

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМЫХ ЖИДКОСТНЫХ ЛИНЗ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

А. В. Голицын, В. Б. Шлишевский

*Новосибирский филиал Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН  
„Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники“,  
630090, Новосибирск, Россия  
E-mail: golitsyn@oesd.ru, svb\_dom@mail.ru*

Представлены результаты разработки и экспериментальной апробации электроуправляемых жидкостных линз на гидравлической основе, геометрическая форма (радиусы кривизны) и, следовательно, оптическая сила которых регулируются путем изменения внутрилинзового давления жидкости. Представленный вариант конструкции с электромагнитным актуатором положен в основу объектива для очков ночного видения. Приведены оптическая схема и технические характеристики объектива.

**Ключевые слова:** жидкостная линза, оптическая система, объектив, оптико-электронная система, автофокусировка, ночное видение

Наиболее привлекательное качество жидкостных линз (ЖЛ) — способность оперативно менять кривизну своих оптических поверхностей — открывает новые перспективы для быстрой подфокусировки и регулировки увеличения оптической системы [1—5]. Кроме того, использование жидкостей с отличными от твердых материалов значениями показателей преломления  $n$  (их вариациями и сочетаниями) и дисперсии  $\nu$  существенно увеличивает число комбинаций оптических сред для проведения более совершенной ахроматической коррекции оптических систем с целью повышения качества изображения в широкой области длин волн [6, 7], что влечет за собой комплексное улучшение тактико-технических характеристик оптико-электронной аппаратуры. Смеси жидкостей позволяют осуществлять почти точную подгонку показателя преломления, общей и частных дисперсий под требования конкретных разработок, что практически невозможно сделать с помощью комбинаций дискретных оптических параметров выпускаемых стекол и кристаллов. Применение жидкостей позволяет также сочетать стекла и кристаллы с заметно различающимися коэффициентами теплового расширения без лишних воздушных промежутков, снижающих общее светопропускание оптики и увеличивающих долю рассеянного света за счет отражения излучения от границ разделов „воздух—материал“ [7]. Наконец, в отдельных случаях специфический ход спектральных кривых пропускания жидкостей может оказаться дополнительным (и эффективным) фактором подавления мешающего фонового излучения.

В настоящей статье приводятся результаты разработки и апробации электроуправляемых (ЭУ) ЖЛ и малогабаритного объектива на основе быстродействующей ЖЛ с электромагнитным актуатором.

В варианте, показанном на рис. 1, *а*, управление оптической силой ЖЛ производится при помощи электромагнитного актуатора, изменяющего объем периферийного резервуара с жидкостью [5]. Вытесненный объем поступает в центральную рабочую зону, где изменяет кривизну поверхности жидкости с ограничивающей ее прозрачной силиконовой мембраной, и тем самым — оптическую силу компонента. В другом варианте (рис. 1, *б*) использован линейный пьезопровод, изменяющий объем и оптическую силу ЖЛ за счет вытеснения жидкости из цилиндрического резервуара поршнем. В обоих случаях диапазон изменения оптической

силы ЖЛ составил 12 дптр при общей длительности перестройки 15 мс в варианте рис. 1, *а* и 5 с — в варианте *б*. Следует, однако, отметить, что высокое быстродействие системы с электромагнитным актуатором достигается при значительном энергопотреблении в статическом режиме (до 1 Вт при максимальном значении оптической силы), тогда как пьезопровод в статическом режиме энергозатрат не имеет.

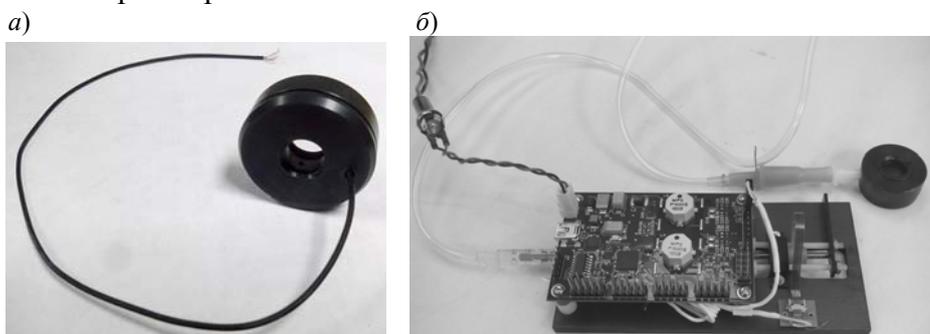


Рис. 1

Очевидно, что различные задачи, возлагаемые на ЭУ ЖЛ, могут решаться не только с помощью отдельных приводов и актуаторов, но и их комбинации. Тогда желательно строить систему так, чтобы привод изменял кривизну ЖЛ и удерживал ее фиксированное значение, а актуатор зондировал расфокусировку изменением с частотой кадров кривизны мембраны в небольших пределах. В задачах, требующих непрерывного периодического изменения оптической силы линзы (сканирование), целесообразно использовать актуаторы с рекуперацией энергии.

