



АТЕРМАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТИВОВ ПРИЦЕЛЬНО- НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ БТВТ

*А.В.Медведев, ОАО "РОМЗ",
design@romz.ru, г. Ростов;
А.В.Гринкевич, ЗАО "ЭВС",
lyu1455@yandex.ru, г. Москва;
С.Н.Князева, ОКБ ОАО "РОМЗ",
ksn-61@yandex.ru, г. Ростов*

Условия работы военной техники в широком температурном диапазоне (от -50 до 50°C) диктуют жесткие требования к конструкции оптических устройств построения изображений. В статье представлен комплекс конструктивных приемов, который позволяет обеспечить атермальность оптических частей прицельно-наблюдательных приборов и комплексов бронетанковой техники, а следовательно, эффективное функционирования объектов боевого и танкового вооружения и техники (БТВТ) в условиях значительного перепада внешних температур.

Сохранение высокого качества изображения в широком интервале рабочих температур является важнейшим требованием к оптической части любого прибора, позволяющим обеспечивать его бесперебойное функционирование как в жару, так и в морозы.

Обычно оптические расчеты проводятся для нормальных климатических условий, характеризующихся температурой 20°C и давлением 1 атм. Однако жесткие требования стандартов для военной техники нормируют рабочий температурный диапазон в пределах как минимум от -50 до 50°C . Отсюда перепад плюсовых температур относительно расчетной температуры составляет всего 30°C , тогда как для минусовых он значительно больше – все 70°C . В этой связи становится очевидной трудность обеспечения работоспособности конструкций оптических и оптико-меха-

ATHERMALIZATION OF OBJECTIVES OF SIGHTING AND OBSERVATION COMPLEXES AS THE MEANS OF FUNCTIONING SUPPORT OF THE FACILITIES OF ARMAMENT OF ARMORED FORCE VEHICLES (AAFV)

*A.V.Medvedev, OJSC "ROMZ",
design@romz.ru, Rostov;
A.V.Grinkevich, CJSC "EVS",
lyu1455@yandex.ru, Moscow;
S.N.Knyazeva, Experimental Design Bureau of OJSC
"ROMZ", ksn-61@yandex.ru, Rostov*

Conditions for the operation of military hardware within wide temperature range (from -50°C to 50°C) dictate stringent requirements to the construction of optical imaging devices. The group of constructive methods, which allows providing the athermality to the optical parts of sighting and observation devices and complexes of armored force vehicles ensuring the efficient functioning of AAFV objects under the conditions of considerable ambient temperature difference, is given in the article.

Retention of image high quality within wide range of operating temperatures is the most important requirement to the optical part of any device, which allows its trouble-free functioning under the conditions of heat and frost.

As a rule, all optical calculations are performed for normal climatic conditions, which are characterized by the temperature of 20°C and pressure of 1 atm. However, the stringent requirements of standards with regard to military hardware normalize the operating temperature range within the limits from -50°C to 50°C as minimum. It follows from here that the difference of above-zero temperatures relating to the specified temperature is only 30°C , whereas the difference of below-zero temperatures is much higher – all 70°C . In this regard, the problem of operability of the constructions of optical and optical-mechanical units of devices and sights under the conditions of below-zero temperatures arises. In greater degree this refers to the device objectives

нических узлов приборов и прицелов в условиях минусовых температур. В большей степени это относится к объективам приборов как системам, строящим изображения объектов на фоточувствительных площадках различных фотоприемников или работающим в чисто визуальных системах наблюдения и прицеливания.

Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации прицельно-наблюдательных приборов температурный диапазон может быть значительно больше. Зафиксированными максимумом и минимумом температур на настоящий момент считаются 63°C [1] и $-91,2^{\circ}\text{C}$ [2], но рабочим температурным интервалом при проектировании объектов БТВТ принято считать диапазон в 100°C ($\pm 50^{\circ}\text{C}$), а в некоторых странах в 90°C (от -40°C до 50°C).

При работе в условиях переменных температур геометрические размеры оптических элементов изменяются в соответствии с коэффициентами теплового расширения материала, из которого они изготовлены. Также существенно меняется и показатель преломления большинства используемых оптических материалов [3].

В результате изображение бесконечно удаленного предмета сдвигается на некоторую величину, и когда этот сдвиг превысит допустимую глубину резкости, возникает необходимость его компенсации. Такая ситуация наиболее характерна для светосильных систем, имеющих минимальную глубину резкости, и в первую очередь актуальна для тепловизионных систем с неохлаждаемыми фотоприемниками, в которых светосила оптики, в значительной степени определяющая дальность видения, выбирается наибольшей.

Характерно, что для светосильных объективов прицельно-наблюдательных приборов, работающих в видимой и инфракрасной областях спектра, ввиду незначительности величины смещения плоскости изображения при изменении температуры окружающей среды, компенсацию сдвига можно обеспечить посредством применения термокомпенсатора как отдельного конструктивного элемента. Такой способ применен в известных прицельных комплексах ТО1-КО1 и ТКН-4С.

Обеспечение термостабильности объективов оптико-электронных приборов возможно также при наличии механизмов ручной или автоматической фокусировки, предназначенных для компенсации смещения плоскости наилучшей установки (ПНУ) при перепаде температур и для сохранения расчетного качества изображения.

Но любой из названных способов ведет к усложнению конструкции из-за применения дополни-

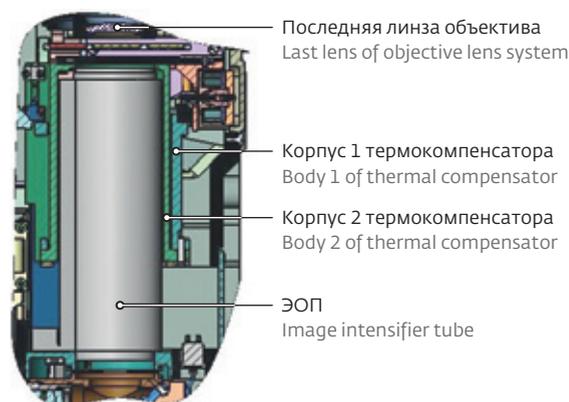


Рис.1. Компенсация терморасстраиваемости в головном объективе комплексов ТО1-КО1 и ПНК-4С

Fig. 1. Compensation for disadjustment of head lens of TO1-KO1 and PNK-4S systems

as the systems, which image the objects on photosensitive platforms of different photodetectors or operate in purely visual systems of surveillance and sighting.

