

Расчет объектива тепловизионного канала кольпоскопа**Инженерный вестник # 03, март 2014****УДК: 621.384.3****авторы: Кузнецов Д. А., Кулакова Н. Н.**kuznetsovda.pm@gmail.comnnkulakova@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Целью настоящей работы является расчет объектива тепловизионного канала для медицинского прибора кольпоскопа. Такой канал должен позволить снимать термограммы с исследуемых биологических поверхностей [1]. Кольпоскоп — специальный прибор, представляющий собой бинокулярный микроскоп. Термограмма - функциональная зависимость между температурой биологической поверхности и степенью ее поражения [2]. Использование тепловизионных каналов несомненно является научной новизной в области кольпоскопических исследований. Поэтому усовершенствование кольпоскопа путем введения тепловизионного канала является важнейшей задачей для здравоохранения. Применение модернизированного прибора позволит обеспечить раннюю диагностику заболеваний биотканей, а так же повысит вероятность обнаружения пораженных участков.

Актуальность статьи вызвана тем, что на примере модернизации различных медицинских приборов, рассматриваемых в предыдущих работах [2,3], доказана эффективность применения тепловизионных систем в медицине. Однако вопрос оснащения кольпоскопа тепловизионным каналом в предшествующих работах не рассматривался. В данной статье рассмотрены все этапы расчета объектива тепловизионного канала кольпоскопа, имеющие особенности, связанные со спецификой кольпоскопических исследований.

Известно, что развитие злокачественных новообразований сопровождается локальным повышением температуры пораженного участка на $0,5^{\circ}\text{C}$ и более. Непораженные участки тела имеют температуру $36,6^{\circ}\text{C}$ [4]. Указанное свойство исследуемой биологической ткани можно охарактеризовать с помощью термограмм. Она дает полную картину состояния поверхности ткани. Поэтому специалисту не придется ограничиваться только визуальной информацией, полученной в кольпоскопе.

Приведем основные недостатки, которыми обладает ранее разработанная конструкция кольпоскопа без тепловизионного канала:

- невысокая вероятность диагностирования заболевания, $P < 0,6$;

- работа только в видимой области спектра;
- зависимость диагностики от освещения исследуемой поверхности;
- отсутствие термограммы.

В связи с этим возникла необходимость в создании тепловизионного канала кольпоскопа, который должен состоять из объектива и приемника излучения, фиксирующего температуру тела. Приведем техническое задание на разработку объектива тепловизионного канала [3]:

- рабочий спектральный диапазон прибора – 8-14 мкм;
- фокусное расстояние объектива f' не более 80 мм;
- относительное отверстие объектива D/f' -1/1;
- линейное поле $2y=24$ мм;
- длина объектива 155 мм;
- разрешение 30 л/мм.

Технические требования к тепловизионному каналу:

- габаритный размер канала не более 100-300 мм;
- масса не более 1 кг;
- энергопотребление 20-30 Вт электроэнергии напряжением 9-12 В;
- стоимость прибора не должна превышать 1 мл руб.

В качестве приёмника излучения решено использовать матрицу фирмы OPGAL, модель Eye R Core . Этот приемник обеспечивает требуемое качество изображения для решения поставленной задачи [5]. Порог чувствительности приемника - 0.3 ° С, размер одного элемента матрицы - 17 x17 мкм, размер матрицы 640x480. Анализ известных тепловизионных систем, используемых в медицинских приборах эндоскопах, показал, что в качестве объектива целесообразно использовать трехлинзовую систему. Эта система состоит из двух положительных линз по бокам и одной отрицательной между ними [6]. В качестве исходной конструкции был выбран объектив медицинского прибора эндоскопа марки FHY-10RBS (Япония) [7]. Конструктивные параметры этого объектива приведены в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивные параметры объектива

№ поверхности	Радиус кривизны, мм	Толщина, мм	Марка стекла
1	141,55	12 ,2	Германий
2	255,21		
3	-126,95	10	ZnSe
4	-156,08		
5	34,71	9,9	Германий
6	37,97		

Основные характеристики исходного варианта объектива:

- фокусное расстояние $f' = 90\text{мм}$;
- угловое поле $2w = 12,25^\circ$;
- относительное отверстие $D/f' = 1/4$;
- разрешение 20 л/мм .