ЭУ ЖЛ с электромагнитным актуатором положена в основу разработанного объектива для цифровых очков ночного видения (рис. 2, *а*). Назначение и особенности применения объектива потребовали обеспечения большого относительного отверстия, максимального соответствия светопропускания спектральной области чувствительности кремниевого фотоприемника (0,45—1,0 мкм) и быстрой автофокусировки в составе телевизионной камеры с процессором изображений. Принципиальная схема объектива приведена на рис. 2, *б*, где 1, 3, 4 — пассивные менисковые ЖЛ, 2 — ЭУ ЖЛ с электромагнитным актуатором, 5 — фотоприемная ПЗС-матрица.

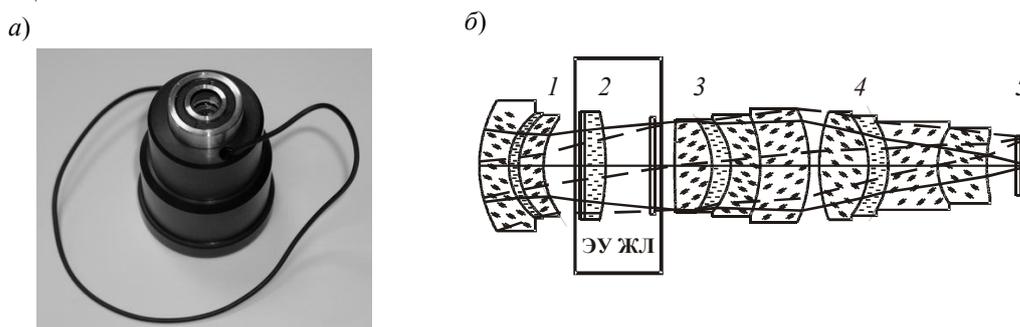


Рис. 2

Объектив содержит восемь твердотельных линз (из стекол марок N-LAK33A, N-LASF31A, N-PSK53A, N-KZFS11, N-SF10 фирмы „Шотт“ и флюорита), одну ЭУ ЖЛ (фторорганическая жидкость с  $n_d \approx 1,30$  и  $\nu_d \approx 105$ ) и три ЖЛ с фиксированной оптической силой (специальные жидкости сложного химического состава с  $n_d \approx 1,40$ ,  $\nu_d \approx 51$  и  $n_d \approx 1,3$ ,  $\nu_d \approx 105$ ). Структурно оптическая часть состоит из четырех компонентов, разделенных воздушными промежутками. Неуправляемые ЖЛ служат для компенсации вторичного спектра в широком спектральном диапазоне (0,45—1,0 мкм) и сопряжения твердотельных линз с различными (до трех раз) коэффициентами теплового расширения без лишних воздушных промежутков.

Фокусное расстояние объектива 10 мм, относительное отверстие 1:2,5; перестройка с минимальной дистанции фокусировки до бесконечности происходит меньше чем за 15 мс.

Расчетное качество изображения объектива соответствует фотоприемной ПЗС-матрице формата 1200×960 с шагом 3,75 мкм в диапазоне фокусировки от бесконечности до 280 мм. Изменение радиуса пятна рассеяния точки  $\delta$  по полю изображения  $l$  для четырех дистанций фокусировки ( $1 — 300$ ,  $2 — 600$ ,  $3 — 1200$  мм и  $4 — \infty$ ) показано на рис. 3. Как видно, абберационное пятно рассеяния точки по большей части поля изображения не превышает дифракционного предела и шага фоточувствительных элементов ПЗС-матрицы. Другие основные характеристики следующие: диапазон рабочих температур — от  $-20$  до  $+60$  °С, длительность реакции на сигнал „ступенька“ — 3 мс, максимальное энергопотребление — 1,1 Вт, масса —  $\approx 120$  г.