It should be noted that under the actual operating conditions of sighting and observation devices the temperature range can be significantly greater. Maximum and minimum temperatures, which have been practically registered, are 63°C [1] and -91.2°C [2] but it is commonly assumed that the range of 100°C ($\pm 50^{\circ}\text{C}$) and 90°C (from -40°C to 50°C) in some countries is the operating temperature interval in relation to the design of the facilities of AAFV.

In case of temperature variation, the geometry of optical elements varies in accordance with the coefficients of thermal expansion of the material, which they are made of. Also, the refractive index of the majority of used optical materials varies significantly [3].

As a result, the image of infinitely distant object is shifted at some value, and when this shift exceeds the permissible depth of focus the necessity of its compensation will occur. Such situation is mostly typical for high-aperture systems having the minimum depth of focus and primarily topical for thermal imaging systems with uncooled photodetectors, in which the aperture ratio of optics determining the vision range to a large degree is selected as the highest parameter.

It is typical that the shift compensation for high-aperture objectives of sighting and observation devices operating within visible and infrared spectral regions can be provided using the thermal



Кружки рассеяния и графики контрастных характеристик при рабочих температурах +20 и -40°C приведены на рис. 3 и 4 соответственно. Из графиков видно, что объектив имеет высокое качество изображения по всему полю зрения, практически совпадающее с дифракционным. Небольшое снижение сагиттальной составляющей края линейного поля зрения 14 мм при температуре -40°C существенной роли не играет.

Атермальность объектива и высокое качество изображения достигают за счет применения особых инфракрасных стекол IG4 и IG6 импортного производства и одной асферической поверхности высокого порядка.

Дальнейшие работы велись в направлении упрощения конструкции объектива в части устранения асферики и обеспечения работоспособности при минусовых температурах до -50°C без потери качества изображения. Для этого дополнительно к оптическим решениям был применен метод температурной компенсации механическими составляющими оптических узлов с использованием так называемого метода "стакана".

Это позволило не только расширить температурный диапазон, но и упростить оптическую систему, так как комбинация материала корпуса

compensator as individual constructive element due to the insignificance of image plane shift upon the variation of ambient temperature. Such method is used in well-known sighting complexes TO1-KO1 and TKN-4S.

One more method for the supply of thermal stability of objectives of optoelectronic devices consists in the availability of the mechanisms of manual or automatic focusing intended for the shift compensation of plane of the best arrangement (PBA) upon the temperature difference and maintenance of image estimated quality.

But any mentioned method results in the construction complication due to the use of additional elements (micro-electromotors, mechanical assemblies with running blocks), operability of which within wide temperature interval is also problematical.

In the pursuit of simplicity and reliability of military hardware optics during the design of optoelectronic devices, the development of so-called athermal optical units gained widespread; in these units the main goal is to obtain the constructive solution of optical scheme, in which the combination of optical elements, their materials and configuration will allow compensating the temperature



и "стакана" дает дополнительные возможности для атермализации даже при простой оптической системе.

Вариант оптической схемы такого тепловизионного объектива без асферических поверхностей выглядит следующим образом (рис.5). Конструктивные данные объектива приведены в табл. 3. Длина объектива от первой поверхности до плоскости изображения равна ~110 мм при линейном поле зрения 13,6 мм.

Параметры объектива при расчетной температуре 20°C очень высоки – кружки рассеяния, приведенные на рис.6, не превышают размеров диска Эйри.

Изменение температуры практически не влияет на качество объектива, меняется только величина заднего фокального отрезка – S'_f , (или воздушного промежутка от последней линзы объектива до защитного стекла фотоприемного устройства). Плоскость наилучшей установки (ПНУ) попросту "уплывает". Причем она "плывет" в значительных пределах.

Изменение заднего фокального отрезка в рамках привычного стоградусного диапазона рабочих температур от нормальной температуры 20°C до $\pm 50^\circ\text{C}$ приведено в табл.

Таким образом, при повышении температуры ПНУ смещается в сторону уменьшения заднего фокального отрезка на величину 0,23 мм, тогда как при понижении температуры воздушный промежуток от последней поверхности объектива до защитного стекла фотоприемника увеличивается на 0,54 мм. Фотоприемник должен как бы "отодвинуться" от последней линзы объектива на весьма значительную величину.

На рис.7 представлен вариант механической температурной компенсации "увода" ПНУ. В данном варианте решения крепежный торец корпуса совпадает с вершиной последней поверхности последней линзы объектива. С корпусом соединён "стакан", в котором закреплён фотоприемник. При таком креплении фотоприемника изменение линейных размеров "стакана" будет происходить в направлении, обратном изменению линейных размеров корпуса при изменении температуры. Таким образом, "стакан" играет роль термокомпенсатора. Из рисунка видно, что:

$$d_0 = A - B.$$

Оценка возможности подбора комбинации материалов, температурные коэффициенты линейного расширения которых позволили бы

withdrawals of PBA and retain its concurrency with the plane of photodetector sensitive elements, using the methods of optical calculation.

Let us consider one of such merely optical solutions – optical scheme of 50 millimeter objective with the linear field of view of 14 mm, in which PBA withdrawal is minimized at the expense of optical components only.

Such scheme did not come easily but it turned out to be quite simple and containing only three optical parts and one aspheric surface (Fig. 2). But particularly with such optical construction the photodetector plane remains in the plane of the best arrangement, and the quality of optical image practically varies to insignificant extent.

Constructive data of aspheric athermal objective at the temperature of +20 °C is given in Table 1. Alteration of constructive data of aspheric athermal objective at the temperature of minus 40 °C is given in Table 2.

The circles of diffusion and graphs of contrast characteristics at the operating temperatures of +20 and minus 40 °C are shown in Fig. 3 and Fig. 4 respectively. It is seen from the graphs that the objective has image with high quality along the whole field of view, which practically concurs with diffraction image. Insignificant decrease of sagittal component of the edge of the linear field of view of 14 mm at the temperature of minus 40 °C does not play great role.

Objective athermality and image high quality are achieved at the expense of the use of special import infrared glasses IG4 and IG6 and one aspheric surface of high order.

Further activities were performed in the area of simplification of the objective construction with regard to the elimination of asphere and operability at below-zero temperatures to minus 50 °C without the loss of image quality. For this purpose, the method of temperature compensation by mechanical components of optical units was used with the application of so-called "cup" method.

It allowed not only expanding the temperature range but also simplifying the optical system because the combination of body material and "cup" grants additional capabilities for athermalization even with the simple optical system.