Расчет по программе *Zemax* показал, что исходный вариант объектива имеет среднеквадратический радиус пятна рассеяния равный 40 мкм , а по техническому заданию он должен быть равен 30 мкм . Этот объектив не обеспечивает заданное по техническому заданию разрешение в 30 л/мм . В связи с этим было принято решение провести оптимизацию исходной схемы объектива.

Для оптимизации были выбраны так называемые операторы, которые контролируют при расчете заданные величины поперечной сферической аберрации, комы, заднего фокусного расстояния и общей длины оптической системы. Это операторы *TRAC*, *COMA*, *EFFL* и *TOTR* соответственно. Для оператора *TRAC* (поперечная сферическая аберрация) и *COMA* (меридиональная кома) это нулевые значения; для оператора *EFFL* (заднее фокусное расстояние) – 75 мм , а для оператора *TOTR* (общая длина оптической системы) – 200 мм .

Оптимизация проведена для критерия качества изображения, который назван в программе *Zemax* среднеквадратическим радиусом пятна рассеяния (сокращенно *RMS Spot Radius*). Вычисление критерия проведено для центра тяжести лучей для каждой точки поля. Обозначение центра тяжести лучей в программе – *Centroid*. Алгоритм оптимизации минимизирует оценочную функцию, состоящую из приведенных выше операторов оптимизации.

В программе *Zemax* в меню *Editors* (редакторы) присутствует пункт *Default Merit Function* (задание функции оптимизации). С помощью этого пункта меню задается таблица с выбранными операторами оптимизации и их значениями в исходной системе. Кроме того, в этой таблице необходимо указать желаемые значения этих операторов, которые должны быть получены в ходе оптимизации. После проведения оптимизации были получены конструктивные параметры объектива, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Конструктивные параметры объектива после оптимизации

№ поверхности	Радиус кривизны, мм	Толщина, мм	Марка стекла
1	159,05	7,7	Германий
2	292,58		
3	-98,57	10	ZnSe
4	-113,05		
5	34,42	9,3	Германий
6	38,32		

На рис. 1 приведена схема объектива после оптимизации.

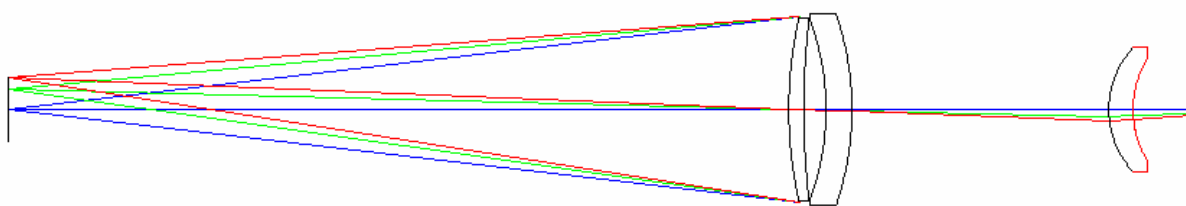


Рис. 1. Оптическая схема объектива после оптимизации

Оптимизированный объектив имеет следующие основные характеристики:

- фокусное расстояние $f' = 75$ мм;
- линейное поле в пространстве предметов $2y = 24$ мм;
- относительное отверстие $D/f' = 1/1$;
- разрешение 30 линий/мм;
- длина системы 155 мм;
- диапазон длин волн 8-14 мкм.

Характеристика качества изображения оптимизированного объектива тепловизионного канала кольпоскопа приведены на рис. 2-5, где P_x , P_y - относительные координаты на зрачке в меридиональной и сагиттальной плоскостях; E_x , E_y - поперечные aberrации объектива в меридиональной и сагиттальной плоскостях.

