
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 608.4, 520.2.02
DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-2-126-136

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Г. Г. Горбунов, Д. Н. Еськов, М. А. Парпин, И. В. Родыгин

*Филиал АО «Корпорация „Комета“» — „НПЦ ОЭКН“, 194021, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ggorbunov@mail.ru*

Рассмотрены новые материалы и технологии, применяющиеся в настоящее время при создании оптико-электронных приборов и устройств. Приведены примеры разработки адаптивной оптики и „бесферменных“ телескопов (смонтированных без стержневых систем взаимного крепления), применения дифракционных оптических элементов, использования оптики на основе линз Френеля и телескопа принципиально новой компоновки, который будет на один-два порядка компактнее и дешевле телескопа традиционной схемы. Новая конструкция представляет собой плоскую панель, состоящую из слоя микролинз и массивов оптико-электронных интегральных схем в плате под линзами, для управления системой, получения спектральной и пространственной информации и обработки изображения.

Ключевые слова: *оптические материалы, технологии, оптико-электронные приборы, линзы Френеля, дифракционные оптические элементы, микролинзы, радиофотоника, адаптивная оптика*

Развитие оптико-электронных (ОЭС), как и других систем, предполагает постоянный поиск компромисса между одновременно предъявляемыми противоречивыми требованиями:

— улучшение технических параметров аппаратуры, таких как пороговая чувствительность, угловое (пространственное) разрешение, спектральное разрешение, поле зрения, частота съема информации и т.д.;

— уменьшение массогабаритных характеристик;

— минимально возможная стоимость разработки.

Основную роль в обеспечении компромисса играют технологии, имеющиеся в распоряжении разработчика во время проектирования и изготовления всех элементов аппаратуры. В настоящее время особенно заметно, что разработчики идут не только по пути улучшения характеристик отдельных элементов создаваемой системы (применение новых материалов в несущих конструкциях и деталях, разработка и применение новых оптических схем и т.д.). С развитием доступных технологий и новой элементной базы важную роль начинает играть применение:

— дифракционных элементов;

— объективов телескопов, смонтированных без стержневых систем взаимного крепления („бесферменных“);

— адаптивной оптики;

— линз Френеля и линз на основе „фотонного сита“;

— массивов микролинз, связанных с оптико-электронными схемами и системами обработки изображений;

— специальных алгоритмов и программ обработки, позволяющих значительно уменьшить, а иногда и исключить аберрации оптической системы.

Классическая оптика базируется на законах отражения и преломления света. Основу ее составляют линзы, призмы, зеркала — оптические элементы, изготовление которых давно достигло своего предела совершенства. Еще в начале этого века повышение пороговой чувствительности и углового (пространственного) разрешения ОЭС, при выбранном приемнике излучения, достигалось главным образом за счет увеличения диаметра собирающей оптики, вследствие чего резко возрастали и масса, и габариты, и стоимость разрабатываемой системы. Например, космический телескоп „Хаббл“, ставший самым продуктивным астрономическим инструментом нашего времени, обладает диаметром главного зеркала 2,4 м, при этом масса комплекса достигла 11 т, а стоимость проекта превысила 2,5 млрд долларов.

Безусловно, один из первых востребованных методов оптимизации ОЭС — применение новых, нетрадиционных материалов для изготовления оптических элементов и их оправ. Например, разработана технология изготовления зеркал из титана, бериллия и карбида кремния, имеющих малый удельный вес и высокую прочность (большой модуль Юнга). В последнее время появились сообщения о применении пеноалюминия, позволяющего еще уменьшить массу конструкции при сохранении прочности и термостабильности [1]. Большим спросом пользуются разрабатываемые композиционные материалы — керамики. У композита типа „Скелетон“ (Алмаз/SiC) теплопроводность выше, чем у меди. Усиление SiC-керамики алмазоподобными частицами приводит к получению материала с уникальной комбинацией жесткости, теплопроводности, твердости и износостойкости [2].

Успешным примером применения новых материалов могут служить разработки Санкт-Петербургского государственного университета для международной программы „ALICE“ — одного из детекторов Большого Адронного Коллайдера. В университете разработаны и внедрены технологии изготовления изделий из углекомполитов:

— сверхлегких несущих ферм (длина 1100 мм, масса 24 г, прогиб фермы менее 0,1 мм при нагрузке 2 кг);

— тепловой мост для охлаждения микроэлектроники детектора „ALICE“ (радиатор с интегрированным водяным охлаждением, длина 300 мм, масса 1,8 г, теплопроводность 0,4 Вт/см²) [3].

Дальнейшее снижение массы ОЭС было достигнуто за счет уменьшения толщины исполнительного элемента системы адаптивной (активной) оптики — деформируемого зеркала, изгибаемого с помощью пьезоэлектрических или электромеханических приводов (актуаторов) по командам системы контроля и управления, которая получает данные об искажениях от датчиков волнового фронта и анализирует их. Эти зеркала позволяют регулировать (компенсировать) распространение волнового фронта с очень большим числом (до нескольких тысяч) степеней свободы.

