

## **ОБЪЕКТИВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ЗАЩИТОЙ ФОТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ОТ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЯРКОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Игорь Олегович Михайлов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-29-29, e-mail: mio@sibmail.ru

*Татьяна Николаевна Хацевич*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, профессор кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-29-29, e-mail: khatsevich@rambler.ru

Рассмотрена актуальность разработки систем защиты органов зрения человека и фотоприемных устройств современных оптико-электронных приборов от поражающего действия ярких световых импульсов площадных и точечных источников излучения. Предлагается оптическая схема объектива с защитой фотоприемного устройства от мощной вспышки точечного лазерного источника излучения.

**Ключевые слова:** объектив, защита от вспышки, затвор, фотоприемное устройство, жидкие линзы.

## **LENS OF AN OPTICAL ELECTRONIC SYSTEM WITH PROTECTION OF PHOTO-RECEPTION DEVICE FROM DAMAGING EFFECTS OF BRIGHT RADIATION POINT SOURCE**

*Igor O. Mikhailov*

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)343-29-29, e-mail: mio@sibmail.ru

*Tatyana N. Khatsevich*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Professor, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)343-29-29, e-mail: khatsevich@rambler.ru

The article considers the relevance of the development of protection systems for human eye and photodetectors of modern optoelectronic devices from the damaging effects of bright light pulses of extended and point radiation sources. The optical system of a lens with protection of photo-reception device from a powerful flash point laser source of radiation is suggested.

**Key words:** lens, protection against flash, shutter, photodetector, liquid lenses.

### ***Введение. Нелетальные средства ослепления***

Лазерное оружие, содержащее в качестве средства поражения узконаправленный лазерный пучок, в настоящее время, считается перспективным видом вооружений. Мировые лидеры в производстве новых видов вооружений прово-

дятся эксперименты по созданию боевых лазерных систем, развитие и применение которых ограничено международным правом. Согласно протоколу IV об ослепляющем лазерном оружии [1] запрещается применять лазерное оружие во избежание причинения постоянной слепоты незащищенным органам зрения человека. Запрета на временное ослепление не существует. Поэтому наравне с разработкой ослепляющих систем необходима разработка систем защиты не только органов зрения человека, но и фотоприемных устройств (ФПУ) оптико-электронных систем, выводимых из рабочего состояния лазерными средствами поражения [2].

### ***Поражающие факторы вспышки для глаза и ФПУ***

Воздействия мощного светового излучения на органы зрения человека приводит к адаптационному ослеплению, которое оценивается минимальным интервалом времени, необходимым для восстановления способности ориентироваться на местности. Продолжительность ослепления составляет от 5 сек до нескольких минут.

Воздействия мощного светового излучения на органы зрения человека могут привести к фотострессу – функциональному изменению в организме, с поражением участков коры головного мозга, приводящему к изменению в работе центральной нервной системы с изменением психических реакций человека. Поражение сетчатки глаза человека может привести к полной потере зрения. При поражении глаза мощным лазерным излучением появляется боль, спазм век, выделяются слезы, отекают веки. Иногда наблюдается помутнение сетчатки и кровоизлияние [3].

Фотоприемные устройства (ФПУ), широко используемые в современных оптико-электронных системах, под воздействием мощного светового излучения теряют свою работоспособность без возможности ее восстановления.

### ***Основные способы защиты глаза и ФПУ от вспышки***

При воздействии на органы зрения человека яркого светового излучения, срабатывают его естественные защитные реакции: мигательный рефлекс, сужение зрачка, поворот головы. Скорость естественных защитных реакций составляет от 0,15 до 1,5 сек, которой недостаточно для защиты от ослепления.

Фотоприемные устройства (ФПУ) современных оптико-электронных систем, расширяющие возможности органов зрения человека, широко используются в настоящее время. Высокая их стоимость и полная потеря работоспособности оптико-электронной системы при выходе из строя ФПУ требует разработки быстродействующих средств защиты.

Проблема ограничения интенсивности мощных потоков излучения, необходимая для защиты органов зрения человека и ФПУ от ослепления, в настоящее время является актуальной. Прямолинейное распространение света, прерывается непрозрачной преградой или ослабляется оптической средой с требуе-

мыми оптическими характеристиками. Отсюда все способы защиты ФПУ и органов зрения человека от ослепления световым излучением основаны на одном из двух принципов их функционирования: ослаблении или прерывании светового потока. В ряде случаев необходима комбинация этих способов защиты.