The variant of optical scheme of such thermal imaging objective without aspheric surfaces has the following form (Fig. 5). Constructive data of objective is given in Table 3. The objective length from the first surface to the image plane is equal to ~ 110 mm at the linear field of view of 13.6 mm.

обеспечить совпадение ПНУ с плоскостью фотоприемника за счет разницы коэффициентов, привела к следующим результатам.

В соответствии с рис.7 и значениями температурных коэффициентов линейного расширения наиболее широко применяемых конструкционных материалов, для достижения ожидаемого результата необходимо выбрать для размера А материал с минимальным коэффициентом линейного расширения, а для размера В – с максимальным.

Такая комбинация может быть составлена из широко применяемого в приборостроении титана для корпусной детали и полиамида или фторопласта-4 для термокомпенсатора. Их температурные коэффициенты линейного расширения k_t равны $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (титан) и $110 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (полиамид или фторопласт-4).

Линейное удлинение Δl вычисляется по формуле:

$$\Delta l = L \cdot k_t \cdot \Delta T,$$

где L – длина детали по опорным поверхностям;
 k_t – температурный коэффициент линейного расширения материала детали;
 ΔT – диапазон изменения температуры.

Работая с интервалом температур от $+20$ до -50°C и приняв размер А корпусной детали при $+20^\circ\text{C}$ произвольным, например равным 100 мм, получим уменьшение его длины на $\Delta l = 0,0602$ мм.

В этом случае термокомпенсатор при температуре $+20^\circ\text{C}$ должен иметь размер $B = 87,1$ мм, а его Δl составит величину 0,67067 мм.

Таким образом, при температуре -50°C размер А станет равным 99,9398 мм, а размер В – 86,42933 мм. В итоге воздушный промежуток d_6 увеличится и примет значение 13,51046 мм вместо требуемого 13,44 мм (табл. 4). Для устранения явной "перекомпенсации" и обеспечения необходимого значения воздушного промежутка d_6 необходимо подбором уменьшать длину корпуса и длину термокомпенсатора.

Таблица 2. Конструктивные данные атермального объектива при -40°C
Table 2. Constructive data of athermal objective at -40°

R	D	$N_\lambda = 10,6$ мкм	Марка стекла Glass brand	
36,854834	5,992656	2,604545	IG4	
76,286511°				
–	4,900658	1,0	–	
39,703079	7,996592	2,399190	ZnSe	
20,411301				
–	19,388946	1,0	–	
74,916838	3,196026	2,773293	IG6	
Плоскость				
–	17,591394	1,0	–	
Плоскость Plane	0,999658	3,978769	Ge (защитное стекло) Protective glass	
Плоскость Plane				
	1,0	1,0		
Плоскость Plane			Плоскость изображения Image plane	
$f' = 49,88$ мм	$S'_f = 18,85$ мм	$D_{\text{вх.зр}} = 40,0$ мм	$\Delta\lambda = 8-12$ мкм	1:1,24

* Асферическая поверхность, $R_0 = 76,286511$,
уравнение поверхности: $z = y^2 / \left(R_0 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - (H/R_0)^2} \right) \right) + 1,161889 \cdot 10^{-6} \cdot y^7$.

* Aspheric surface,
 $R_0 = 76,286511$, surface equation as follows: $z = y^2 / \left(R_0 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - (H/R_0)^2} \right) \right) + 1,161889 \cdot 10^{-6} \cdot y^7$.

Objective parameters at the estimated temperature of 20°C are very high – circles of diffusion given in Fig. 6 do not exceed the dimensions of Airy disk.

Temperature variation practically does not influence on the objective quality; the value of back focal distance – S'_f , (or air gap from the last objective lens to the protective glass of photodetector) varies only. The plane of the best arrangement simply "floats away".

Besides, it "floats" within the significant limits. Alteration of the back focal distance within the usual range of operating temperature of one hundred degrees varying from normal temperature of 20°C to $\pm 50^\circ\text{C}$ is specified in Table 4.

Thus, in case of the temperature growth PBA is shifted towards the side of decrease of back focal distance by 0.23 mm, whereas in case of the temperature fall the air gap from the last objective surface to the protective glass of photodetector increases by 0.54 mm. Photodetector must "move

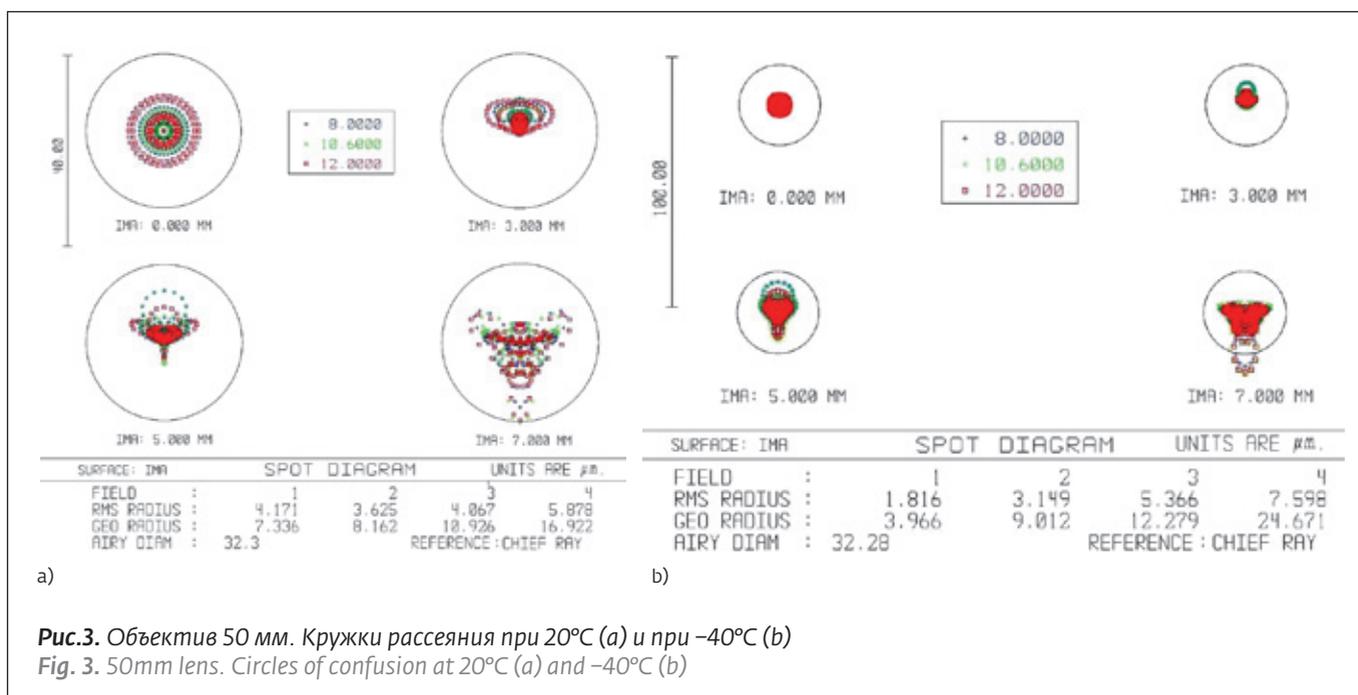


Рис.3. Объектив 50 мм. Кружки рассеяния при 20°C (a) и при -40°C (b)
 Fig. 3. 50mm lens. Circles of confusion at 20°C (a) and -40°C (b)

