы порядка 75 мм. Изготовление и контроль линз большого диаметра значительно усложняет производство объективов. Требования, предъявляемые к меха-



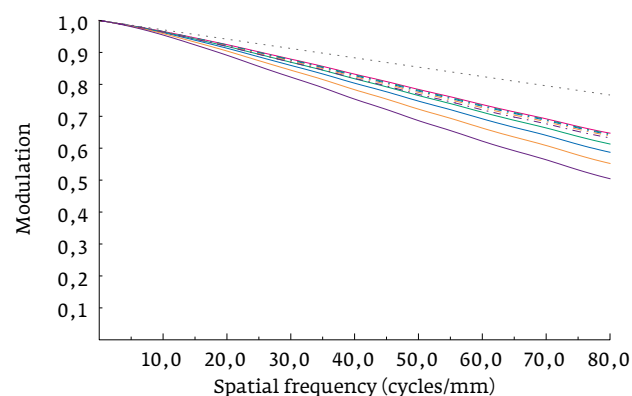
$f\ 300/4$

Scale: 0,87

28,74 mm

05-Oct-19

a)



.....	Diffraction limit		
—	Axis		
— _T	0,5 Field (1,15°)	Wavelength	Weight
— _R		656,3 nm	1
— _T	0,7 Field (1,56°)		
— _R		587,6 nm	1
— _T	0,8 Field (1,95°)		
— _R		486,1 nm	1
— _T	1,0 Field (2,29°)	Defocusing	-0,00000
— _R			

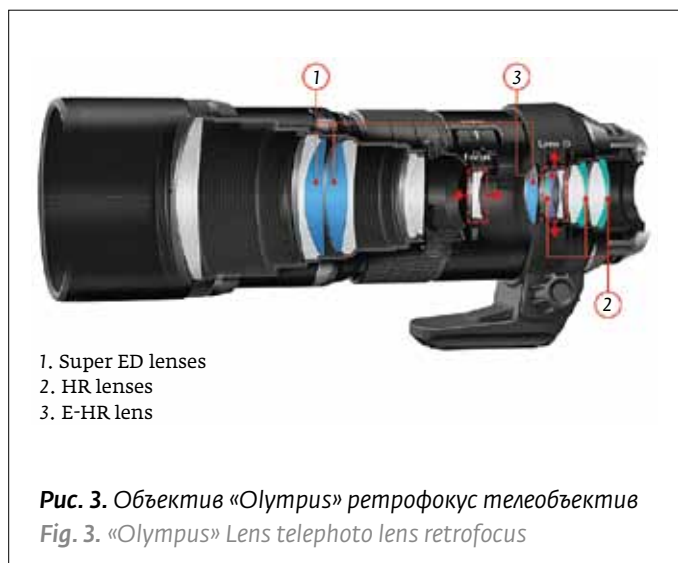
b)

Рис. 2. 12-линзовый объектив: а – вид объектива,

б – график оптической передаточной функции

[Modulation — Контраст; Spatial frequency — пространственная частота; LP/mm — Лин/мм; Diffraction MTF — дифракционная оптическая передаточная функция]

Fig. 2. 12-lens lens: a – view of the lens, b – graph of the optical transfer function



1. Super ED lenses
2. HR lenses
3. E-HR lens

Рис. 3. Объектив «Olympus» ретрофокус телеобъектив
Fig. 3. «Olympus» Lens telephoto lens retrofocus

A camera created on the basis of a 1" matrix (16 mm diagonal, sensor area $S=123 \text{ мм}^2$, pixel $x=5.5 \mu\text{м}$) will have a resolution of $R=4 \text{ Мп}$, and with a 4/3" matrix (21.6 mm diagonal, $S=225 \text{ мм}^2$, $x=5.5 \mu\text{м}$) – 7.4 Мп.

DESIGN

For lenses with large focal length, the telephoto lens circuitry is usually chosen, which is the most compact of all known lenses.