### ***Защита от точечного источника пленочным затвором***

В патентной и технической литературе описаны быстродействующие прерывающие поток излучения затворы, защищающие ФПУ и органы зрения человека от мощного светового излучения. Основой таких затворов являются тонкие металлические зеркальные пленки, прожигаемые мощным лазерным излучением от точечного источника, сфокусированного в плоскости пленки.

В работах [4, 5] приводятся лабораторные исследования тонкопленочных зеркальных затворов [6], обеспечивающих защиту ФПУ и органов зрения человека от ослепляющего импульса точечного источника излучения.

На рис. 1 показана особенность применения тонкопленочных затворов, которые должны располагаться в плоскости изображений, совпадающей с плоскостью фоточувствительных элементов.

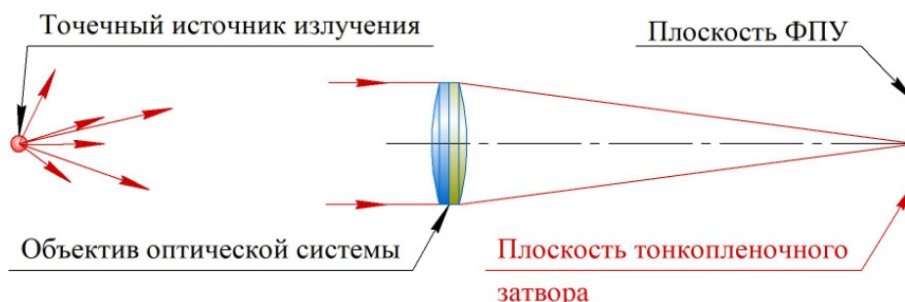


Рис. 1. Размещение тонкопленочного затвора в оптико-электронной системе для защиты от ослепления мощным потоком излучения точечного источника

### ***Жидкий элемент защиты от вспышки***

В качестве ослабляющих систем защиты могут рассматриваться рассеивающие поток излучения оптические среды.

В работе [7] рассматривается возможность применения жидких (жидкостных) оптических элементов, меняющих свою оптическую силу и приводящих к резкой дефокусировке изображения при появлении мощного светового потока. Такая система может быть эффективна при снижении потока излучения от площадного источника излучения. Принцип работы жидких оптических элементов широко описан в современных технических публикациях, например [8–14].

На рис. 2 представлена принципиальная оптическая система с возможными вариантами размещения системы защиты от ослепления органов зрения и ФПУ способами ослабления или прерывания потока излучения. Возможно размеще-

ние нескольких ослабляющих систем для достижения большего коэффициента ослабления потока излучения.

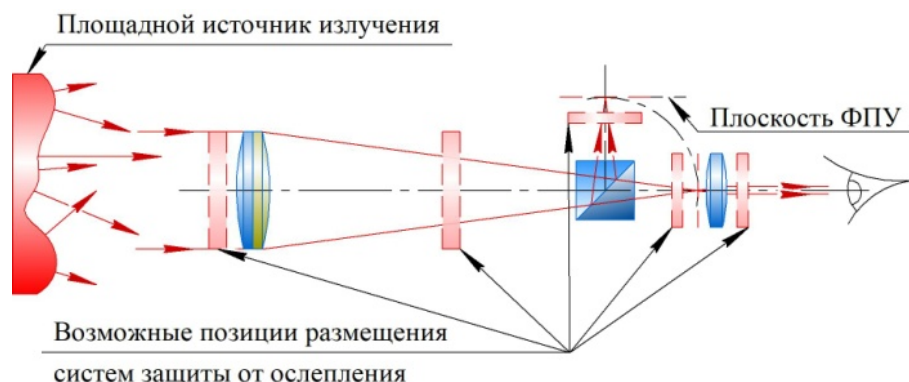


Рис. 2. Возможные варианты размещения систем защиты от ослепления мощным потоком излучения площадного источника в оптико-электронном приборе

### *Принципиальная схема системы защиты от площадных и точечных источников излучения*

На основании рассмотренных выше подходов, в соответствии с рис. 3 предлагается принципиальное решение оптико-электронной системы, содержащей средства защиты от ослепляющих импульсов площадного и точечного источников излучения

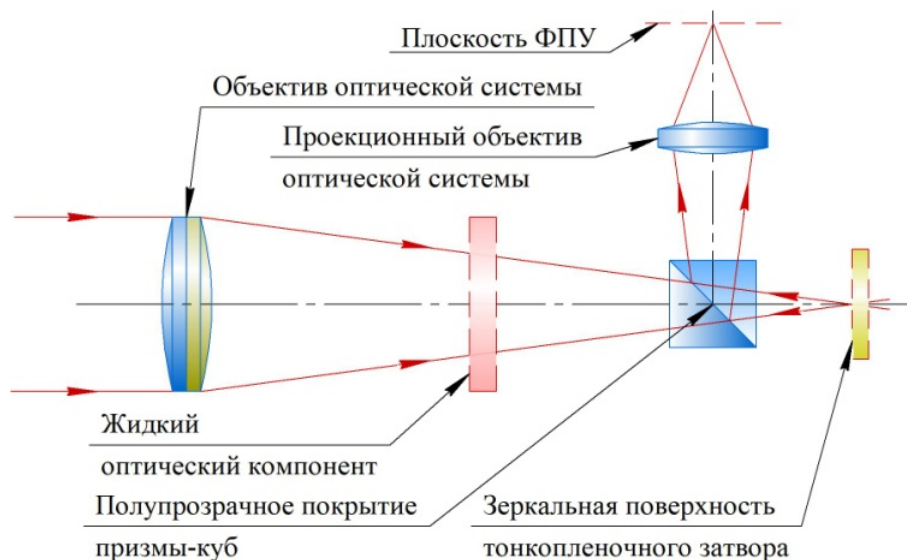


Рис. 3. Принципиальная схема оптико-электронной системы с защитой от точечного и площадного источника излучения

### ***Принципиальная схема объектива с защитой от точечного источника излучения***

Принципиальные возможности включения в оптическую систему отражающего тонкопленочного фильтра появляется при использовании зеркально-линзовых схем объективов [15] или нецентрированных оптических систем [16].

На рис. 4 приводится вариант компоновки зеркально-линзового объектива опико-электронной системы с защитой от лазерного точечного источника излучения при помощи тонкопленочного затвора с зеркальным слоем.

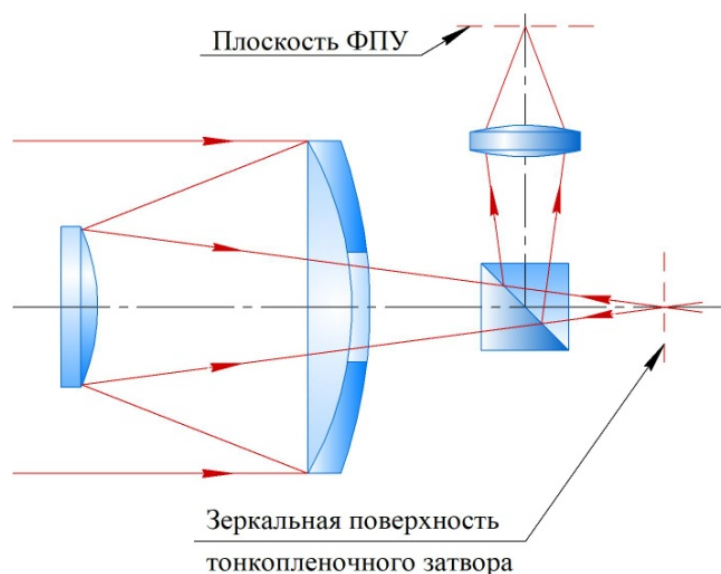


Рис. 4. Вариант компоновки зеркально-линзового объектива опико-электронной системы с защитой ФПУ от точечного источника излучения

Из рис. 4. следует, что использование тонкопленочного зеркального затвора требует наличия в схеме дополнительной проекционной оптической системы для переноса изображения из плоскости затвора в плоскость ФПУ. Это обусловлено невозможностью физического совмещения двух названных элементов опико-электронной системы.

### ***Объектив опико-электронной системы с защитой ФПУ от яркого точечного источника излучения***

Для технической реализации предложенного на рис. 4 способа защиты ФПУ в оптической системе необходимо использовать объектив с большим задним фокальным отрезком, позволяющим разместить между последней поверхностью объектива 3 и зеркальной поверхностью тонкопленочного затвора 5 светоделительный кубик 4 и проекционный объектив 6 с ФПУ 7. Широко применяемые в малогабаритных опико-электронных приборах линзовые объекти-

вы часто имеют малые значения задних фокальных отрезков [17, 18]. В качестве примера, иллюстрирующего возможность создания компактной оптической схемы, на рис. 5 приведена разработанная зеркально-линзовая схема опико-электронной системы, в поле зрения которой вероятны появления ярких источников, например лазерных.

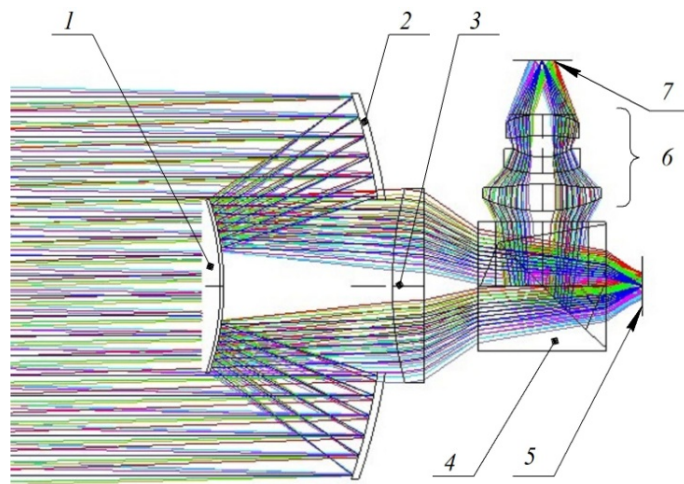


Рис. 5. Объектив опико-электронной системы с защитой ФПУ от яркой вспышки лазерного точечного источника излучения:

1, 2, 3 – зеркально-линзовый объектив; 4 – светоделительный кубик; 5 – зеркальная поверхность тонкопленочного затвора; 6 – проекционный объектив; 7 – плоскость чувствительной поверхности ФПУ

При традиционной схеме построения, в которой ФПУ размещается в фокальной плоскости объектива, высокая облученность, возникающая в изображении яркого источника, может привести к нарушениям в работе ФПУ и к сбою в функционировании опико-электронной системы. В предложенной зеркально-линзовой схеме реализуется плоскость промежуточного изображения, формируемая зеркально-линзовым объективом. В плоскости промежуточного изображения устанавливается тонкопленочный затвор, имеющий внешнюю зеркальную поверхность. Основная сложность при создании схемы заключается в необходимости сопряжения плоскости зеркальной поверхности затвора, расположенной перпендикулярно оптической оси, с плоскостью чувствительной площадки ФПУ с учетом требований к габаритным размерам системы. Для разделения и компоновки двух каналов применен светоделительный кубик. Лучи, отраженные от зеркальной поверхности затвора, проецируются проекционным объективом на плоскость чувствительной площадки ФПУ. Проекционный объектив построен по схеме триплета и включает две асферические линзы. Применение асферических поверхностей позволяет уменьшить количество компонентов [19, 20] в проекционном объективе и обеспечить такой дизайн объектива в целом, при котором поперечный габаритный размер превышает диаметр объектива не более, чем на 10 %.



Оптико-электронная система имеет следующие характеристики: фокусное расстояние зеркально-линзового объектива 35 мм; линейное увеличение проекционного объектива минус 1 крат; геометрическое относительное отверстие системы 1 : 1; эффективное относительное отверстие 1 : 1,2; угловое поле в пространстве предметов 4°; спектральный диапазон работы от 3 до 5 мкм; длина вдоль оптической оси 51 мм; диаметр зеркала объектива 37 мм; габаритный размер в направлении, перпендикулярном оптической оси, 41 мм.

График зависимости функции концентрации энергии (ФКЭ) от размера пятна в плоскости промежуточного изображения (в плоскости затвора), приведенный на рис. 6, а) показывает, что оптическая система концентрирует в пятне диаметром 0,06 мм более 70 % энергии, формирующей изображение точечного источника в плоскости тонкопленочного затвора, для любого угла падения пучка на объектив в пределах углового поля объектива, а на пятне диаметром 0,1 мм соответственно более 85 %.

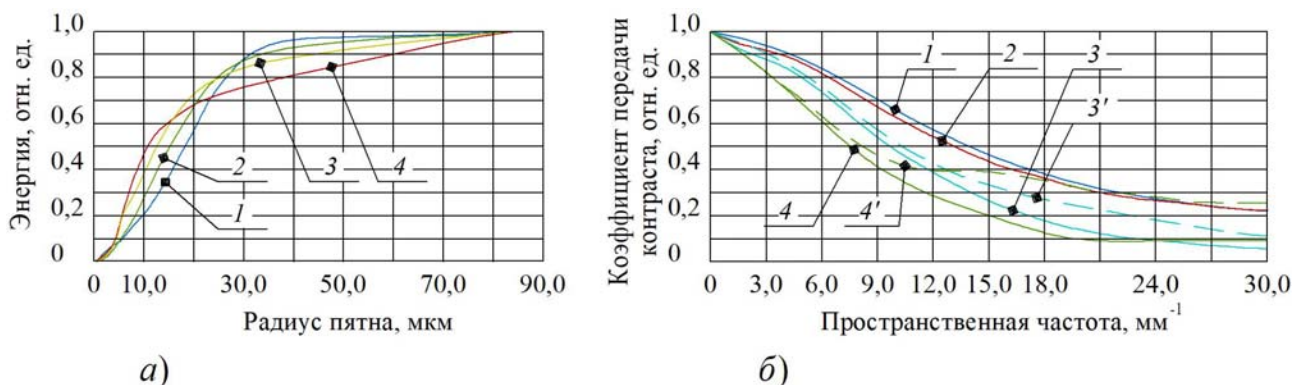


Рис. 6. Графики характеристик качества объектива:

- а) ФКЭ в зависимости от размера изображения источника излучения на тонкопленочном затворе для различных точек изображения: 1 – 0°; 2 – 1°; 3 – 1,5°; 4 – 2°;  
 б) ЧКХ в плоскости ФПУ для различных точек поля: для меридионального сечения 1 – 0°; 2 – 1°; 3 – 1,5°; 4 – 2°; для сагиттального сечения 3' – 1,5°; 4' – 2°

В случае появления на затворе нерабочей зоны диаметром 0,06 мм угловой размер «слепого» пятна в пространстве предметов системы составит 1,7 мрад. Для нерабочей зоны диаметром 0,1 мм соответствующий размер составит 2,8 мрад.

Качество изображения, формируемого системой на чувствительной площадке ФПУ, иллюстрируется графиком частотно-контрастной характеристики (ЧКХ), приведенном на рис. 6, б).

Если принять, что обработка сигнала оптико-электронной системой обеспечивает разрешение, соответствующее 30 лин/мм в плоскости ФПУ, то угловое разрешение в пространстве предметов системы составит не менее 1 мрад. Таким образом, можно ожидать, что при появлении ярких точечных источников в поле зрения оптико-электронной системы при срабатывании системы защиты

ФПУ размер «слепого» пятна может быть сопоставим с пределом разрешения системы.

### **Выводы**

В выводах отмечается следующее:

1) разработка современных оптических и оптико-электронных систем наблюдательного типа и с использованием оптоэлектронных фотоприемных устройств требует применения систем защиты от поражающего действия яркой вспышки света как площадного, так и точечного источников излучения;

2) на примере разработанного компактного зеркально-линзового объектива показана возможность включения в оптико-электронную систему тонкопленочного зеркального затвора [4] как эффективного средства защиты ФПУ с одновременным обеспечением высоких значений концентрации энергии в изображении ярких точечных объектов в плоскости чувствительного слоя затвора и приемлемого качества изображения на ФПУ.

Авторы надеются, что предложенное схемное решение оптико-электронной системы с защитой ФПУ от ярких источников в поле зрения окажется интересным для производителей оптико-электронных приборов и систем.

Авторы выражают благодарность ООО «Оптическое Расчетное Бюро», г. Новосибирск, за предоставленную возможность проведения расчетов в пакете Zemax OpticStudio.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Конвенция о запрещении или ограничении применения конкретных видов обычного оружия, которые могут считаться наносящими чрезмерные повреждения или имеющими неизбирательное действие [Электронный ресурс] / Текст документа сверен по: «Собрание законодательства Российской Федерации», № 48, 28.11.2005, ст. 4969 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901755153>.

2. Шлишевский В. Б. Научно-исследовательская лаборатория перспективных оптико-электронных систем и технологий СГГА: основные итоги первого десятилетия // Вестник СГУГиТ. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 143–157.

3. Кирикова О. В., Щербакова И. С., Богачев Ю. В., Богачева Т. М. Воздействие яркого светового излучения на органы зрения и анализ методов защиты от него // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – № 3. – С. 24–32.

4. Экспериментальное исследование пороговых энергетических и быстродействия тонкопленочных термооптических затворов в видимом и ИК диапазонах спектра / Д. В. Чесноков, В. В. Чесноков, В. А. Райхерт, С. Л. Шергин, Д. В. Кочкарев, Д. М. Никулин, М. В. Кузнецов, И. О. Михайлов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 190–198.

5. Шергин С. Л., Чесноков Д. В. Испытательный стенд и методика проведения экспериментальных исследований динамических характеристик оптических пассивных затворов // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 5, ч. 1. – С. 205–209.

6. Чесноков В.В., Чесноков Д.В., Шлишевский В.Б. Пленочные пассивные оптические затворы для защиты приемников изображения от ослепления // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78, № 6. – С. 39–46.



7. Борцов А. С., Михайлов И. О. Принципиальная схема устройства системы защиты от поражающих факторов яркой вспышки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 43–46.
8. Голицын А. В., Ефремов В. С., Шлишевский В. Б. Некоторые варианты оптических систем на основе жидкостных элементов // Сборник трудов XI Международной конференции «Прикладная оптика – 2014». – СПб. : Оптическое общество им. Д.С. Рождественского, 2014. – Т. 3. – С. 55.
9. Жидкие линзы – новая элементная база оптических и оптико-электронных приборов / А. В. Голицын, В. С. Ефремов, И. О. Михайлов, Н. В. Оревкова, Б. В. Федоров, В. Б. Шлишевский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 7–11.
10. Ефремов В. С., Макарова Д. Г., Шлишевский В. Б. Использование насадной жидкой линзы для изменения переднего отрезка объектива видеокамеры робототехнических устройств // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 80–83.
11. Ефремов В. С., Михайлов И. О., Шлишевский В. Б. Жидколинзовый конденсор // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 12–15.
12. Голицын А. В., Михайлов И. О., Шлишевский В. Б. Конструкция миниатюрного комбинированного объектива-моноблока с жидкими линзами // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 76–80.
13. Вдовин Г. В., Гуральник И. Р., Котова С. П., Локтев М. Ю., Наумов А. Ф. Жидкок-ристаллические линзы с переменным фокусным расстоянием. I. Теория // Квантовая электроника. – 1999. – Т. 26. – № 3. – С. 256–260.
14. Михайлов И. О., Штанько Е. И. Перспективы применения современных методов моделирования для исследования жидкостных линз // Актуальные проблемы оптотехники : сб. материалов Национальной научно-технической конференции, 22 октября 2018 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 32–38.
15. Патент РФ № 2256205. Двухканальный зеркально-линзовый объектив (варианты). Журавлев П. В., Косолапов Г. И., Хацевич Т. Н. Заявл. 25.08.2003. Опубл. 10.07.2205, Бюл. № 19.
16. Русинов М. М. Композиция нецентрированных оптических систем : монография. – СПб. : ИТМО, 1995. – 197 с.
17. Дружкин Е. В., Хацевич Т. Н. Реализация общетехнических и специальных требований при разработке малогабаритных тепловизионных приборов наблюдения и прицелов // Приборы. – 2018. – № 1 (211). – С. 43–50.
18. Хацевич Т. Н., Дружкин Е. В. Исследование объективов для малогабаритных тепловизионных приборов с позиции модели двухкомпонентного объектива // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 245–261.
19. Проектирование оптических систем : пер. с англ. / под ред. Р. Шеннона, Дж. Вайанта. – М. : Мир, 1983. – 432 с.
20. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М. : ЛОГОС, 2004. – 444 с.

© И. О. Михайлов, Т. Н. Хацевич, 2019