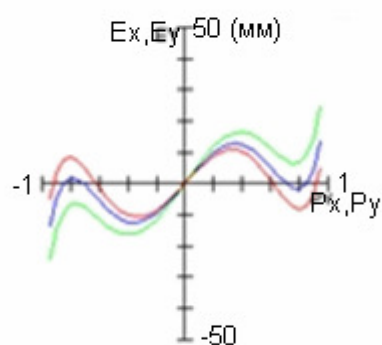


Рис.2. Поперечная aberrация оптимизированного объектива для точки на оси

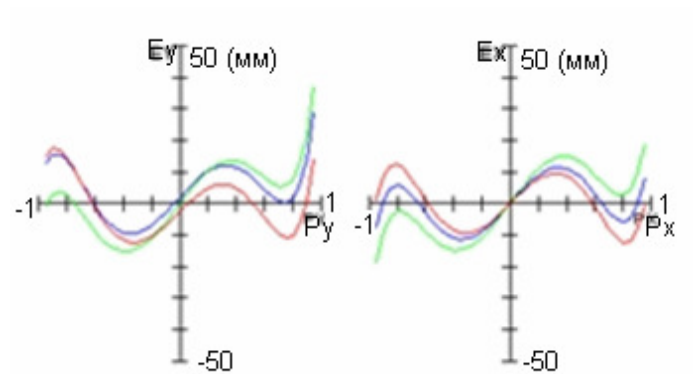


Рис.3. Поперечная абберация оптимизированного объектива для линейного поля $2y=16\text{мм}$

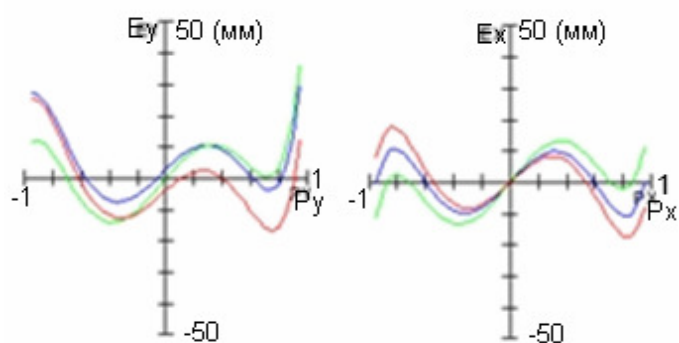


Рис.4. Поперечная абберация оптимизированного объектива для линейного поля $2y=24\text{мм}$