When developing telephoto lenses, special attention is paid to dimensions, the number of lenses, weight, cost, and also the maximum tolerances on the shape and alignment of large-diameter lenses dur-



нике, также достаточно жесткие, учитывая длину и диаметры оправ в корпусе объектива.

ФОКУСИРОВКА

Большие размеры и вес линз в длиннофокусных объективах (1–3 кг) вынуждают искать решение с внутренней фокусировкой с помощью перемещения внутренней группы линз.

РАЗРЕШЕНИЕ

На рис. 1 показаны 7-линзовый и 3-линзовый телеобъективы с фокусным расстоянием 300 мм

ing manufacture. For example, a lens with a focus of 300 mm and a relative aperture of $F/4$ will have a front lens diameter of about 75 mm. The manufacture and monitoring of large-diameter lenses greatly complicates the production of lenses. The requirements for mechanics are also quite stringent, given the length and diameters of the frames in the lens housing.

FOCUSING

The large size and weight of the lenses in telephoto lenses (1–3 kg) force us to look for a solution with internal focusing – by moving the inner group of lenses.

Таблица 3.

Table 3.

Element	Tilt Arc Min	Dec/Roll
1–2	1,0	0,02
3–4	1,0	0,02
5–6	0,5	0,02
7–8	0,5	0,01
9–10	0,5	0,02
11–12	1,0	0,01
13–14	1,0	0,02

Element	Tilt Arc Min	Dec/Roll
1–2	0,5	0,01
3–4	1,0	0,01
5–6	1,0	0,02

Таблица 4.

Table 4.

Surface	Fringes Pow/IRR	Thick Δd	Glass $\Delta n/\Delta v$
1	2/0.5	0,2	0,0002/0.2
2	2/0.5	0,04	
3	2/0.5	0,04	0,0002/0.2
4	2/0.5	0,02	
5	2/0.5	0,1	0,0002/0.2
6	2/0.5	0,1	
7	2/0.5	0,08	0,0002/0.2
8	2/0.5	0,02	
9	2/0.5	0,2	0,0002/0.2
10	2/0.5	0,02	
11	2/0.5	0,08	0,0002/0.2
12	2/0.5	0,06	
13	4/1	0,04	0,0005/0.4
14	4/1	$\pm 0,8$	

Surface	Fringes Pow/IRR	Thick Δd	Glass $\Delta n/\Delta v$
1	2/0.5	0,5	0,0002/0.2
2	2/0.5	0,02	
3	2/0.5	0,5	0,0002/0.2
4	2/0.5	0,3	
5	4/1	0,5	0,0005/0.5
6	4/1	$\pm 0,8$	

и относительным отверстием $F/5,6$. Объективы рассчитаны для сенсора $4/3''$ и имеют расчетное разрешение 80 лин/мм. Световой диаметр фронтальной линзы 52 мм.

7-линзовый телеобъектив – апохромат более компактный (длина 240 мм) и в целом имеет лучшие характеристики. Внутренняя фокусировка в нем осуществляется подвижкой последней линзы. 3-линзовая конструкция несколько длиннее (285 мм), но имеет ряд преимуществ: в объективе минимальное количество линз, есть функция фокусировки (с помощью перемещения фронтальной группы линз) и сравнительно невысокие требования к изготовлению.

АНАЛИЗ ДОПУСКОВ

В табл. 2 представлен результат влияния допусков на контраст изображения 7-линзового (слева) и 3-линзового (справа) объективов. Изменение контраста показано для 5-ти точек углового поля на пространственной частоте 80 лин/мм.

В табл. 3 приведены допуски на децентрировку и наклон, в табл. 4 – на форму и толщину линз, воздушные промежутки и стекло.

RESOLUTION

Figure 1 shows a 7-lens and a 3-lens telephoto lens with a focal length of 300 mm and a relative aperture of $F/5,6$. The lenses are designed for a $4/3''$ sensor and have an estimated resolution of 80 lines/mm. The light diameter of the front lens is 52 mm.

