

## ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЭНДОСКОПА

*Марина Петровна Егоренко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ст. преподаватель кафедры фотоники и приборостроения, тел. (913)898-59-22, e-mail: e\_m\_p@mail.ru

*Виктор Сергеевич Ефремов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-91-11, e-mail: ews49@mail.ru

Рассмотрена принципиальная возможность расчета оптической системы высокотемпературного эндоскопа из термостойких оптических кристаллов. Небольшое число термостойких оптических кристаллов, различие их оптических и механических свойств ограничивает возможности в создании ахроматических пар при разработке эндоскопа.

**Ключевые слова:** высокотемпературный эндоскоп, термостойкие оптические кристаллы.

## OPTICAL SYSTEM FOR HIGH-TEMPERATURE ENDOSCOPE

*Marina P. Egorenko*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (913)898-59-22, e-mail: e\_m\_p@mail.ru

*Viktor S. Efremov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)343-91-11, e-mail: ews49@mail.ru

The principal possibility of the optical scheme calculation for a high-temperature endoscope made of heat-resistant optical crystals is considered. A small number of heat-resistant optical crystals and the difference in their optical and mechanical properties limit the ability to create achromatic pairs in the development of the endoscope.

**Key words:** hightemperature endoscope, heat-resistant optical crystals.

### *Введение*

В науке и технике широко применяют технические эндоскопы. Визуальный контроль труднодоступных объектов с помощью технического эндоскопа является одной из важнейших задач в промышленности [1–8].

В последнее время для целей мониторинга технологических процессов в печах, температура которых достигает 2 000 °С и более стали применять высокотемпературные эндоскопы с различными системами охлаждения [9, 10].

Примером высокотемпературного эндоскопа может служить эндоскоп НТО38, который обеспечивает высокое качество изображения при наблюдении как невооруженным глазом, так и для съемки фото- и видеокамерой.

Благодаря циркулирующей охлаждающей рубашке, эндоскоп НТО38 удобен в использовании. Он подходит для печей, температура в которых достигает 2000 °С.

На рис. 1 представлен высокотемпературный эндоскоп НТО38, а в табл. 1 приведены некоторые его параметры [10, 11].



Рис. 1. Высокотемпературный эндоскоп НТО38:  
а) эндоскоп с насосной станцией; б) устройство эндоскопа

Таблица 1

Некоторые параметры эндоскопа НТО38

Параметры		Значения
Система передачи изображения		Оптическая
Система охлаждения	Вода	Контурная
	Воздух	Нет
Водяная рубашка		Свободная циркуляция на 360°
Рабочая температура, °С		От 750 до 2 000
Конструктивные	Диаметр, мм	38
	Длина, мм	От 900 до 1 200
	Масса, кг	7
Объективы сменные	Направление осмотра, град	0–45–70
	Поле обзора, град	60
Фокусировка, см		От 10 до бесконечности
Диафрагма ирисовая механическая		От 0,5 мм до полного раскрытия
Подключения: вход/выход		Вода: BSP 1/2" Воздух: BSP 3/8"
Видеонаблюдение		Окуляр
Переходник для видеокамеры		Держатель C/CS
Переходник для фотокамеры		Кольцо T2 для зеркальных камер
Фильтры		Серые и цветные
Фокусный увеличитель		2-кратный увеличитель, обзор 30°
Управление и безопасность		Станция управления
		Стенд для извлечения

Двухконтурная система охлаждения в эндоскопе является одновременно и достоинством, и недостатком устройства. Наличие насосной станции серьезно усложняет конструкцию эндоскопа, и от этой технологии желательно отказаться. В настоящей работе рассмотрена принципиальная возможность расчета оптической системы высокотемпературного эндоскопа из термостойких оптических кристаллов.

### Основная часть

Выполнение работы предполагалось провести в два этапа. На первом этапе оценить принципиальную возможность разработки оптической схемы эндоскопа (подобрать термостойкие оптические материалы и провести моделирование оптической системы). На втором этапе провести оценку влияния температуры на качество изображения при наличии одного контура охлаждения или при отсутствии системы охлаждения.

В табл. 2 приведены некоторые термостойкие материалы и их параметры [13–17], особенно интересна для расчета оптической системы температура плавления,  $T$  °С. Также в табл. 2 показаны параметры двух термостойких металлов, пригодных для изготовления механических деталей эндоскопа, так как коэффициенты линейного расширения оптических и механических деталей должны быть согласованы.