Однако такие конструкции способны обеспечить перемещения как правило незначительной величины. В случаях более сильной расфокусировки оптической системы при изменениях температуры, когда необходимы большие значения перемещения для компенсации увода плоскости наилучшей установки (ПНУ), не удастся подобрать соответствующий материал для изготовления компенсационного элемента.

При обеспечении возможности регулировки положения ПНУ в больших пределах необходимо также учитывать наличие разброса значений

"aside" from the last objective lens at very significant distance.

The variant of mechanical temperature compensation of PBA "withdrawal" is shown in Fig. 7. In this variant of the solution, the fastening end of body concurs with the peak of the last surface of the last objective lens. The "cup" in which photodetector is fastened is connected to the body. With such fastening of photodetector the change of linear dimensions of the "cup" will take place in the direction, which is opposite to the change of body linear dimensions at the temperature variation. Thus, the "cup" plays

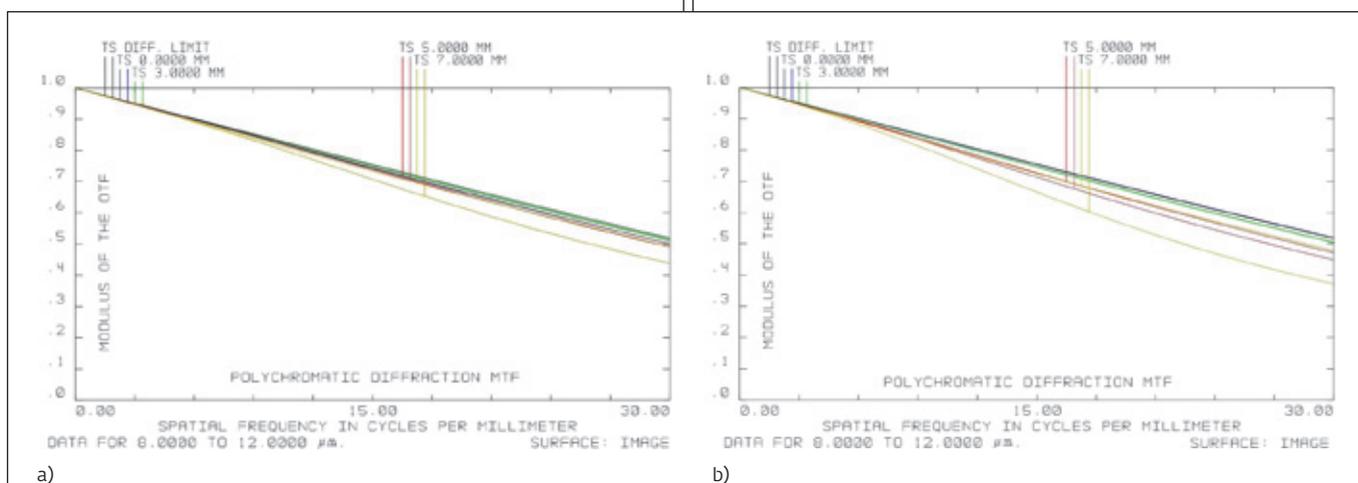


Рис.4. Объектив 50 мм. График ЧКХ при 20°C (a) и при -40°C (b)
 Fig. 4. 50mm lens. Frequency-contrast response chart at +20°C (a) and -40°C (b)





коэффициента линейного расширения у разных партий поставок материала, из которого изготавливаются компенсационные элементы.

Для решения поставленной задачи была предложена конструкция трехлинзового инфракрасного объектива, представленная на рис.8.

Объектив содержит линзы 1, 2 и 3. Линза 3 установлена в собственной оправе с возможностью перемещения вдоль оптической оси относительно корпуса 5 оптической системы. Узел температурной компенсации включает компенсационный элемент 9, изготовленный из материала с коэффициентом линейного расширения, существенно отличающимся от материала корпуса, и установленный параллельно оптической оси объектива с упругим односторонним упором в оправу 7. На другом конце компенсационного элемента, жестко закрепленном на оправе 6, сформированы продольные пазы. Между корпусом 5 и фотоприемником 4 установлен второй компенсационный элемент, состоящий из двух компонентов 10 и 11. Компонент 10 изготовлен из материала с коэффициентом линейного расширения, существенно отличающимся от материала корпуса 5, а второй компонент 11 – из материала с коэффициентом линейного расширения, равным коэффициенту расширения материала корпуса. Двухкомпонентный компенсационный элемент установлен параллельно оптической оси и одним концом упруго прижат к оправе фотоприемника 8, другим – к корпусу объектива 5 через жесткий упор 12. Между оправами третьей линзы 7 и фотоприемника 4 установлен упругий элемент 13 с соблюдением следующих соотношений:

$$d_4 = (0,5 \div 1,5) \cdot f_{об};$$

$$L_n \leq 0,5 \cdot L_{1к};$$

$$10 \geq n \geq 2,$$

где d_4 – воздушный промежуток между второй и третьей линзами;

$f_{об}$ – фокусное расстояние объектива;

L_n – длина продольного паза в первом компенсационном элементе;

$L_{1к}$ – длина первого компенсационного элемента;

n – число продольных пазов в первом компенсационном элементе.

В предложенной оптической схеме объектива величина d_4 сравнима с фокусным расстоянием объектива и выбрана из соотношения:

the role of thermal compensator. It is seen from the figure that:

$$d_6 = A - B.$$

Evaluation of the potential of the selection of material combination, the temperature coefficients of linear expansion of which would allow the concurrence of PBA with photodetector plane at the expense of coefficient difference, gave the following results.

In accordance with Figure 7 and values of temperature coefficients of linear expansion of the most common construction materials, in order to achieve the expected result it is necessary to choose the material with minimum coefficient of linear expansion for the size A and materials with maximum coefficient of linear expansion – for the size B.