7-lens telephoto lens – apochromat is more compact (length 240 mm) and generally has better characteristics. Internal focusing is carried out by moving the last lens. The 3-lens design is somewhat longer (285 mm), but has several advantages: the lens has a minimum number of lenses, there is a focusing function (by moving the front group of lenses) and relatively low manufacturing requirements.

TOLERANCE ANALYSIS

Table 2 shows the result of the influence of tolerances on the image contrast of a 7-lens (left) and a 3-lens (right) lens. A change in contrast is shown for 5 points of the angular field at a spatial frequency of 80 lines/mm.

Table 3 shows the tolerances for decentration and tilt, in Table 4 for the shape and thickness of the lenses, air gaps and glass.

ЭССЕНТОПТИКС ||| ESSENTOPTICS

PHOTON RT

Спектрофотометр для Оптиков | Spectrophotometer for Coaters



- Пропускание / абсолютное зеркальное отражение
- Диффузное пропускание / отражение
- 3D пропускание / отражение
- Управление размером пятна
- Измерение сложных призм и склеек
- Выбор сменных столиков для особых задач
- Шесть вариантов исполнения:
от 380–1700 нм до 185–5200 нм
- Полностью автоматические измерения

Лучшие оптики работают с лучшими приборами!

ООО «ЭссентОптикс»

23а-81, ул. 40 лет Победы, Боровляны, Минская обл., Минский р-н, 223053 Беларусь
Тел.: +375-17-5112025 | Факс: +375-17-5112026 | www.essentoptics.com

Таблица 5.

Table 5.

Field Point	Relative Field	MTF Design	Design+ Tolerance
1	0	0,65	0,33
2	0,5	0,61	0,30
3	0,7	0,59	0,27
4	0,85	0,55	0,23
5	1,0	0,50	0,18

Таблица 6.

Table 6.

Element	Tilt Arc Min	Dec/Roll
1-2	1,0	0,02
3-4	0,5	0,01
5-6	1,0	0,01
8-10	1,0	0,005
11-13	1,0	0,02
14-15	1,0	0,02
16-18	1,7	0,02
19-20	1,7	0,02
21-22	1,0	0,02

Сравнение показывает, что 7-линзовый объектив имеет большее число линз с предельными допусками и с этой точки зрения 3х-линзовая конструкция более предпочтительна.

УВЕЛИЧЕНИЕ СВЕТОСИЛЫ

Увеличение относительного отверстия в длинно-фокусном объективе (табл. 1) неизбежно приведет к увеличению числа линз и их размеров [1, 2], что соответственно повысит и трудоемкость изготовления. Кроме этого, для сохранения высокого качества изображения во всем диапазоне дистанции наблюдения конструкция механизма фокусировки становится более сложной.

На рис. 2 приводится пример 12-линзового объектива [1] с фокусным расстоянием 300 мм и относительным отверстием F/4. Объектив рассчитан для сенсора 4/3" и имеет разрешение 80 лин/мм в пределах всего углового поля. Световой диаметр фронтальной линзы 72 мм. Фокусировка в объективе осуществляется группой линз (9-11). Высокое

Таблица 7.

Table 7.

Surface	Fringes Pow/IRR	Thick Δd	Glass $\Delta n/\Delta v$
1	2/0.5	0,5	0,0003/0.2
2	2/0.5	0,1	
3	2/0.5	0,02	0,0002/0.2
4	2/0.5	0,02	
5	2/0.5	0,04	0,0004/0.2
6	2/0.5	0,04	
7	2/0.5	0,08	
8	2/0.5	0,02	0,0004/0.2
9	2/0.5	0,02	0,0002/0.2
10	2/0.5	0,02	
11	2/0.5	0,02	0,0005/0.2
12	12/3	0,04	0,0003/0.2
13	2/0.5	0,1	
14	4/1	0,06	0,0005/0.3
15	4/1	0,04	
16	4/1	0,04	0,0005/0.2
17	6/1.5	0,02	0,0005/0.2
18	2/0.5	0,08	
19	4/1	0,1	0,0005/0.4
20	4/1	0,5	
21	12/3	0,5	0,0002/0.2
22	12/3	$\pm 0,95$	

Comparison shows that the 7-lens lens has a larger number of lenses with extreme tolerances, and from this point of view, the 3-lens design is more preferable.