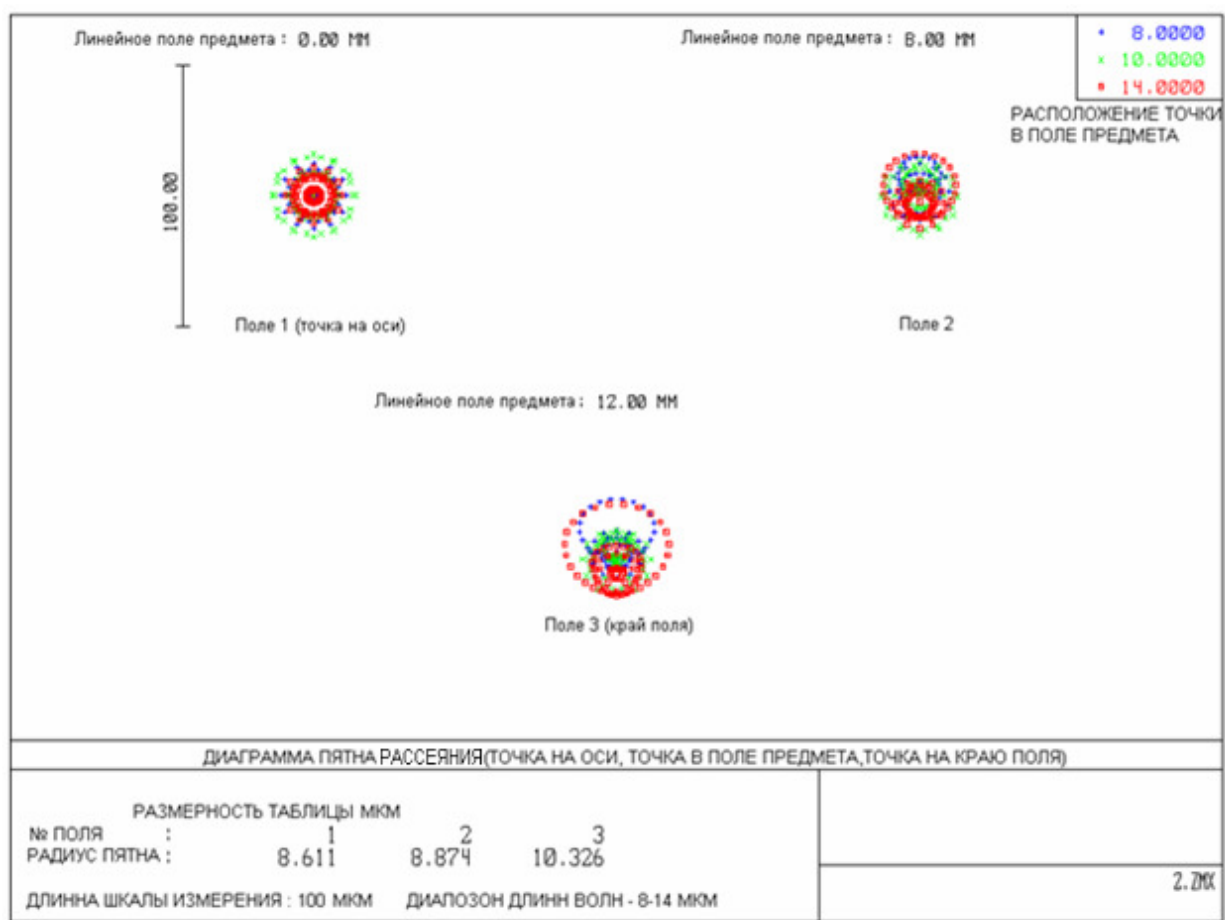


Рис. 5. Диаграмма пятна рассеяния оптимизированного объектива

Анализ приведенных выше зависимостей показывает, что среднеквадратическое значение радиуса пятна рассеяния не превышает 11 мкм. Это означает, что данный объектив, в отличие от исходного варианта, обеспечивает требуемое по техническому заданию разрешение, а именно 30 л/мм. Длина объектива составляет 150 мм, что так же удовлетворяет условиям технического задания.

Рассчитанный объектив является базовым элементом тепловизионного канала. Достоинством кольпоскопа, оснащенного тепловизионным каналом, является его сравнительно небольшие габариты, не превышающие 300 мм. Прибор обладает малым весом, менее 3 кг. Поэтому он прост в использовании, фиксируется на стандартной треноге и не требует дополнительных креплений. Цена тепловизионного канала не превышает 200 тыс. рублей, что не влечет существенного увеличения стоимости кольпоскопа. Применение кольпоскопа, оснащенного тепловизионным каналом, позволит обеспечить раннюю диагностику заболеваний в области онкологии и существенно повысить вероятность обнаружения злокачественных новообразований.

Список литературы

1. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002-290 с.
2. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. – М.: Мир, 1988-416 с.

3. Козёлкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники. М.: Машиностроение, 1974-336 с.
4. Ишанин Г. Г., Панков Э. Д., Андреев А. Л. Источники и приемники излучения. СПб.: Политехника, 1991-240 с.
5. Роговский С.И., Т.Ф. Татарчук. Основы кольпоскопической диагностики. М.: ИД Спектр, 2012 -200 с.
6. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: ИД Спектр, 2009-238 с.
7. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Тепловой контроль М.: ИД Спектр, 2011-230 с.