

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 535.421; УДК 681.7

АХРОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИК-ОБЪЕКТИВЫ  
Шишкин И.П., Шкадаревич А.П.Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО  
Минск, Республика Беларусь

Объективы, работающие в инфракрасной области спектра применяются в тепловизионных приборах различного назначения: в военной технике, медицине, термографии. Требования, предъявляемые к качеству изображения объективов, определяются параметрами приёмников излучения ИК-диапазона – микроболометров, которые постоянно совершенствуются. До недавнего времени размер пикселя серийно-выпускаемых микроболометров составлял 25–35 мкм. Сейчас же многие производители наладили выпуск матриц с размером пикселя 12–17 мкм.

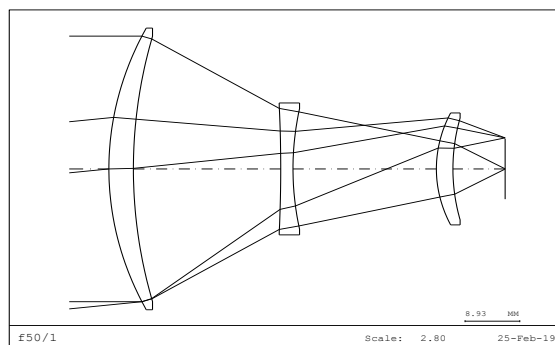
С одной стороны, с уменьшением размера пикселя требуются объективы с более высоким разрешением, а с другой – повышаются тактико-технические характеристики прибора – увеличивается дальность работы, а масса и стоимость снижаются.

Конструкция большинства современных объективов с фиксированным фокусом для тепловизоров включает 3–4 одиночных германиевых линзы, разделённых воздушными промежутками. Такая конструкция достаточно компактна, обеспечивает разрешение 20 лин/мм при светосиле 1.2~1.4 и имеет сравнительно невысокую стоимость. В то же время, выбор оптических материалов, прозрачных в спектральном диапазоне 8...14 мкм, весьма ограничен, а возможности улучшить качество изображения за счёт увеличения числа элементов или длины объектива практически исчерпаны. По этой причине многие разработчики активно используют в объективах асферические линзы [1, 2] или дифракционные элементы [3]. При таком подходе можно сократить количество линз, но не удастся добиться качественного улучшения разрешающей способности объектива. К тому же профиль асферической поверхности обычно выполняется на линзах большого диаметра, что при относительном отверстии объектива 1:1 приводит к высоким требованиям к точности изготовления линз. И если говорить о балансе между качеством изображения и стоимостью объектива, то использование асферики не всегда целесообразно.

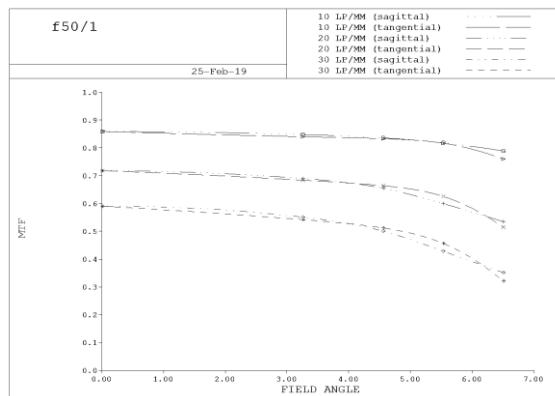
Альтернативным методом достижения теоретического предела разрешения в объективе может быть его ахроматизация, которая заключается в подборе комбинации стёкол, имеющих различные коэффициенты дисперсии. С помощью этого метода можно эффективно компенсировать хроматические aberrации и тем самым значительно улучшить качество изображения объектива без

использования технологически сложных асферических поверхностей.

На рис. 1 показан вид и график оптической передаточной функции ахроматизированного объектива с фокусным расстоянием 50 мм, относительным отверстием 1:1 и полем зрения 14°. Все линзы в объективе – сферические. Наружные линзы выполнены из германия, а средняя линза из стекла с низкой дисперсией. Объектив оптимизирован для спектра 8..12 мкм и имеет высокий контраст изображения на пространственной частоте 30 лин/мм, что соответствует размеру пикселя 15 мкм.



а



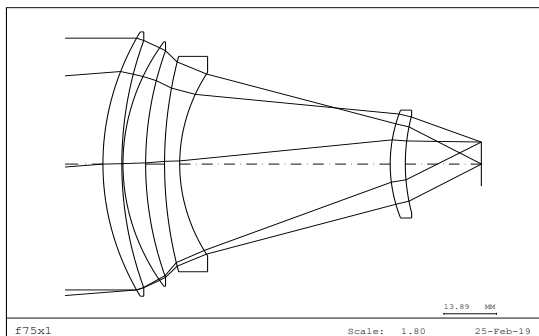
б

Рисунок 1 – Ахроматизированный объектив с фокусным расстоянием 50 мм:

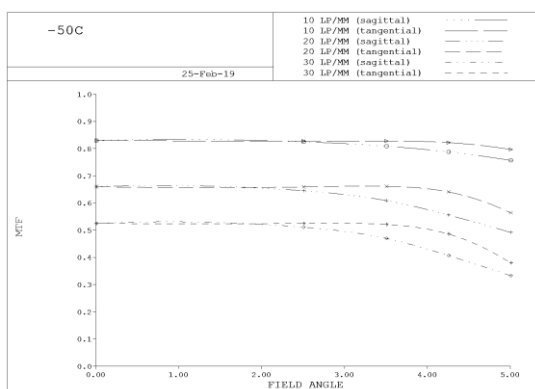
а – вид объектива; б – график оптической передаточной функции

По такому же принципу построен термостабилизированный 4х линзовый объектив (рис. 2) с фокусным расстоянием 75 мм, относительным отверстием 1:1 и полем зрения 10°, в котором наружные линзы выполнены из германия, а внутренние – из материала с низким показателем

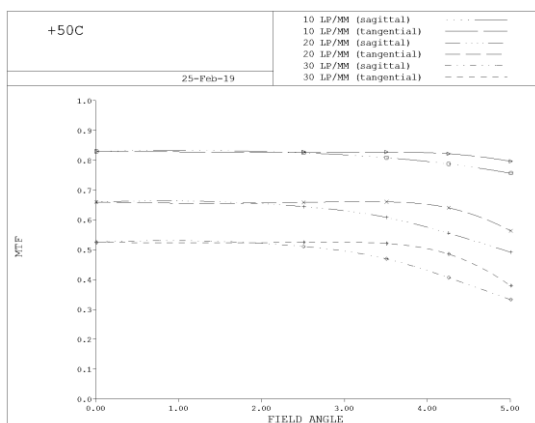
преломления. Все линзы объектива сферические. Результат пассивной стабилизации, когда определённая комбинация линз обеспечивает постоянство положения плоскости изображения при изменении рабочих температур от  $-50^{\circ}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  иллюстрируют графики оптической передаточной функции.



*a*



*б*



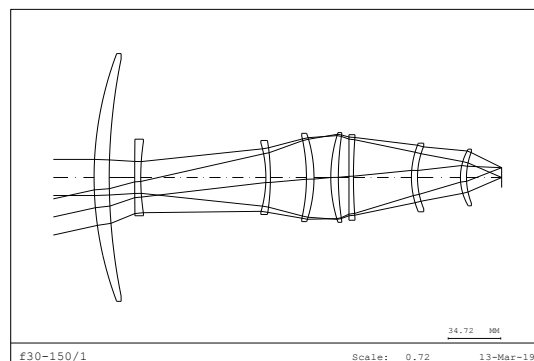
*в*

Рисунок 2 – Термостабилизированный ахроматизированный объектив с фокусным расстоянием 75 мм:

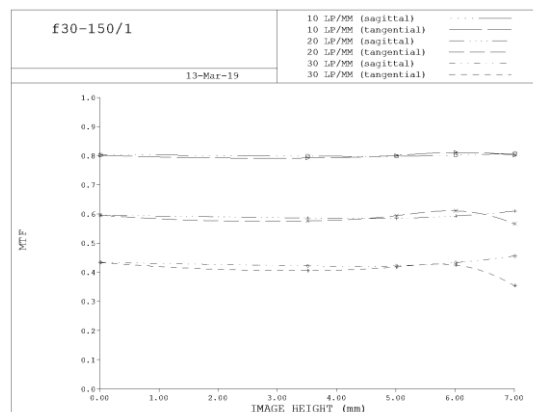
*a* – вид объектива; *б* – график оптической передаточной функции для  $T = -50^{\circ}\text{C}$ ; *в* – график оптической передаточной функции для  $T = +50^{\circ}\text{C}$

Применив метод ахроматизации в тепловизионном зум объективе, все линзы которого асфери-

ческие и выполнены из германия [4], можно получить более высокие оптические характеристики. На рис. 3 показан пример ахроматизированного восьмилинзового объектива с переменным фокусным расстоянием 30–150 мм и относительным отверстием 1:1, в котором все линзы сферические, а три линзы выполнены из материала с более низким, чем у германия показателем преломления. Объектив имеет равное разрешение во всём диапазоне фокусных расстояний, а благодаря функции зум в нём нетрудно реализовать температурную стабилизацию.



*a*



*б*

Рисунок 3 – Ахроматизированный объектив с переменным фокусным расстоянием 30–150 мм: *a* – вид объектива; *б* – график оптической передаточной функции

### Литература

1. Patent US2009067040 МПК G02B 13/14. Far-infrared camera lens, lens unit and imaging apparatus / Tatsuya Izumi. – Pub.Date: Mar. 12, 2009.
2. Patent US2018067280 МПК G02B 13/14. Athermalized and achromatized multispectral optical systems and method of designing same / Blair Lane Unger, Jamie Leigh Ramsey. – Pub.Date: Mar. 8, 2018.
3. Patent US2016131876 МПК G02B 13/14. Compact achromatic and passive optically-only athermalized telephoto lens / Norbert Schuster. – Pub.Date: May 12, 2016.
4. Patent US2011216398 МПК G02B 13/14. Infrared zooming lens / Ando Minori. – Pub.Date: Nov 8, 2011.