INCREASE IN THE RELATIVE APERTURE

An increase in the relative aperture in a telephoto lens (Table 1) will inevitably lead to an increase in the number of lenses and their sizes [1,2], which, accordingly, will increase the laboriousness of manufacturing. In addition, to maintain high image quality over the entire range of the observation distance, the design of the focusing mechanism becomes more complex.

Figure 2 shows an example of a 12-lens lens [1] with a focal length of 300 mm and a relative aperture of

качество изображения объектива подтверждается графиком оптической передаточной функции (рис. 2б). Результаты расчета допусков 12-линзового объектива методом Монте-Карло представлены в табл. 5-7.

Расчет показывает, что допуски на линзы объектива с учетом больших диаметров довольно строгие: форма поверхности 2/0,5; толщина 0,02-0,04 мм; стекло 0,0002/0,2; децентрировка 0,005-0,01 мм; наклон 0,5'-1'.

Для сравнения на рис. 3 показана конструкция более сложного 17-линзового объектива «Olympus» с фокусным расстоянием 300 мм и относительным отверстием F/4. Габаритные размеры $\varnothing 92 \times 227$ мм, вес 1,3 кг, разрешение 80 лин/мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конечном итоге конструкция телевизионного объектива будет зависеть не только от оптимального сочетания всех факторов, определяющих качество изображения, но и от уровня технологии, которая может быть использована при реальном изготовлении объективов.

F/4. The lens is designed for a 4/3" sensor and has a resolution of 80 lines/mm within the entire angular field. The light diameter of the front lens is ~72 mm. Focusing in the lens is carried out by a group of lenses (9-11). The high image quality of the lens is confirmed by the optical transfer function graph (Fig.2b) The results of calculating the tolerances of a 12-lens lens by the Monte Carlo method are presented in Tables 5-7.

The calculation shows that the tolerances on the lenses of the lens, taking into account large diameters, are rather strict: surface shape 2/0.5, thickness 0.02-0.04 mm, glass 0.0002/0.2, decentration 0.005-0.01 mm, tilt 0.5'-1'.

For comparison, Fig. 3 shows the construction of the more sophisticated Olympus 17-lens lens with a focal length of 300mm and a relative aperture of F/4. Overall dimensions $\varnothing 92 \times 227$ mm, weight 1.3 kg, resolution 80 lines/mm.

CONCLUSION

Ultimately, the design of a television lens will depend not only on the optimal combination of all factors



ООО «Лазерные компоненты» – российский поставщик комплектующих к оптоэлектронному, лазерному и тепловизионному оборудованию, а также готовых решений для построения комплексных систем безопасности.

ЛАЗЕРЫ:

- Диодные лазеры с волоконным выходом
- DPSS лазеры
- Защитные очки



ИК ТЕХНИКА:

- Микродисплей Amoled
- ИК объективы
- Камеры SWIR, MWIR, LWIR



ОПТИКА НА ЗАКАЗ И ПО КАТАЛОГАМ:

- Сферические, асферические линзы
- Призмы
- Оптические окна, клинья
- Фосфатное стекло
- Дифракционные решетки
- Узкополосные фильтры



КОМПЛЕКТУЮЩИЕ К ЛАЗЕРАМ:

- Активные элементы
- Лампы накачки
- Квантроны
- Ячейки Поккельса и т.д.



Россия, г.Москва,
Варшавское шоссе, д.1, стр. 17
+7 (495) 269-40-22
sales@lasercomponents.ru
www.lasercomponents.ru

«Лазерные компоненты» – от мелких комплектующих к готовому изделию!