Таблица 2

Некоторые параметры термостойких материалов

Название материала	Химическая формула	$T$ °С плавления	Твердость по Моосу / Кнупу	$\alpha \times 10^{-6}$ , К <sup>-1</sup>	Растворимость, г/100 г H <sub>2</sub> O	$n_{\lambda = 0,589}$	$\nu$
Оптические кристаллы							
Алмаз	C	≥ 3 500	10/8 820	0,58	н/р	2,4173	43,55
Окись магния	MgO	2 800	5,5/692	11,2	$8,6 \times 10^{-4}$	1,7379	37,10
Карбид кремния	SiC	2 600	9,5/2 880	3,26	н/р	2,6525	17,58
Шпинель	MgO <sub>x</sub> 3,5Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 050	8/1 140	5,93	н/р	1,7570	63,08
Сапфир	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 030	9/1 370	5,0	$9,8 \times 10^{-6}$	1,7681	67,85
Титанат стронция	SrTiO <sub>3</sub>	2 030	6,5/595	9,4	н/р	2,4269	12,83
Кварц кр.	SiO <sub>2</sub>	1 723	7/820	7,07	н/р	1,5442	55,53
Кварц пл.	SiO <sub>2</sub>	1 700	5,5/461	0,5	н/р	1,4584	68,42
Металлы							
Титан	Ti	1 670	6/НБ 716 Мпа*	9,2	н/р	–	–
Вольфрам	W	3 422	7,5/НБ 488 Мпа*	4,4	н/р	–	–

\* – твердость по Бринелю

Основой любого эндоскопа является его оптическая система. Особенностью рассматриваемой оптической системы эндоскопа является невозможность применения склеенных компонентов, широко используемых в обычных системах эндоскопов для коррекции хроматизма. Значительные температурные перепады ( $2\ 000^\circ$  и более) при различных коэффициентах линейного расширения оптических кристаллов вызывают расклейки дублетов линз. Кроме того, малое число термостойких оптических кристаллов и разброс их оптических параметров по показателю преломления и коэффициенту дисперсии ограничивают возможности разработчиков в составлении ахроматических пар [18–20] для исправления хроматических aberrаций.

В работе [12] приведена типовая оптическая схема эндоскопа, которая была взята за основу при моделировании. Ахроматические дублеты выполнены расклеенными, что увеличивает число коррекционных параметров линз, правда усложняет в последствии центрировку. Наиболее подходящим материалом для оправ линз является титан (более близкий по коэффициенту линейного расширения к выбранным оптическим кристаллам). В качестве примера приведен результат моделирования высокотемпературного эндоскопа из термостойких оптических материалов (рис. 2, 3).

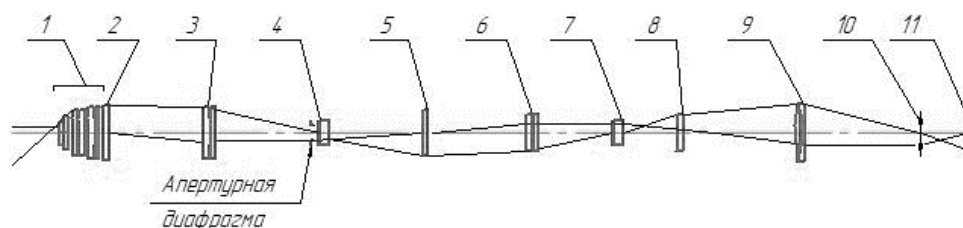


Рис. 2. Типовая оптическая схема эндоскопа из термостойких оптических кристаллов:

1 – объектив; 2, 5, 8 – коллектив; 3, 4 – первая оборачивающая система; 6, 7 – вторая оборачивающая система; 9 – окуляр; 10 – параксиальная замена объектива видеокамеры; 11 – фокальная плоскость объектива видеокамеры