Such combination can be made of titanium, which is commonly used in instrument engineering, in relation to body part and polyamide or fluoroplastic-4 in relation to thermal compensator. Their temperature coefficients of linear expansion k_t are equal to $8.6 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (titanium) and $110 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (polyamide or fluoroplastic-4).

Linear extension Δl is calculated on the basis of the formula:

$$\Delta l = L \cdot k_t \cdot \Delta T,$$

where L is the part length by bearing surfaces;

k_t is the temperature coefficient of linear expansion of part material;

ΔT is the range of temperature variation.

Working with the temperature interval from +20 to minus 50 °C and having assumed the size A of body part at +20 °C as arbitrary size, for example, equal to 100 mm, we will obtain the decrease of its length by $\Delta l = 0.0602$ mm.

In this case, at the temperature of +20 °C the thermal compensator must have size $B = 87.1$ mm and its Δl will be 0.67067 mm.

Thus, at the temperature of minus 50 °C the size A will be equal to 99.9398 mm and the size B – 86.42933 mm. As a result, the air gap d_6 will increase and obtain the value of 13.51046 mm instead of the required value of 13.44 mm (Table 4). In order to remove the obvious "overcompensation" and provide the required value of the air gap d_6 , it is necessary to decrease the body length and thermal compensator length by selection.

However, such constructions are capable to perform shifts with insignificant value, as a rule. In the cases of more intense defocusing of optical system

Таблица 3. Конструктивные данные объектива 75 мм**Table 3.** Constructive data of objective 75 mm.

R	D	$N_\lambda=10,6$ мкм	Марка стекла Glass brand	
$R_1=92,9$	$d_1=5,1$	4,003878	Ge	
$R_2=126,18$				
	$d_2=8,6$	1,0		
$R_3=-187,07$	$d_3=4,0$	2,402661	ZnSe	
$R_4=-205,1$				
	$d_4=70,9$	1,0		
$R_5=34,91$	$d_5=7,0$	4,003878	Ge	
$R_6=34,91$				
	$d_6=12,9$	1,0		
$R_7=\infty$	$d_7=1,0$	4,003878	Ge Защитное стекло Protective glass	
$R_8=\infty$				
	$d_8=1,0$	1,0		
$f'=74,85$ мм	$S'_f=14,13$ мм	$D_{\text{вх}}=60,0$ мм	$\Delta\lambda=8-14$ мкм	1:1,24

$$d_4 = (0,5 \div 1,5) \cdot f_{06},$$

где d_4 – воздушный промежуток между второй и третьей линзами;

f_{06} – фокусное расстояние объектива.

Продольные пазы, сформированные на компенсационном элементе 9, выбираются из следующих соотношений:

$$L_n \leq 0,5 \cdot L_{1k};$$

$$10 \geq n \geq 2,$$

где L_n – длина продольного паза в первом компенсационном элементе;

L_{1k} – длина первого компенсационного элемента;

n – число продольных пазов в первом компенсационном элементе.

При изменении температуры меняется длина компенсационного элемента 9 и, вследствие разности коэффициентов линейного расширения материалов корпуса 5 и компенсационного элемента 9, происходит изменение взаимного положения линзы 3, компенсируя большую часть расхождения ПНУ и фотоприемника 4.

Продольные пазы, выполненные на жестко закрепленном конце компенсационного эле-

at the temperature variations when greater values of shift are required for the compensation of PBA withdrawal, the relevant material for the production of compensation element cannot be selected.

When providing the capability of adjustment of PBA position within large limits, it is also necessary to take into account the spread of the values of coefficient of linear expansion in various delivery batches of the material, which the compensation elements are made of.

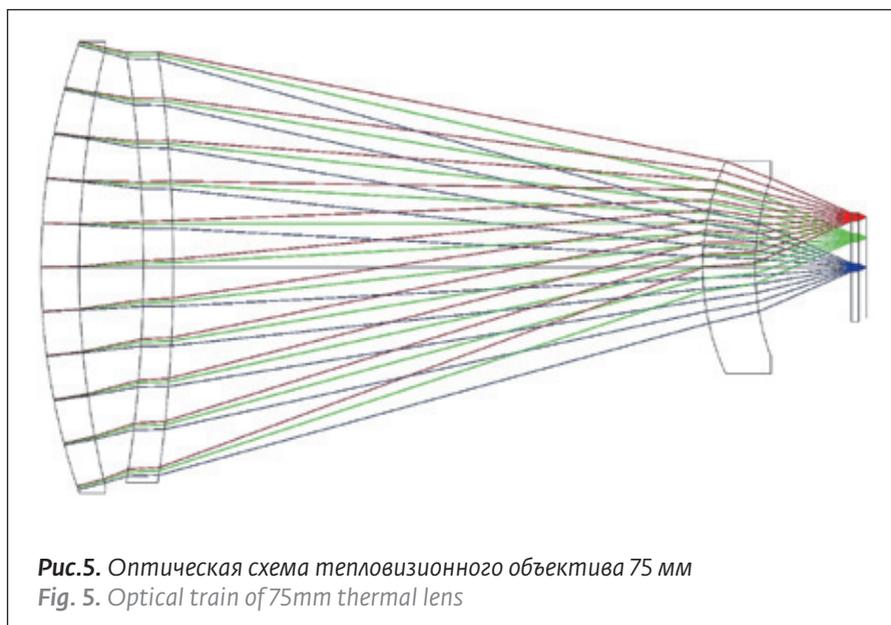
In order to solve the set task, the construction of three-lens infrared objective shown in Fig. 8 was suggested.