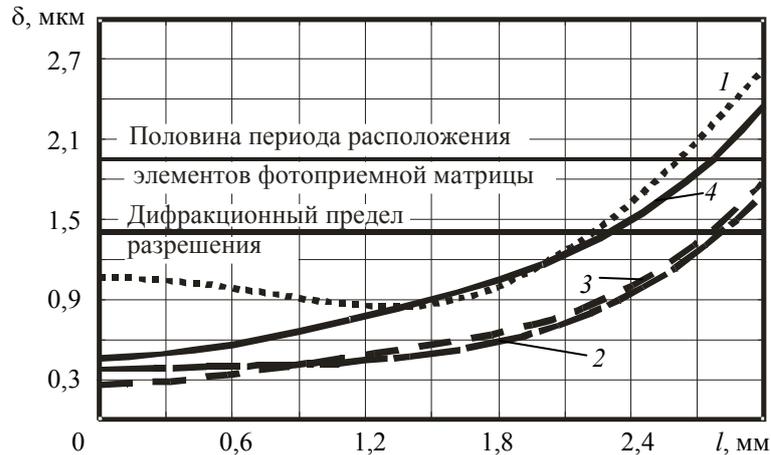
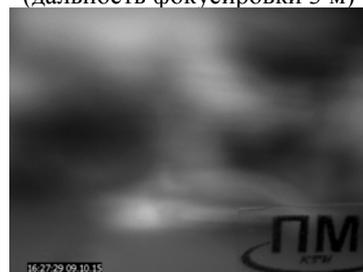


Рис. 3

Целесообразно использовать такой быстродействующий объектив в составе цифровых очков ночного видения с процессором изображения, осуществляющим автоматическую фокусировку на основе анализа наблюдаемого изображения. В то же время последовательное сканирование ряда дискретных плоскостей фокусировки с дальнейшим синтезом в процессоре изображения единого кадра по специальному алгоритму [8] обеспечивает достижение практически неограниченной глубины резко отображаемого пространства. На рис. 4 представлен пример подобного синтеза изображения имитационной сцены из последовательности в восемь кадров, сделанных с различных дистанций в пределах от 300 мм до 3 м (показана только трехкадровая выборка). Синтезированная картина достаточно резкая и содержит уверенно различимые детали по всей глубине от 300 до 3000 мм.

Кадр № 1  
(дальность фокусировки 3 м)Кадр № 4  
(дальность фокусировки 1 м)Кадр № 8  
(дальность фокусировки 300 мм)

Синтезированный кадр

Рис. 4

Таким образом, совместное использование гидравлических и неуправляемых ЖЛ позволяет создавать компактные оптико-электронные системы с высоким качеством изображения, быстрой фокусировкой и большой глубиной резко отображаемого пространства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang D.-Y., Lien V., Berdichevsky Y., Choi J., Lo J. H. Fluidic Adaptive Lens with High Focal Length Tunability // Applied Physics Letters. 2003. Vol. 82. P. 3171—3172.
2. Pat. 7256943 US. Variable focus liquid-filled lens using polyphenyl ethers / P. Kobrin, A. Harker. 14.08.2007.
3. Голицын А. В., Ефремов В. С., Михайлов И. О., Оревкова Н. В., Федоров Б. В., Шлишевский В. Б. Жидкие линзы — новая элементная база оптических и оптико-электронных приборов // Сб. матер. Междунар. науч. конф. „СибОптика-2013“. IX Междунар. выставка и научный конгресс „Интерэкспо ГЕО-СИБИРЬ-2013“. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. С. 7—11.
4. Голицын А. В. Электроуправляемый широкоспектральный объектив с жидкостными линзами // Тез. докл. Рос. конф. по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники „ФОТОНИКА-2015“. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 90.
5. Алантьев Д. В., Голицын А. В., Гельфанд А. В. Макет жидкостной линзы с электроуправляемой оптической силой // Тез. докл. Рос. конф. по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники „ФОТОНИКА-2017“. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2017. С. 82.
6. Голицын А. В., Сейфи Н. А. Численная оценка дисперсии „идеального“ жидкостного оптического материала для устранения хроматизма положения // Тез. докл. Рос. конф. по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники „ФОТОНИКА-2015“. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2015. С. 170.
7. Голицын А. В. О возможности коррекции хроматических аберраций объектива на пяти длинах волн с помощью жидкостных оптических компонентов // Тез. докл. Рос. конф. по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники „ФОТОНИКА-2017“. Новосибирск: ИФП СО РАН, 2017. С. 168.
8. Борзов С. М., Голицын А. В., Потатуркин О. И. Алгоритм слияния последовательности дальностных изображений для приборов с электроуправляемым объективом // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 3. С. 388—394.