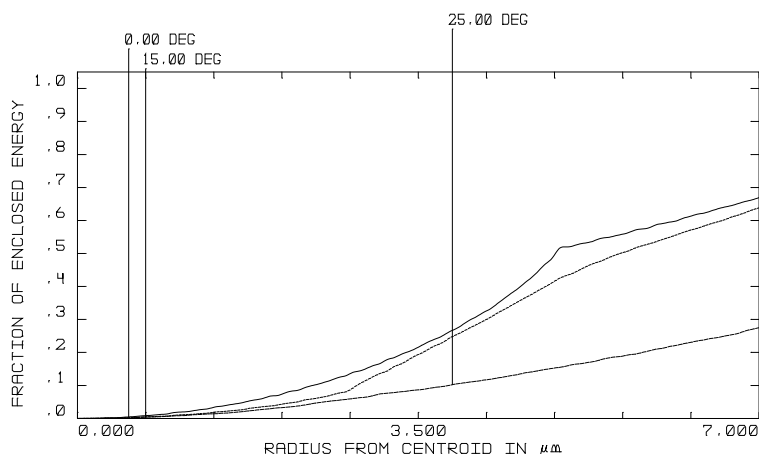


Рис. 3. График концентрации энергии в пикселе фотоприемника

## *Заключение*

Таким образом, при выполнении первого этапа определена группа термостойких оптических кристаллов пригодных для оптических элементов эндоскопа. Результаты моделирования оптической системы показывают принципиальную возможность разработки высокотемпературного эндоскопа из термостойких оптических кристаллов. Определена группа термостойких металлов для механических деталей эндоскопа.

На втором этапе разработки предполагается провести оценку влияния температуры на качество изображения при наличии одного контура охлаждения или при отсутствии системы охлаждения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 55037–2012. Оптика и оптические приборы. Эндоскопы и приборы эндотерапевтические медицинские. Частные технические требования. Методы испытаний параметров. – Введ. 2014–07–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 18 с.
2. НИЦ «Промышленная оптика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i-optics.ru/produksiya/3/>(дата обращения: 14.02.2019).
3. Томский завод технических эндоскопов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tzte.ru/> (дата обращения: 15.02.2019).
4. Научно-технический центр «Эксперт». Неразрушающий контроль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ntcexpert.ru/110-acenter/tekhnicheskie-endoskopy> (дата обращения: 16.02.2019).
5. Технические эндоскопы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://divecon.net/catalog/tekhnicheskie-endoskopy/> (дата обращения: 17.02.2019).
6. Промышленные оптические системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--80aajzhcnfck0a.xn--p1ai/PublicDocuments/1014566.pdf> (дата обращения: 18.02.2019).
7. Априори-Системс. Единый центр неразрушающего контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aprioris.ru/about/blog/tehniceskij-endoskop.html> (дата обращения: 22.02.2019).
8. Эндоскоп. Виды и устройство. Работа и применение. Особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tehpribory.ru/glavnaia/pribory/endoskop.html> (дата обращения: 03.03.2019).
9. Неразрушающий контроль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mega-nk.ru/i/cat/vizualnyj-kontrol/vysokotemperaturnye-endoskopy-i> (дата обращения: 05.03.2019).
10. Высокотемпературный эндоскоп НТО-38. Каталог «Оборудование для неразрушающего контроля и технической диагностики» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://Endt.ru>. (дата обращения: 15.03.2019).
11. Высокотемпературный эндоскоп НТО-38 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mega-nk.ru/i/cat/vizualnyj-kontrol/vysokotemperaturnye-endoskopy-i/vysokotemperaturnyj-endoskop-hto-38> (дата обращения: 18.03.2019).
12. Хацевич Т. Н., Михайлов И. О. Эндоскоп : учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и расш. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 260 с.
13. Bass M. Handbook of Optics. The McGraw-Hill Companies: 1995. – 1606 p.
14. Palik E. D. Handbook of Optical Constants of Solids. Vol. 1. – New York: Academic Press, 1985. – 724 p.
15. Palik E. D. Handbook of Optical Constants of Solids. Vol. 2. – New York: Academic Press, 2010. – 1024 p.

16. Moriaki Wakaki, Keiei Kudo, Takehisa Thibuya. Physical Properties and Data of Optical Materials [Электронная книга]: CRC Press, 2007. – 576 с.
17. Воронкова Е. М., Гречушников В. Б., Дистлер Г. И., Петров И. П. Оптические материалы для инфракрасной техники : справ. издание. – М. : Наука, 1965. – 335 с.
18. Ефремов В. С., Шлишевский В. Б. Оптические материалы и ахроматическая коррекция типовых компонентов оптических систем : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 284 с.
19. Слюсарев Г. Г. Расчет оптических систем. – Л. : Машиностроение, 1975. – 640 с.
20. Чуриловский В. Н. Теория хроматизма и aberrаций третьего порядка. – Л. : Машиностроение, 1968. – 311 с.

© М. П. Егоренко, В. С. Ефремов, 2019