The objective contains lenses 1, 2 and 3. The lens 3 is installed in its own mounting with the capability of shift along the optical axis in relation to the body 5 of optical

system. The assembly of temperature compensation includes the compensation element 9 made of the material with the coefficient of linear expansion, which considerably differs from the body material and is installed in parallel with the optical axis of objective with elastic one-way stop into the mounting 7. On the other end of the compensation element rigidly fixed on the mounting 6, the longitudinal slots are formed. The second compensation element consisting of two components 10 and 11 is installed between the body 5 and photodetector 4. The component 10 is made of the material with the coefficient of linear expansion, which significantly differs from the material of body 5, and the second component 11 – of the material with the coefficient of linear expansion, which is

Таблица 4. Изменение заднего фокального отрезка S'_f от температуры**Table 4.** Alteration of back focal distance depending on the temperature

Т°С	S'_f	d_6 (до защитного стекла)
-50	14,68	13,44
0	14,29	13,05
20	14,13	12,90
50	13,90	12,67



equal to the expansion coefficient of body material. Two-component compensation element is located in parallel with optical axis and elastically pressed to photodetector mounting 8 with one end, to objective body 5 through fixed stop - with the other end. The elastic element 13 is installed between the mountings of the third lens 7 and photodetector 7 with the observance of the following ratios:

$$d_4 = (0,5 \div 1,5) \cdot f_{об};$$

$$L_n \leq 0,5 \cdot L_{1k};$$

$$10 \geq n \geq 2,$$

мента 9, обеспечивают пружинными свойствами посадочный диаметр этого элемента на участках, равных длине пазов, и исключают растрескивание жестко закрепленного конца компенсационного элемента 9 из-за разницы в изменении диаметральных размеров сопрягаемых деталей (корпуса 5, оправы 6 и компенсационного элемента 9) при изменении внешней температуры.

Для достижения полной компенсации (компенсации оставшейся меньшей части рассогласования ПНУ и фотоприемника 4) между корпусом 5 и фотоприемником 4 установлен второй компенсационный элемент, состоящий из двух компонентов 10 и 11.

При достижении температуры -50°C в соответствии с оптическим расчетом ПНУ объектива сме-

where d_4 is the air gap between the second and third lenses;

$f_{об}$ is the focal distance of objective;

L_1 is the length of longitudinal slot in the first compensation element;

L_{1c} is the length of the first compensation element;

n is the number of longitudinal slots in the first compensation element.

In the suggested optical scheme of objective the parameter d_4 is comparable with the objective focal distance and selected from the ratio:

$$d_4 = (0,5 \div 1,5) \cdot f_{об},$$

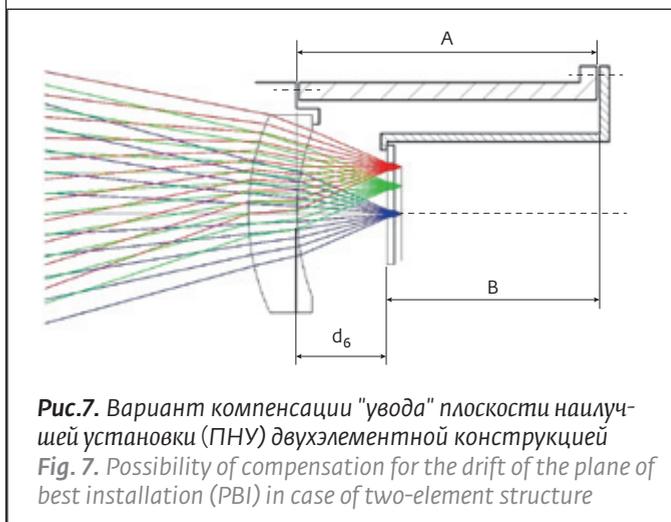
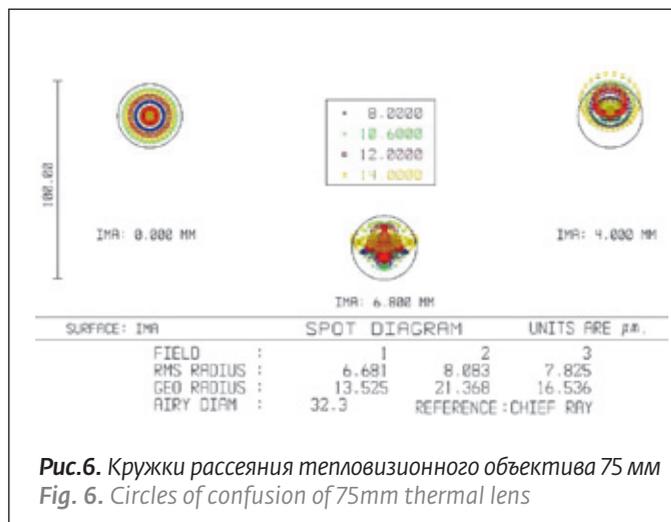


Рис.6. Круги рассеяния тепловизионного объектива 75 мм
Fig. 6. Circles of confusion of 75mm thermal lens

Рис.7. Вариант компенсации "увода" плоскости наилучшей установки (ПНУ) двухэлементной конструкцией
Fig. 7. Possibility of compensation for the drift of the plane of best installation (PBI) in case of two-element structure

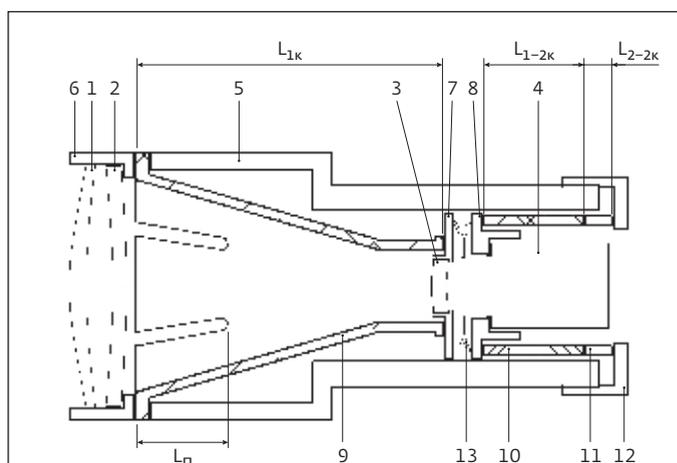


Рис.8. Вариант компенсации "увода" ПНУ многоэлементной конструкцией

Fig.8. Possibility of compensation for the drift of the plane of best installation (PBI) in case of multielement structure

щается от исходного положения на максимально большую величину, увеличивая задний фокальный отрезок объектива на ~1,27 мм.

Если в качестве материала корпуса 5, оправ и колец 6, 7, 8, 11, 12 взять титан (типа BT-1), полное смещение ПНУ, которое необходимо компен-

where d_4 is the air gap between the second and third lenses;

f_{ob} is the focal distance of objective.

The longitudinal slots formed on the compensation element 9 are selected from the following ratios:

$$L_n \leq 0,5 \cdot L_{1k};$$

$$10 \geq n \geq 2,$$

where L_1 is the length of longitudinal slot in the first compensation element;

L_{1c} is the length of the first compensation element;

n is the number of longitudinal slots in the first compensation element.

In case of temperature variation, the length of compensation element 9 changes, and as a result of the difference of the coefficients of linear expansion of the materials of body 5 and compensation element 9 the alteration of relative position of lens 3 occurs compensating the major part of mismatch of PBA and photodetector 4.