*Сведения об авторах*

- Андрей Вячеславович Голицын** — Филиал ИФП СО РАН „КТИПМ“, отдел моделирования оптико-электронных приборов, заведующий отделом; E-mail: golitsyh@oesd.ru
- Виктор Брунович Шлишевский** — д-р техн. наук, профессор; Филиал ИФП СО РАН „КТИПМ“, ведущий эксперт; E-mail: svb\_dom@mail.ru

Поступила в редакцию  
03.09.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Голицын А. В., Шлишевский В. Б. Разработка электроуправляемых жидкостных линз на гидравлической основе // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 2. С. 123—127.

## DEVELOPMENT OF ELECTRICALLY-CONTROLLED LIQUID LENSES ON A HYDRAULIC BASIS

A.V. Golitsyn, V. B. Shlishevsky

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Technological Design Institute of Applied Microelectronics, 630090, Novosibirsk, Russia  
E-mail: golitsyn@oesd.ru, svb\_dom@mail.ru

Liquid lenses, the geometric shape (radius of curvature) and, consequently, the optical power of which are regulated by changing the intra-lens fluid pressure, are developed. Results of experimental testing of electrically controlled liquid lenses on a hydraulic basis are demonstrated. The presented version of the design with an electromagnetic actuator serves as the basis of the lens for night vision glasses. The optical scheme and technical characteristics of the lens are given.

**Keywords:** liquid lens, optical system, objective, optical-electronic system, autofocus, night vision

## REFERENCES

1. Zhang D.-Y., Lien V., Berdichevsky Y., Choi J., Lo J.H. *Applied Physics Letters*, 2003, vol. 82, pp. 3171–3172.
2. Pat. US 7256943, *Variable focus liquid-filled lens using polyphenyl ethers*, P. Kobrin, A. Harker, Published 14.08.2007.
3. Golitsyn A.V., Efremov V.S., Mikhaylov I.O., Orevkova N.V., Fedorov B.V., Shlishevskiy V.B. *SibOptika–2013* (Siberian Optics–2013), Proceedings of the Scientific Conference, Novosibirsk, Siberian State University of Geosystems and Technologies, 2013, no. 1, pp. 7–11. (in Russ.)
4. Golitsyn A.V. *Tezisy докладov Rossiyskoy konferentsii po aktual'nyim problemam poluprovodnikovoy fotoelektroniki "FOTONIKA–2015"* (Abstracts of Reports of the Russian Conference on Actual Problems of Semiconductor Photoelectronics "PHOTONICS-2015") Novosibirsk, 2015, pp. 90. (in Russ.)
5. Alant'yev D.V., Golitsyn A.V., Gel'fand A.V. *Tezisy докладov Rossiyskoy konferentsii po aktual'nyim problemam poluprovodnikovoy fotoelektroniki "FOTONIKA–2017"* (Abstracts of Reports of the Russian Conference on Actual Problems of Semiconductor Photoelectronics "PHOTONICS-2017"), Novosibirsk, 2017, pp. 82. (in Russ.)
6. Golitsyn A.V., Seyfi N.A. *Tezisy докладov Rossiyskoy konferentsii po aktual'nyim problemam poluprovodnikovoy fotoelektroniki "FOTONIKA–2017"* (Abstracts of Reports of the Russian Conference on Actual Problems of Semiconductor Photoelectronics "PHOTONICS-2017"), Novosibirsk, 2015, pp. 170. (in Russ.)
7. Golitsyn A.V. *Tezisy докладov Rossiyskoy konferentsii po aktual'nyim problemam poluprovodnikovoy fotoelektroniki "FOTONIKA–2017"* (Abstracts of Reports of the Russian Conference on Actual Problems of Semiconductor Photoelectronics "PHOTONICS-2017"), Novosibirsk, 2017, pp. 168. (in Russ.)
8. Borzov S.M., Golitsyn A.V., Potaturkin O.I. *Computer Optics*, 2016, no. 3(40), pp. 388–394. (in Russ.)

## Data on authors

- Andrey V. Golitsyn** — Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of the RAS, Technological Design Institute of Applied Microelectronics, Department of Electro-Optical devices, Head of the Department; E-mail: golitsyh@oesd.ru
- Viktor B. Shlishevsky** — Dr. Sci., Professor; Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of the RAS, Technological Design Institute of Applied Microelectronics; Leading Expert; E-mail: svb\_dom@mail.ru

**For citation:** Golitsyn A. V., Shlishevsky V. B. Development of electrically-controlled liquid lenses on a hydraulic basis. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 2. P. 123–127 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-2-123-127