Опыт применения датчиков волнового фронта и адаптивной (активной) оптики, а также новых материалов учитывается при создании телескопа James Webb Space Telescope (JWST), имеющего массу 6,2 т (вдвое меньше, чем у Хаббла) и световой диаметр 6,5 м. Примером отечественных космических систем может служить зеркало концентратора орбитального детектора ТУС (трековая установка для наблюдения УФ-вспышек в ночной атмосфере Земли) космического аппарата „Ломоносов“. Орбитальный детектор ТУС, запущенный 28 апреля 2016 г. с космодрома „Восточный“ на солнечно-синхронную орбиту высотой около 500 км, представляет собой телескоп-рефлектор, состоящий из зеркала-концентратора френелевского типа, большой площади (2 м²), предназначенного для сбора и фокусировки УФ-сигнала из атмосферы, и фотоприемника, размещенного в фокальной плоскости зеркала [4]. Располагающиеся

в виде лепестков ромашки сегменты выполнены по принципу зеркала Френеля: обладая малой строительной высотой, они обеспечивают концентрацию падающего параллельного пучка света с фокусным расстоянием 1,5 м. Зеркало предназначено для работы в открытом космосе при перепадах температуры от -80 до $+80$ °С. Стабильность геометрических параметров зеркала в таком температурном диапазоне обеспечивается применением в углепластиков с коэффициентом линейного расширения, близким к нулю. Оценки показали, что масса зеркала зависит от площади, формы, условий его выведения в космос и может колебаться от 0,9 (для плоского зеркала) до $\sim 8\text{—}9$ кг/м² (для варианта зеркала-концентратора ТУС площадью 12 м²). Среднеквадратическое отклонение (СКО) формы зеркала составляет $0,1\text{—}0,2\lambda$. Детектор ТУС работает в космосе до настоящего времени и обеспечивает получение новых данных об УФ-свечении Земли.

Прорывное развитие лазерных технологий, датчиков волнового фронта и актуаторов привело к возможности разработки проектов „бесферменных“ систем, узлы телескопа которых находятся в космическом пространстве и конструктивно не связаны между собой. При этом узлы юстируются на основании информации, получаемой от сети лазерных датчиков, контролирующей распространение волнового фронта. Работы по конструированию „бесферменных“ космических телескопов ведутся и для систем с диаметром входного зрачка свыше 30 м. Первой работой по этому направлению можно считать Structureless (Space Telescope for Science Applications Summary) [5]. На рис. 1 представлен проект „бесферменного“ телескопа Structureless, состоящего из: 1 — главного составного зеркала; 2 — второго асферического зеркала; 3 — третьего асферического зеркала; 4 — системы лазерного контроля главного составного зеркала; 5 — светозащитного экрана.

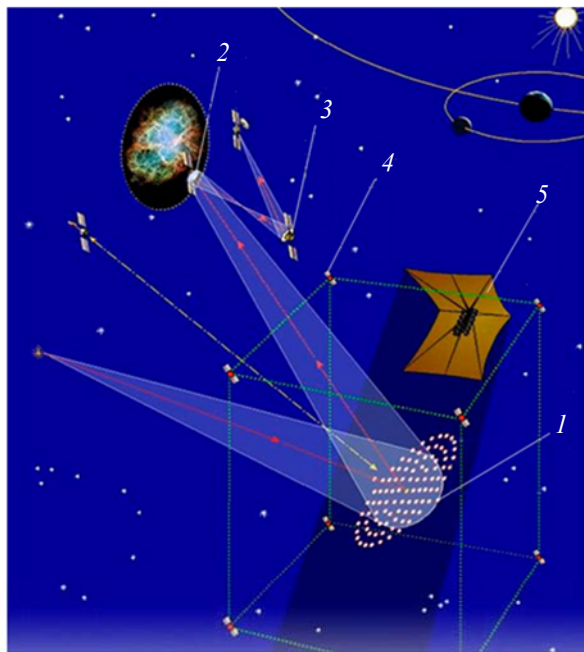


Рис. 1

В этом проекте принимают участие:

- Goodrich Optical System Lead — при разработке и изготовлении второго и третьего зеркал телескопа;
- ITT Industries Space Systems (formerly Kodak) — при изготовлении главного составного зеркала;
- Raytheon — при создании систем лазерного контроля и управления зеркалами;
- NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) — при тестировании и испытании как отдельных узлов системы, так и комплекса в целом.

Главное зеркало состоит из 88 свободно плавающих сегментов диаметром 2 м каждый. По предварительным данным, временные затраты на создание телескопа диаметром 30 м составят 8,5 лет при стоимости 2,7 млрд долларов. Создать телескоп диаметром 10 м возможно за 5,5 лет. Основная проблема — разработка программного обеспечения для контроля главного зеркала. Фирма Microcosm Inc. отработала процесс на составном зеркале диаметром 1 м. Свободное плавание зеркал имитировалось магнитным полем и магнитным составным зеркалом. Установлено, что СКО поверхности составного зеркала сохраняется в пределах 20 нм.

Еще больший по размеру телескоп разрабатывается тремя подразделениями: California Institute of Technology Graduate Aerospace, Jet Propulsion Laboratory и Department of Mechanical and Civil Engineering [6]. Проект модульного космического телескопа с диаметром входного зрачка 100 м, фокусным расстоянием 400 м, полем зрения 4,2' представлен на рис. 2. Вся система должна быть расположена на четырех спутниках.

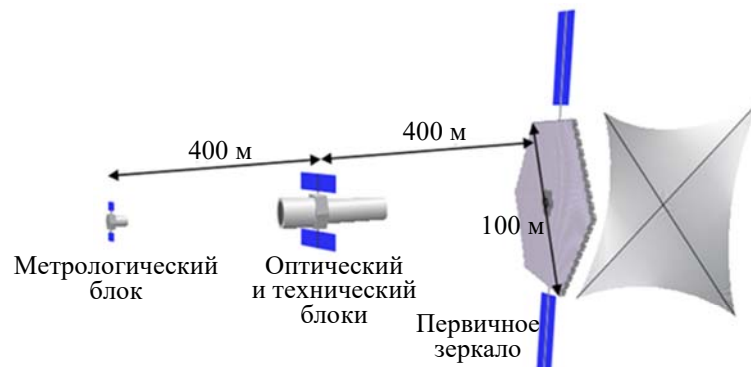


Рис. 2

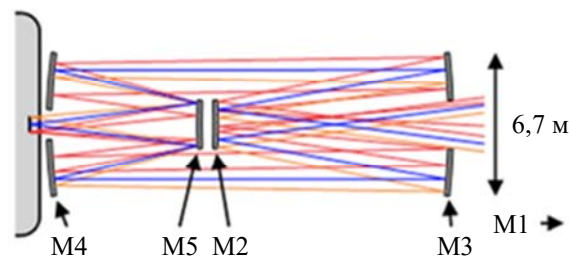


Рис. 3

На первом спутнике расположено главное (первичное) сферическое зеркало, радиус кривизны которого составляет 800 м. Это зеркало составлено из 5016 шестиугольных сегментов с длиной стороны 0,67 м. В районе фокуса главного зеркала располагается второй спутник, на котором установлены входящие в состав оптического блока зеркальный корректор сферической аберрации и фотоприемное устройство. Зеркала M3 и M4 (рис. 3) диаметром 6,7 м — вогнутые, а зеркала M5 и M2 диаметром 2 м — выпуклые, причем M5 — гибкое. Можно предположить, что зеркало M5 совмещено с выходным зрачком телескопа и является исполнительным элементом устройства коррекции волнового фронта. Третий спутник расположен в районе центра кривизны главного зеркала и здесь же, в метрологическом блоке, располагается контрольно-измерительное оборудование, в том числе датчик волнового фронта. На четвертом спутнике располагается светозащитное устройство, подобное солнечному парусу.

В 2001 г. сотрудниками университета г. Киль опубликованы новые подходы к проектированию линз Френеля [7], где кольца переменной толщины заменены набором отверстий, диаметр которых также зависит от зон Френеля. Главной особенностью данного элемента является отсутствие ограничений по спектральному диапазону оптических систем. Существенный недостаток — дифракционная эффективность всего 4 %. Авторы назвали такой элемент „photon sieve“ — „фотонное сито“. В университете „фотонное сито“ (рис. 4) используется

в фотоэлектронном спектро스코пе и фотоэлектронном микроскопе для исследований различных компаундов.

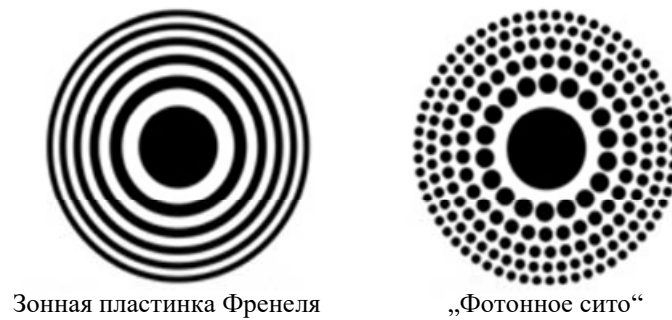


Рис. 4

Диссертационная работа французского исследователя Дэниса Сиерры (Sierra Denis) [8] позволила на новой элементной базе начать разработку космических телескопов диаметром 100 м и более. Космический телескоп на основе „фотонного сита“ состоит из двух модулей: первый поддерживает дифракционную оптику, позволяющую сфокусировать свет небесного светила, а второй — оптику, позволяющую получить и преобразовать изображение. Использование „фотонного сита“ в качестве фокусирующей оптики целесообразно по многим причинам:

- элементы являются отверстиями, сформированными в мембране (пленке), падающему свету не нужно проходить сквозь материал. В отличие от использования зеркала или линзы не нужно уделять особое внимание качеству материала или его поверхности;

- „фотонное сито“ обладает небольшой толщиной, поэтому масса этой фокусирующей оптики очень мала по сравнению с массой „классической“ оптики главного зеркала такого же размера;

- в связи с отсутствием дисперсии в материале построение ОЭС возможно для очень широкого спектрального диапазона, как правило, начиная с ультрафиолетового излучения и заканчивая инфракрасным излучением.

Исследования особенностей „фотонного сита“ показали, что допуск к точностям их изготовления и позиционирования больше на три порядка по сравнению с классическими оптическими элементами [8]. Эта особенность существенно расширяет перечень материалов для изготовления данного оптического элемента. Успехи в создании полимерных материалов — полиимидов, обладающих термостабильностью в широком диапазоне температур, высокой прочностью и жесткостью, в сочетании с расширением допуска на три порядка, — позволяют создавать элементы на основе „фотонного сита“ толщиной 15—25 мкм.

В 2010 г. агентство DARPA организовало конкурс на проект MOIRE (Membrane Optic Imager Real — Time Exploitation [9]), предусматривающий разработку и создание космической системы наблюдения с геостационарной орбиты, которая должна, имея мембранную линзу Френеля, обеспечивать разрешение выше одного метра и площадь захвата одного кадра около 100 км².

Lawrence Livermore National Lab (LLNL) с 2000 по 2005 г. проводила работы [9] по определению технического облика ОЭС с диаметрами входного зрачка более 3 м. В результате создана [10, 11] составная (72 элемента) линза Френеля диаметром 5 м с фокусным расстоянием 250 м. С использованием принципов японского искусства оригами разработана конструкция развертывания линзы Френеля. Элементы конструкции имели форму разнообразных треугольников и прямоугольников. Eyeglass (линза, как и весь проект, названа Eyeglass) содержит 16 прямоугольников 654×790 мм, 32 прямоугольных треугольника 327×790 мм, 24 равнобедренных треугольника 654×790 мм (на рис. 5 показан процесс раскрытия линзы Френеля). Ферма пятиметровой линзы Френеля в свернутом виде имеет диаметр 1,2 м и толщину

550 мм. Материал сегментов — кварц толщиной 10 мм. Натурные испытания линзы показали угловое разрешение общей оптической системы 8".

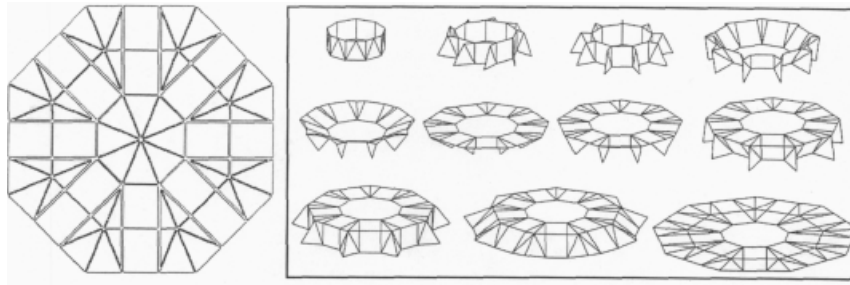


Рис. 5

Переход на пленочный материал для линз Френеля потребовал других технологий и технических решений в конструкции линз. LLNL совместно с фирмой Ne Xolve Corporation отработан элемент линзы Френеля, сформированной на полиимидной пленке (установлено, что оптимальный диаметр элемента 800 мм, что, однако, не привело к повышению стоимости [9]). По оценке, стоимость создания космического телескопа диаметром 20 м по программе MOIRE приблизилась к 300—500 млн долларов, а при реализации такого же проекта по классической технологии затраты должны составить 47,4 млрд долларов.

Дальнейшее совершенствование оптики связывают с элементами, отличительной особенностью которых является использование явления дифракции света на микро- и наноструктурах. Развитие технологий, используемых в микроэлектронике, позволило приступить к разработке и изготовлению дифракционных оптических элементов (ДОЭ), позволяющих не только улучшить характеристики работы многих оптических систем, значительно уменьшить массогабаритные характеристики, но и снизить стоимость изготовления подобных систем [12]. Дифракционные линзы представляют собой очень тонкие элементы [13], общей толщиной $\lambda/(n-1)$, где λ — рабочая длина волны, n — показатель преломления. Эта линза состоит из участков, толщина которых уменьшается от центра к краю. Бинарные элементы достигают эффективности около 80 % (без учета потерь на поверхностях) и часто могут быть экономически выгодными в производстве, особенно если их размеры невелики и требуемый рисунок имеет центральную симметрию.

Дифракционные и рефракционные элементы могут быть объединены в одной гибридной линзе (рис. 6), в частности, чтобы устранить, или по крайней мере значительно снизить, хроматическую aberrацию. Эти так называемые гибридные ахроматы используют эффект того, что дисперсия преломляющих элементов противоположна по знаку дисперсии дифракционных элементов, так что они могут компенсировать друг друга. Дисперсия дифракционной линзы примерно в семь раз выше дисперсии стекла типа „флинт“. Замена рефракционной линзы на дифракционную обычно обеспечивает существенное снижение массы и числа оптических элементов, необходимых для достижения заданного уровня разрешающей способности. Важной особенностью дифракционной линзы является очень малая толщина.



Рис. 6

Потенциальные возможности широкого применения ДОЭ до последнего времени сдерживались отсутствием технологий создания поверхностного микрорельефа, имеющего минимальный размер около половины микрометра и сложную трехмерную форму. При этом общие размеры создаваемых ДОЭ могут достигать нескольких метров в диаметре [14].

Венцом использования новейших технологий микро- и наноэлектроники можно считать разработку компании Lockheed Martin [15], создающей прототип телескопа принципиально новой компоновки, который будет на один-два порядка меньше и дешевле телескопа традиционной схемы. Телескоп, выполненный по технологии SPIDER (Segmented Planar Imaging Detector), представляет собой плоскую панель (рис. 7), состоящую из слоя микролинз и массивов оптико-электронных (фотонных) интегральных схем в плате под линзами, для управления системой, получения спектральной и пространственной информации и обработки изображения [16].



Рис. 7

Современные вариофокальные ОЭС для формирования изображений различного масштаба оснащены сложной механизированной оптикой. Технология SPIDER для изменения масштаба изображения использует возможности фотонных интегральных схем. Получаемые таким образом данные позволяют сформировать изображение с большим полем обзора, но с низким разрешением, и одновременно получить изображение с меньшим полем обзора, но с более высоким разрешением. Телескоп SPIDER [17, 18] использует широко применяющуюся в радиоастрономии технологию интерферометрии, но на микроуровне. Сотни тысяч миниатюрных линз телескопа, соединяясь попарно в разных сочетаниях с помощью фотонных интегральных схем, формируют массив интерференционных картин, из которых можно восстановить исходное изображение с достаточно высоким разрешением. Толщина такого плоского телескопа составит всего несколько сантиметров, а ширина может быть практически произвольной. Кроме того, телескоп, подобно радару с фазированной антенной решеткой, способен менять направление и ширину поля зрения, оставаясь неподвижным. Это достигается тем, что в фокусе каждой микролинзы располагается целый массив волноводов (в рассматриваемой конструкции 200×200), с каналами размером в несколько микрометров. Хотя каждая цепочка волноводов соединяется с малоразмерной линзой, каждый волновод цепочки может быть ориентирован на малоразмерную линзу под разными углами и таким образом вносить свой уникальный вклад в формирование изображения.

Каждый интерферометрический датчик (сенсорный элемент) аналогичен звездному интерферометру Майкельсона: включает микролинзы, волноводы микрометрового масштаба, переключатели, фазовые модуляторы, устройства совмещения лучей и одноэлементные кремние-

вые приемники. SPIDER имеет модульную конструкцию (рис. 8, 9), так что сенсорные элементы могут быть расположены на диске планарной структуры или равномерно распределены на большой площади. Длина баз звездных микроинтерферометров Майкельсона может выбираться в довольно широких пределах (на рис. 8, 9 — от 2—4 до 150 мм), тем самым изменять угловое разрешение системы.

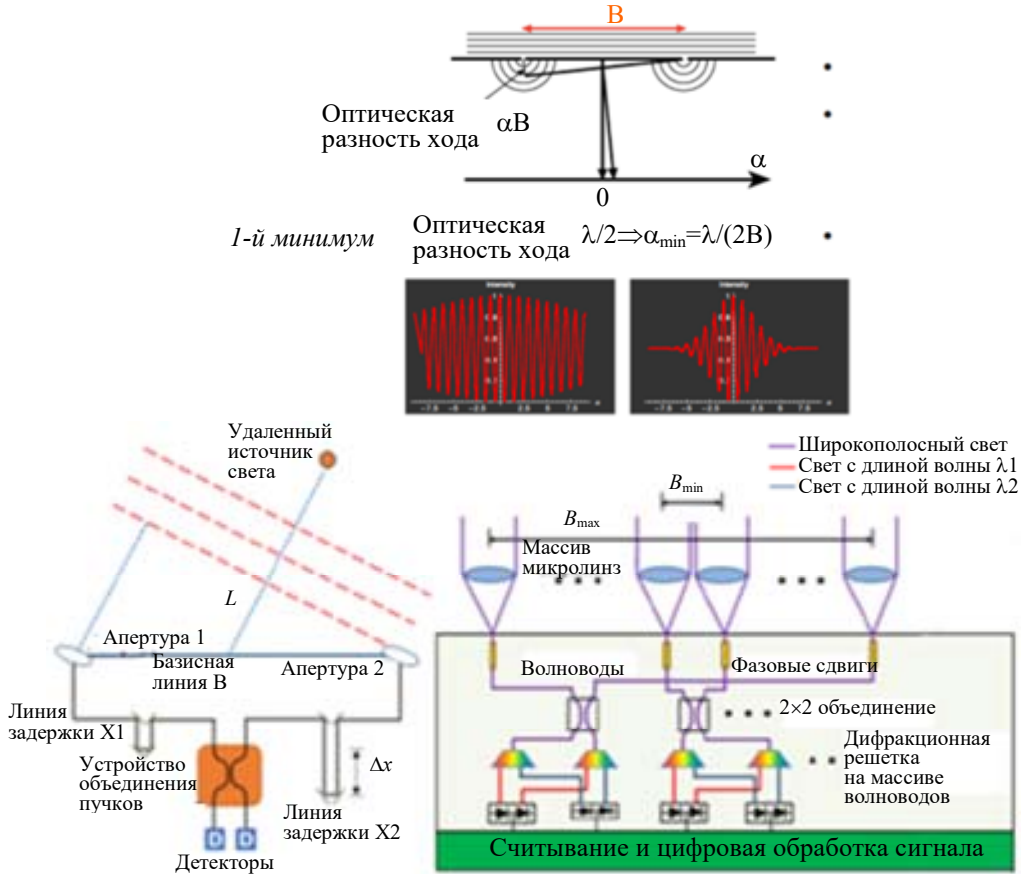


Рис. 8

2-е поколение SPIDER-конструкции с радиальной структурой



Рис. 9

Совокупность получаемых интерферограмм анализируется бортовой вычислительной машиной, что позволяет определить амплитуды и фазы входных сигналов, а программному обеспечению — восстановить изображение регистрируемого объекта. Разработчики ожидают десятикратного уменьшения объема системы (при сохранении ее диаметра) и стократного — массы.

Наряду с новейшими технологиями, заимствованными из микроэлектроники, развивающиеся цифровые технологии открывают перед разработчиками множество возможностей, включая снижение стоимости и трудоемкости при разработке и изготовлении ОЭС. Предварительное математическое моделирование влияния факторов внешней среды на блоки разрабатываемой аппаратуры при одновременном учете их функциональных взаимосвязей стало доступно сравнительно недавно. Известные величины aberrаций и иных дефектов изображения поддаются устранению при цифровой обработке. Поэтому возможно компенсировать несовершенства изображения из-за aberrаций объектива и, например, движения носителя или вибраций за счет последующей цифровой обработки изображений. Рациональное распределение критических (проблемных) задач между разнородными компонентами сложного прибора позволит оптимизировать каждую разрабатываемую ОЭС. Необходимо отметить, что в настоящее время США значительно увеличили число научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на увеличение диаметра собирающей оптики с одновременным снижением массы и габаритов ОЭС, за счет применения самых передовых цифровых технологий для коррекции изображения и системного моделирования, а также технологий микроэлектроники — для изготовления элементной базы.

При поиске новых технологий для решения прикладных задач существенно увеличилась роль исследований в смежных областях науки. Все чаще отмечается, что потребовались специалисты в новой, „гибридной“ области науки и техники, например, в рамках которой исследуются взаимодействия оптических и высокочастотных электрических полей (сигналов, волн), а также создаются технические устройства, принципы работы которых основаны на таких взаимодействиях [19]. В нашей стране эта область науки и техники в профессиональном сообществе иногда называлась „радиооптикой“, в последнее время все чаще используется термин „радиофотоника“.

В настоящей статье рассмотрены только самые яркие из новых направлений развития ОЭС. Существует еще множество менее значимых направлений и технологий, которые, безусловно, можно и нужно использовать для решения поставленной задачи с минимальными сложностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геча В. Я., Кирякин А. А., Позднякова В. Д., Пиллюгин С. О. Возможность использования пеноалюминия для изготовления элементов конструкций малых космических аппаратов // Изв. РАН. Энергетика. 2018. № 2. С. 98—108.
2. Катаев С., Сидоров В., Гордеев С. Алмаз — карбидный композиционный материал „Скелетон“ для теплоотводов в изделиях электронной техники // Электроника. 2011. № 3. С. 60—64.
3. Zhrebchevsky V. I., Altsybeev I. G., Feofilov G. A., Francescon A., Gargiulo C., Igolkin S. N., Krymov E. B., Laudi E., Lazareva T. V., Maltsev N. A. Experimental investigation of new ultra-lightweight support and cooling structures for the new Inner Tracking System of the ALICE Detector // J. of Instrumentation. 2018. Vol. 13, N 8. DOI: 10.1088/1748-0221/13/08/T08003.
4. Garipov G. K. et al. Space experiment TUS on board the Lomonosov satellite as pathfinder of JEM-EUSO // Experimental Astronomy. 2015. Vol. 40. P. 315—326.
5. Wertz J., Van Allen R. Structureless Space Telescope (SST) for Science Applications Summary // Microcosm Inc., December 2008 [Электронный ресурс]: <docplayer.net/28445178-Structureless-space-telescope-sst-for-science-applications.html>.

6. Lee N., Burdick J., Backes P. et al. Architecture for in-space robotic assembly of a modular space telescope // J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. 2016. Vol. 4, N 2. P. 041207. <https://doi.org/10.1117/1.JATIS.2.4.041207>.
7. Ripp L., Skibowski M., Jonson R. L., Berndt R. Shaper images by focusing soft X-rays with photon sieves // Nature. 2001. Vol. 414, N 8.
8. Serre D. L'Imageur Interferometrique de Fresnel: instrument Spatial pour L'observation a Haute resolution Angular: Doctor's thesis. University Toulouse, 4 October 2007.
9. Acheson P. et al. MOIRE – Initial Demonstration of a Transmissive Diffractive membrane Optic for Large Lightweight Optical Telescopes // Proc. of SPIE. 2012. Vol. 8442. P. 844221.
10. Heller A. Grand leap for space telescopes // Science and Technology Review. 2003. March. P. 12—18.
11. Lang R. J. Origami, Eyeglass Telescope. December 10, 2015 [Электронный ресурс]: <<https://langorigami.com/article/eyeglass-telescope/>>.
12. Зорич Н. Д., Лифшиц И. Л., Соколова Е. А. Преимущества использования дифракционных оптических элементов в простых оптических изображающих системах // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 1.
13. Минин И. В., Минин О. В. Элементы дифракционной квазиоптики // Автометрия. 1994. № 4. С. 66—75.
14. Jian Z., Liangxiao Z., Fei A., Sanfeng H. Optical System Design for Wide-angle Airborne Mapping Camera with Diffractive Optical Element // Proc. of SPIE. 2019. Vol. 11052. P. 11052DC-1-8.
15. Thurman S. T., Duncan A., Kendrick R., Ogden C. et al. System Design for a SPIDER Imager // Coherent Laser Radar Conference. Boulder, 2016.
16. Ben Yoo S. J., Su T., Liu G. et al. New Method of Imaging: Photonic Integrated Interferometer Telescopes (PIITS). Nasa Grant. NNX16AP60G. Lockheed Martin Advanced Technology Center. NASA ESTF 2017.
17. Pat. US10012827B1. Segmented planar imaging detector for electro-optic reconnaissance (SPIDER) zoom / A. L. Duncan, R. L. Kendrick, D. M. Stubbs. Jul. 3, 2018.
18. Pat. US9754985 B1. Interferometer array imaging systems using photonic integrated circuit cards / A. L. Duncan, R. L. Kendrick, D. M. Stubbs. Sep. 5, 2017.
19. Белоусов А. А., Вольхин Ю. Н., Гамиловская А. В., Дубровская А. А., Тихонов Е. В. О применении методов и средств радиофотоники для обработки сигналов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн // Прикладная фотоника. 2014. Т. 1. С. 65—86.

Сведения об авторах

- Георгий Георгиевич Горбунов** — д-р техн. наук; Филиал АО «Корпорация „Комета“» — „НПЦ ОЭКН“, гл. научный сотрудник; E-mail: gggorbunov@mail.ru
- Дмитрий Николаевич Еськов** — канд. техн. наук; Филиал АО «Корпорация „Комета“» — „НПЦ ОЭКН“, вед. научный сотрудник; E-mail: lab4@eoss.ru
- Михаил Анатольевич Парпин** — Филиал АО «Корпорация „Комета“» — „НПЦ ОЭКН“, зам. директора филиала по разработкам; E-mail: lab4@eoss.ru
- Игорь Валентинович Родыгин** — Филиал АО «Корпорация „Комета“» — „НПЦ ОЭКН“, начальник экспериментального бюро; E-mail: lab4@eoss.ru

Поступила в редакцию
26.11.2020 г.

Ссылка для цитирования: Горбунов Г. Г., Еськов Д. Н., Парпин М. А., Родыгин И. В. Использование современных технологий при создании оптико-электронных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 2. С. 126—136.

THE USE OF MODERN TECHNOLOGIES IN THE CREATION OF OPTOELECTRONIC SYSTEMS

G. G. Gorbunov, D. N. Eskov, M. A. Parpin, I. V. Rodygin

JSK "Special purpose space systems corporation "Kometa",
Branch "Electro Optical Surveillance Systems", 194021, St. Petersburg, Russia
E-mail: gggorbunov@mail.ru

New materials and technologies currently used in the development of new optoelectronic instrumentation and devices are considered. Examples of developments of adaptive optical devices and "structureless" telescopes mounted without rod systems of mutual attachment, implementation of diffraction optical elements, and application of optics based on Fresnel lenses are presented. The design of a telescope of a fundamentally new layout is described, which will be one or two orders of magnitude more compact and cheaper than traditional telescopes. The new layout is a flat panel consisting of a layer of microlenses and arrays of optoelectronic integrated circuits in the board under the lenses for controlling the system, obtaining spectral and spatial information, and image processing.

Keywords: optical materials, technologies, optoelectronic devices, Fresnel lenses, diffractive optical elements, microlenses, microwave photonics, adaptive optics

REFERENCES

1. Gechya V.Ya., Kiryakin A.A., Pozdnyakova V.D., Pilyugin S.O. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 2018, no. 2, pp. 98–108. (in Russ.)
2. Katayev S., Sidorov V., Gordeyev S. *Elektronika*, 2011, no. 3, pp. 60–64. (in Russ.)
3. Zherebchevsky V.I., Altsybeev I.G., Feofilov G.A., Francescon A., Gargiulo C., Igolkin S.N., Krymov E.B., Laudi E., Lazareva T.V., Maltsev N.A. *Journal of Instrumentation*, 2018, no. 8(13), DOI: 10.1088/1748-0221/13/08/T08003.
4. Garipov G. K. et al. *Experimental Astronomy*, 2015, vol. 40, pp. 315–326.
5. Wertz J., Van Allen R. *Structureless Space Telescope (SST) for Science Applications Summary*, Microcosm Inc., Desember 2008, <https://docplayer.net/28445178-Structureless-space-telescope-sst-for-science-applications.html>.
6. Lee N., Burdick J., Backes P. et al. *J. Astron. Telesc. Instrum. Syst.*, 2016, no. 2(4), pp. 041207, <https://doi.org/10.1117/1.JATIS.2.4.041207>.
7. Ripp L., Skibowski M., Jonson R.L., Berndt R. *Nature*, 2001, no. 8(414).
8. Serre D. *L'Imageur Interferometrique de Fresnel: instrument Spatial pour L" observation a Haute resolution Angular*, Doctor's thesis, University Toulouse, 4 October 2007.
9. Atcheson P. et al. *Proc. of SPIE*, 2012, vol. 8442, pp. 844221.
10. Heller A. *Science and Technology Review*, 2003, March, pp. 12–18.
11. Lang R.J. *Origami, Eyeglass Telescope*, December 10, 2015, <https://langorigami.com/article/eyeglass-telescope/>.
12. Zorich N.D., Lifshits I.L., Sokolova E.A. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, no. 1(15). (in Russ.)
13. Minin I.V., Minin O.V. *Avtometriya*, 1994, no. 4, pp. 66–75. (in Russ.)
14. Jian Z., Liangxiao Z., Fei A., Sanfeng H. *Proc. of SPIE*, 2019, vol. 11052, P. 11052DC-1-8.
15. Thurman S.T., Duncan A., Kendrick R., Ogden C. et al. *Coherent Laser Radar Conference*, Boulder, 2016.
16. Ben Yoo S.J., Su T., Liu G. et al. *New Method of Imaging: Photonic Integrated Interferometer Telescopes (PIITS)*, NASA Grant. NNX16AP60G. Lockheed Martin Advanced Technology Center, NASA ESTF, 2017.
17. Patent US10012827B1, *Segmented planar imaging detector for electro-optic reconnaissance (SPIDER) zoom*, A.L. Duncan, R.L. Kendrick, D.M. Stubbs, Jul. 3, 2018.
18. Patent US9754985 B1, *Interferometer array imaging systems using photonic integrated circuit cards*, A.L. Duncan, R.L. Kendrick, D.M. Stubbs. Sep. 5, 2017.
19. Belousov A.A., Volkhin Iu.N., Gamilovskaia A.V., Dubrovskaja A.A., Tikhonov E.V. *Prikladnaya fotonika*, 2014, no. 1(1), pp. 65–86. (in Russ.)

Data on authors

- Georgy G. Gorbunov** — Dr. Sci.; JSK "Special purpose space systems corporation "Kometa", Branch "Electro Optical Surveillance Systems"; Chief Researcher; E-mail: gggorbunov@mail.ru
- Dmitry N. Eskov** — PhD; JSK "Special purpose space systems corporation "Kometa", Branch "Electro Optical Surveillance Systems"; Leading Researcher; E-mail: lab4@eoss.ru
- Mikhail A. Parpin** — JSK "Special purpose space systems corporation "Kometa", Branch "Electro Optical Surveillance Systems"; Deputy Director of the Branch for Develop; E-mail: lab4@eoss.ru
- Igor V. Rodygin** — JSK "Special purpose space systems corporation "Kometa", Branch "Electro Optical Surveillance Systems"; Head of Experimental Bureau; E-mail: lab4@eoss.ru

For citation: Gorbunov G. G., Eskov D. N., Parpin M. A., Rodygin I. V. The use of modern technologies in the creation of optoelectronic systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 2. P. 126–136 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-2-126-136