The longitudinal slots executed on the rigidly fixed end of compensation element 9 provide the bore diameter of this element with spring-type properties

Пламя освещает новый путь в модульной спектроскопии.

Новый спектрометр Flame построен на базе передовых технологических решений, обеспечивающих высокую температурную стабильность и неизменное качество от модели к модели. Пользуясь спектрометром Flame, Вы никогда не будете выбирать между компоновкой и функциональностью.

- Полностью сконфигурирован в диапазоне от 190 до 1100 нм.
- Сменные щели для многочисленных спектроскопических применений.
- Наличие моделей с напрямую подсоединяемыми образцами аксессуаров для уменьшения занимаемого рабочего места.

Flame идеально подходит для интеграции в большинство исследовательских установок, для лабораторного использования и для полевых исследований.

Компактность. Доступность. Трансформируемость.



oceanoptics.com
info@oceanoptics.com
PHONE +31 26-3190500



сировать компонентами 9 и 10, составит величину 1,364 мм.

Этого можно добиться, выбрав в качестве материала для первого компенсационного элемента 9 и компонента 10 материал фторопласт Ф-4 при длине компонента 9, равной ~ 120,4 мм, и длине компонента 10 элемента, равной 47 мм.

Суммарная величина компенсационного смещения ПНУ составит нужные нам 1,364 мм, обеспечивающие совпадение ПНУ объектива с плоскостью фотоприемника 4 при понижении температуры до -50°C.

При внешней температуре +20°C, соответствующей нормальным климатическим условиям, величина коэффициента передачи контраста (КПК) объектива имеет следующие значения:

- для точки на оси (дифракционное качество) КПК=45,3%;
- для точки на оси (абберационное качество) КПК=42,1%;
- для точки поля 6 мм от центра изображения КПК_М=39,6%, КПК_С=39,4%.

Для внешней температуры -50°C, соответствующей минимальной заданной температуре для рабочих условий:

- для точки на оси (дифракционное качество) КПК=45,4%;
- для точки на оси (абберационное качество) КПК=42,0%;
- для точки поля 6 мм от центра изображения КПК_М=36,9%, КПК_С=37,4%.

Как видно из расчетов, инфракрасный объектив, при изменениях внешней температуры, обеспечивает совпадение плоскости ПНУ с плоскостью фотоприемника, сохраняя близкое к дифракционному приемлемое качество изображения для оптико-электронных приборов, использующих микроболометрические матрицы в качестве фотоприемников с размером пиксела до 17 мкм.

Однако материал, из которого изготавливаются компенсационные элементы 9 и 10, имеет разброс коэффициентов линейного расширения в области температур от -10 до +20°C, который регламентируется ГОСТ 10007-80 и составляет $(80-250) \cdot 10^{-6}$. Приведенные выше расчеты базируются на средней величине коэффициента, принятого равным $165 \cdot 10^{-6}$ и длине компонента 10, равной 47 мм. При поставках материала для первого компенсационного элемента 9 и компонента 10 второго компенсационного элемента на разных партиях поставок возможны отклонения значения коэффициента линейного расширения от средней величины, а компенсацию этих отклонений можно

at the areas equal to the length of slots and exclude the cracking of rigidly fixed end of compensation element 9 due to the alteration difference of diametric dimensions of conjugated components (body 5, mounting 6 and compensation element 9) in case of temperature variation.

In order to reach complete compensation (compensation of remained minor part of mismatch of PBA and photodetector 4), the second compensation element consisting of two components 10 and 11 is installed between the body 5 and photodetector 4.

When the temperature reaches minus 50 °C in accordance with the optical estimation, the objective PBA shifts from the initial position by maximum value increasing the back focal distance of objective by ~ 1.27 mm.

If titanium (type VT-1) is used in the capacity of the material of body 5, mountings and rings 6, 7, 8, 11, 12, complete shift of PBA which must be compensated by components 9 and 10 will be equal to 1.364 mm.

It can be achieved in case of the selection of fluoroplastic F-4 for the first compensation element 9 and component 10 with the length of component 9 equal to ~ 120.4 mm and length of component 10 equal to 47 mm.

The total value of compensation shift of PBA will be 1.364 mm providing the concurrence of objective PBA with the plane of photodetector 4 in case of temperature drop to minus 50 °C.

In case if the ambient temperature is +20 °C corresponding to the normal climatic conditions, the coefficient of objective contrast transfer has the following values:

- for the point on axis (diffraction quality) CCT = 45.3%
- for the point on axis (aberration quality) CCT = 42.1%
- for the field point 6 mm from the image center CCT_М = 39.6%, CCT_С = 39.4%

In case if the ambient temperature is minus 50 °C corresponding to the minimum set temperature for operating conditions:

- for the point on axis (diffraction quality) CCT = 45.4%
- for the point on axis (aberration quality) CCT = 42.0%
- for the field point 6 mm from the image center CCT_М = 36.9%, CCT_С = 37.4%

As it is seen from the calculations, in case of variation of ambient temperature the infrared objective provides the concurrence of the plane PBA with photodetector plane keeping the permissible quality of image, which is close to diffraction image,

обеспечить изменением длины компонента 10 и соответствующим изменением длины компонента 11 с сохранением их суммарной длины:

$$L_{2k-1} + L_{2k-2} = \text{const},$$

где L_{2k-1} - длина компонента 10;

L_{2k-2} - длина компонента 11.

Увеличение (или уменьшение) длины L_{2k-1} компонента 10 и, соответственно, уменьшение (или увеличение) длины L_{2k-2} компонента 11, сохраняя неизменной их суммарную длину, позволяет устранять влияние разброса коэффициентов линейного расширения у материалов компенсационных элементов 9 и 10, которые имеются на разных партиях поставок этих материалов, простым методом подбора длин элементов 10 и 11.

Определение длины компонента 10 и соответствующей длины компонента 11 производится один раз для каждой партии материала методом коллимационного измерения величины "недокомпенсации" или "перекомпенсации" фокусировки в условиях камеры холода при -50°C .

Таким образом, рассмотренный здесь комплекс конструктивных приемов позволяет обеспечить атермальность оптических частей

for the optoelectronic devices using the microbolometric arrays in the capacity of photodetectors with the pixel size up to $17\ \mu\text{m}$.