REFERENCES

1. Pat App US2019137739. *Image forming lens system and image pickup apparatus using the same*. Kazuteru Kawamura, Takashi Fujikura – Pub. Date May 9, 2019.
2. Pat App US2019041605. *Optical system and image pickup apparatus*. Shinihiro Salto, Makoto Nakahara – Pub. Date Feb 7, 2019.

ОБ АВТОРАХ

Шишкин Игорь Петрович, к. т. н.,
shipoflens@mail.ru, НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО,
Минск, Республика Беларусь.
ORCID ID: 0000-0002-4592-1060

Шкадаревич Алексей Петрович, НТЦ «ЛЭМТ»
БелОМО, Минск, Республика Беларусь.

ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе работы всех членов авторского коллектива.

Разработка и исследования выполнена за счет собственных средств НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

determining the image quality, but also on the level of technology that can be used in the actual manufacture of lenses.

ABOUT AUTHORS:

Shishkin Igor Petrovich, Candidate of Technical Sciences, shipoflens@mail.ru, RTC «LEMT» BelOMO, Minsk, Republic of Belarus.

ORCID ID: 0000-0002-4592-1060

Shkadarevich Alexey Petrovich, Doctor of Technical Sciences, RTC «LEMT» BelOMO, Minsk, Republic of Belarus.

CONTRIBUTION BY THE MEMBERS OF THE TEAM OF AUTHORS

The article was prepared on the basis of many years of work by all members of the team of authors.

Development and research are carried out at the expense of RTC «LEMT» BELOMO.

CONFLICT OF INTEREST

The authors claim that they have no conflict of interest.

Новый тепловизионный комплекс для эпидемиологического контроля

В линейке продукции компании «Лазерные компоненты» появился новый тепловизионный комплекс для эпидемиологического контроля ISMTB – ZS. Преимущество продукта заключается в бесконтактном выявлении людей с повышенной температурой тела. Данный прибор сейчас очень актуален и необходим для любого работо-

дателя, чтобы вовремя распознать заболевшего работника.

Среди основных преимуществ также:

- интеллектуальный алгоритм сопоставления тепловизионных изображений и изображений видимого диапазона;
- точность температурных изменений $\pm 0,3^\circ\text{C}$;



- широкое поле зрения и способность одновременно отслеживать около 30 целей;
- точная калибровка по АЧТ (абсолютно черное тело);
- функция автоматического выявления людей с повышенной температурой тела и наличие тревожной сигнализации при их обнаружении;
- простота эксплуатации;
- компактный размер и легкая установка.

Поближе познакомиться с прибором можно на выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики 2020», которая пройдет с 31 марта по 3 апреля в Экспоцентре на Красной Пресне в павильоне «Форум» на стенде № FF090.





**ОАО «ММЗ имени С.И. Вавилова –
управляющая компания холдинга «БелОМО»**

Оптический завод «Сфера»

«Оптический завод «Сфера» основан в 1994 году как филиал ОАО «Минский механический завод имени С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга БелОМО» для производства оптических элементов. В настоящее время завод выпускает большое количество оптических элементов различной сложности по чертежам Заказчика. Оптические элементы, произведенные «Оптическим заводом «Сфера», успешно применяются во многих уникальных оптоэлектронных системах.

Для производства высокотехнологичной продукции проводится техническое переоснащение производства, проводится модернизация производственных мощностей с целью увеличения объемов производства. Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям версии ГОСТ ISO 9001:2015.

Многолетний опыт производства оптических элементов, высококвалифицированный персонал предприятия позволяют удовлетворить любую потребность Заказчика.



Республика Беларусь, 220114,
г. Минск, ул. Макаенка, 23
Тел.: (+375 17) 325-52-91
Тел./факс: (+375 17) 276-27-71
E-mail: sfera.ved@belomo.by; sfera@belomo.by

www.belomo.by