However, the material, which the compensation elements 9 and 10 are made of, has the spread of the coefficients of linear expansion in the area of temperatures from minus 10 to $+20\ ^{\circ}\text{C}$, which is regulated by GOST 10007-80 and equal to $(80 \div 250) \times 10^{-6}$. The calculations described above are based on the average value of the coefficient, which is assumed to be equal to 165×10^{-6} , and length of component 10, which is equal to 47 mm. In case of the deliveries of material for the first compensation element 9 and component 10 of the second compensation element, the deviations of the values of coefficient of linear expansion from the average value are possible in different delivery batches, and the compensation of these deviations can be provided by the change of the length of component 10 and corresponding change of the length of component 11 with the retention of their total length:

$$L_{2k-1} + L_{2k-2} = \text{const},$$

where L_{2c-1} is the length of component 10;

L_{2c-2} is the length of component 11.



28–30 СЕНТЯБРЯ 2016



15-я международная выставка-форум

ПРОМЫШЛЕННЫЙ САЛОН. МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Станкостроение
Промышленное оборудование
Инструмент и принадлежности
Автоматизация проектирования

Сварка
Аддитивные технологии
Технологическая оснастка
Инжиниринг

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТЕХНОЛОГИЙ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ



СОЮЗ
МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
РОССИИ



АССОЦИАЦИЯ
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»



РОР «СОЮЗ
РАБОТОДАТЕЛЕЙ
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ»



ЭКСПО-ВОЛГА

г. Самара, ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-24

www.expo-volga.ru

приборов наблюдения и прицеливания, повышает их эксплуатационные свойства и обеспечивает живучесть объекта в реальных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Медведев А.В., Гринкевич А.В., Князева С.Н.** Практические достижения в оптико-электронной технике. – ОАО "Ростовский оптико-механический завод", ОАО "Ярославский полиграфкомбинат", 2010.
2. **Медведев А.В., Гринкевич А.В., Князева С.Н.** Практика конструктора оптико-электронной техники. – ОАО "Ростовский оптико-механический завод", ОАО "Ярославский полиграфкомбинат", 2015.
3. **Ллойд Дж.** Системы тепловидения/Пер. с англ. – М.: Мир, 1978.

The increase (or decrease) of the length L_{2c-1} of component 10 and respectively the decrease (or increase) of the length L_{2c-2} of component 11 with the retention of their total length allow eliminating the influence of the spread of the coefficients of linear expansion in the materials of compensation elements 9 and 10, which the different delivery batches of these materials have, using the simple method of the selection of lengths of elements 10 and 11.

Determination of the length of component 10 and corresponding length of component 11 is performed once for every material batch using the method of collimating measurement of focusing "undercompensation" or "overcompensation" under the conditions of cold chamber of minus 50 °C.

Thus, described complex of constructive methods allows providing the athermal stability of optical parts of observation and sighting devices, enhances their operational properties and provides the object survivability under the actual conditions of operation.

КОНТАКТНЫЕ ЛИНЗЫ С АВТОФОКУСОМ

Очки, обычные контактные линзы или хирургическое вмешательство улучшают зрение у пациентов с пресбиопией (возрастной дальнозоркостью), однако следствием всех этих методов является потеря контрастности и чувствительности, а также проблемы со зрением в темное время суток.

Контактные линзы с регулируемым фокусом, задуманные Хонгри Джанг из Висконсинского университета в Мэдисоне, вероятно, будут иметь следующую конструкцию: управляемые по специальному алгоритму сенсоры, электронные платы, повторяющие форму линзы, а также источник питания – все должно быть встроено в мягкий, гибкий материал, который надевается на глаза.

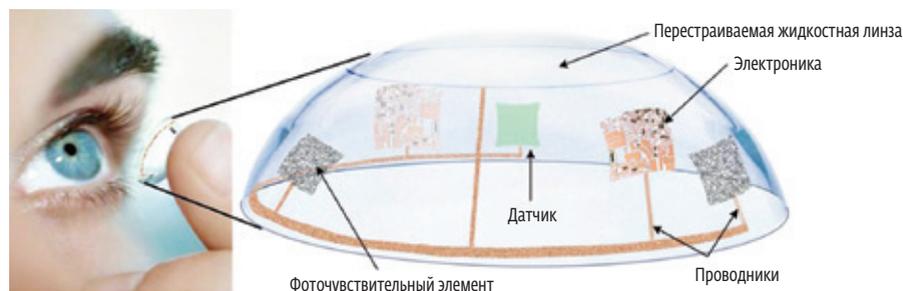
Идея разработки такой линзы взята у нильского слоника (вид пресноводных рыб из семейства мормировых), сетчатка глаза которого имеет ряд глубоких чашеобразных структур с отражающими боковыми стенками. Такая конструкция позволяет собирать свет и усиливать определенные его длины волн, требуемые рыбе для зрения. Исследователи создали устройство, которое содержит тысячи очень маленьких подобных оптоколлекторов.

В отдельных работах, исследователи разработали и протестировали пару различных материалов для контактных линз. В одной работе ученые создали жидкостную линзу из капли кремнийорганической жидкости и воды, которые не смешивались. Капля жидкости находи-

лась в камере на вершине гибкой платформы, в то время как пара электродов создала электрическое поле, которое изменяло поверхностное натяжение каждой жидкости по-разному, в результате чего конструкция работала как линза с изменяющимся фокусным расстоянием. Данная линза позволила фокусироваться на объектах с размером порядка 20 мкм.

В другой работе был создан прототип глаза насекомого, который состоит из тысячи микролинз, каждая из которых улавливает свет с разных направлений. Джанг и ее коллеги разработали гибкий массив из искусственных микролинз, каждая из которых состоит из "леса" кремниевых нанопроводов.

Массив микролинз обеспечивает более высокое разрешение в сравнении с жидкостными линзами. Гибкость массива делает его пригодным не только для контактных линз, но и для других приложений. Ученые предполагают, что можно сконструировать лапароскопический инструмент с набором таких линз для получения изображения высокого разрешения с обзором в 360° внутри тела пациента. Гибкий массив также может быть установлен на фонарный столб, чтобы увидеть перекресток со всех сторон.



Множество компонентов для контактной линзы – фоточувствительная панель, электроника – будут встраиваться вдоль края гибкого материала

16-я Международная
выставка сварочных
материалов, оборудования
и технологий

weldex
россварка

**11–14 октября
2016 года**

Москва

КВЦ «Сокольники»

Получите билет на сайте
www.weldex.ru



Организатор:
Группа компаний ITE
Тел.: +7 (499) 750 08 28
E-mail: weldex@ite-expo.ru

Официальная поддержка:



Российское
научно-техническое
сварочное общество



European Welding Association



Журнал
«Сварочное производство»

Генеральный информационный партнер: