

зеркала 3. Оправы зеркал входят в прямоугольные пазы корпуса 1 и фиксируются штифтами, обеспечивая возможность юстировки только в одном направлении.

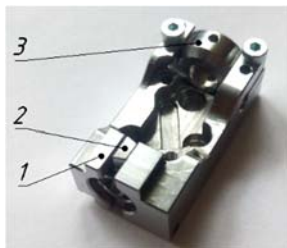


Рисунок 5 – Внешний вид корпуса резонатора эрбиевого лазера

Процесс юстировки резонатора заключается в выдерживании требуемого допуска параллельности (1 мкм) между зеркалами. Оправа с зеркалом поз. 2 (рисунок 5) посредством юстировочных винтов может отклоняться от гори-

зонтальной оси на угол  $\varphi = 1^\circ$  в обе стороны. Юстировочные винты перемещаются по грани трапеции, заклоняя таким образом зеркало в оправе. Оправа 3 с выходным зеркалом (рисунок 5) юстируется относительно входного зеркала путем заклонения на такой же угол ( $\varphi = 1^\circ$ ). Такое техническое решение позволяет получить одновременно приемлимую чувствительность (30"/1 оборот юстировочного винта) и высокую жесткость при малых габаритах резонатора (Д×Ш×В 300×15,3×12 мм). После выставления параллельности зеркал, установочные винты фиксируются лаком, что предохраняет их от самоотвинчивания при сильных вибрациях.

#### Литература

Wu R., Myers J., Myers M., Wisniewski T. Proc. OSA Adv. Sol. State Laser (ASSL). Boston, USA. 1999. – P. 236.

УДК 620.1.05

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ БЛОКА АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ОСНОВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПЛОСКОГО ЗЕРКАЛА

Звонкович А.В., Фёдорцев Р.В.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

В свое время астрономы всего мира столкнулись с такой проблемой, как искажение изображения телескопической системы, вследствие непостоянства характеристик состояния атмосферы. Одним из существенных факторов, влияющих на качество наблюдения источника излучения с поверхности Земли, является неравномерность нагревания атмосферы. При прохождении излучения сквозь атмосферу, происходит ослабление энергии излучения, а так же привносится собственное излучение атмосферы. Степень искажения исходного сигнала зависит от ряда факторов атмосферного воздействия. К ним относятся турбулентность, поглощение газами, рассеяние на частицах и др. Наиболее существенное влияние оказывает атмосферная турбулентность – конвекционное движение газа, вызванное флуктуациями плотности воздуха, вследствие неравномерного поглощения солнечного излучения, вносящего вклад в нагрев, в нижних слоях атмосферы. Его влияние оказывается наиболее существенным, поскольку данный фактор оказывает воздействие на постоянство показателя преломления среды, неравномерность которого вызывает изменение формы волнового фронта. В результате изображение наблюдаемого объекта имеет вид дрожащего смазанного пятна [1].

Решением данной проблемы занимается адаптивная оптика – раздел физической оптики, изучающий методы устранения нерегулярных

искажений, возникающих при распространении света в неоднородной среде, с помощью управляемых оптических элементов. Принципы адаптивной оптики применяются при конструировании наземных астрономических телескопов, в системах оптической коммуникации, в промышленной лазерной технике, в офтальмологии и других областях, где требуется компенсировать атмосферные искажения или аберрации оптических систем.

Управляемым оптическим элементом, как правило, является деформируемое зеркало, которое выполняется в виде сегментированных зеркал либо в виде зеркала со сплошной поверхностью. Выбор той или иной конструкции определяется спецификой системы, в которой она будет использоваться.

Сегментированные зеркала состоят из отдельных независимых плоских элементов, которые в процессе юстировки наклоняют или смещают в линейном направлении. Основным преимуществом сплошных зеркал перед сегментированными является возможность реализации гораздо более сложной формы поверхности при меньших габаритах системы. Так же между соседними сегментированными зеркалами имеются воздушные промежутки, необходимые для проведения из взаимной юстировки посредством небольших наклонов относительно вертикальной оси. Однако добиться идеального совмещенного изображения в одном контуре практически не-

возможно, поскольку имеет место скорее некоторая общая зона перекрытия изображений от каждого отдельного элемента.

Рассмотрим возможные конструктивные варианты их реализации. Получение поверхности более сложной формы возможно в случае применения мембранных зеркал, реализуемых на основе широкого спектра различных физических эффектов. Наиболее часто встречаются мембранные зеркала на основе диэлектриков с особыми свойствами – пьезоэлектриков, сегнетоэлектриков [2]. В основе пьезоэффекта лежит явление деформации материала под воздействием электрического поля, позволяющее производить изменение кривизны мембраны. Приводам на основе биморфных пьезоэлементов (рис. 1) присуще явление гистерезиса, из-за которого происходит «запаздывание» деформаций отражающей поверхности, однако существуют методы компенсации данного явления.

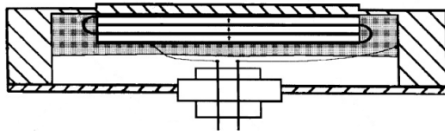


Рисунок 1 – Мембранное зеркало на основе биморфных пьезоэлементов

Мембранное зеркало на основе сегнетоэлектриков обладает высокой чувствительностью при малых значениях напряженности управляющего сигнала. Однако устройство не позволяет получить значительные перемещения поверхности зеркала. Так же для приводов мембранных зеркал используются электромагнитные явления. Находят применение конструкции с магнито-стрикционными материалами способными изменять размеры, при изменении состояния намагниченности тела. Возможно использование привода на основе магнитной жидкости (рис. 2), при воздействии на которую электромагнитом, наблюдается её деформация, позволяющая выравнивать волновой фронт.

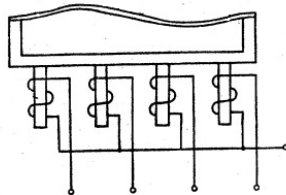


Рисунок 2 – Мембранное зеркало на основе магнитной жидкости

Преимуществом является тот факт, что мембрана искривляется посредством жидкости, а, следовательно, происходит плавное изменение поверхности зеркала.

Простейший вариант использования магнитных полей – это постоянные магниты, находящиеся под воздействием электромагнитов, взаимодействие которых так же позволяет получать

перемещения, применимые в мембранных зеркалах. Существует способ управления кривизной адаптивного зеркала, заключающийся в герметичном закреплении пленки по краю основания с корректирующими устройствами посредством оправы, формовании из пленки отражающей поверхности заданной кривизны путем создания перепада давления на поверхности пленки (рис. 3).

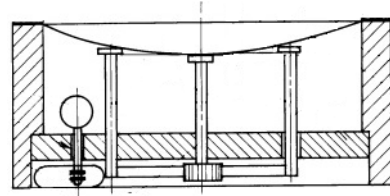


Рисунок 3 – Мембранное зеркало на основе перепада давления

Однако такое адаптивное зеркало не обеспечивает высокоточную регулировку изменения перепада давления (мм рт. ст.) с одновременным контролем заданной формы поверхности пленки при воздействии таких климатических факторов, как порывы ветра, перепады температуры и т. п. в процессе работы зеркала.

В конструкциях мембранных зеркал возможно использование различных термических эффектов (рис. 4), как, например, взаимодействие термочувствительных сплавов с памятью формы с нагревателями.

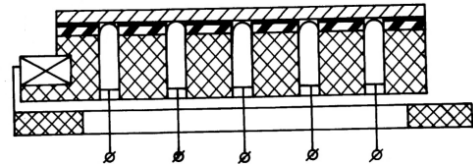


Рисунок 4 – Мембранное зеркало на основе термочувствительных сплавов

К минусам данного способа можно отнести нагрев зеркала и инерционность изменения температуры материала.

Как упоминалось ранее, мембранные зеркала могут искривляться посредством магнитных силовых полей, однако проведенный патентный поиск не показал наличия существующих вариантов конструкций.

В данной работе предложена схема выравнивания волнового фронта на основе взаимодействия постоянных переменных магнитных полей.

На схеме (рис. 5) показана мембрана, обладающая определенной упругостью, в качестве материала мембраны может выступать тонкий лист металла, однако возможно использование и комбинированных упругих материалов, армированных металлической сеткой. С наружной стороны наносится зеркальное покрытие, а с обратной стороны крепятся постоянные магниты не больших размеров с помощью конструкционного клея. Соосно с центром каждого из магни-

тов устанавливаются соленоиды, при подаче напряжения на которые, возникает магнитное поле, действующее на магнитное поле постоянных магнитов. Таким образом, меняя полярность напряжения подаваемого на соленоид, учитывая массу магнита, упругость мембраны и прочие факторы, можно добиться перемещений мембраны.

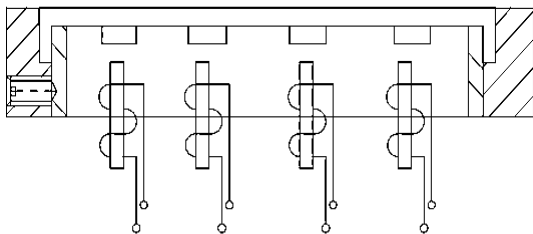


Рисунок 5 – Мембранное зеркало на основе магнитных полей

Выбор параметров соленоидов или других параметров осуществляют на основе формул, полученных из второго закона Ньютона и математического выражения силы Ампера.

$$F_A = (m_1 + m_2) \cdot \frac{2x}{t^2} + F_1 + F_2 + F_{\text{упр}};$$

где  $m_1$  – масса участка деформируемой мембраны;  $m_2$  – масса постоянного магнита,  $x$  – минимальное смещение центра толщины мембраны,  $t$  – время смещения центра толщины мембраны,  $F_1$  – сила тяжести участка мембраны,  $F_2$  – сила тяжести постоянного магнита,  $F_{\text{упр}}$  –

сила упругости, с которой материал сопротивляется смещению.

$$F_A = \frac{I_c^2 \cdot w \cdot l_{\text{пр}}}{l_c} = B \cdot I_c \cdot l_{\text{пр}}$$

$F_A$  – сила Ампера, с которой соленоид действует на проводник, помещенный в магнитное поле,  $I_c$  – сила тока в соленоиде,  $l_{\text{пр}}$  – длина проводника,  $w$  – количество витков соленоида,  $l_c$  – длина соленоида,  $B$  – магнитная индукция.

В данном случае, магнитному полю постоянного магнита соответствует эквивалентное магнитное поле проводника с током, и соответствующая длина проводника.

На основании приведенных выражений можно рассчитать требуемые конструктивные параметры соленоида и уровень управляющего напряжения.

Большой выбор используемых явлений дает возможность выбора определенного метода искривления поверхности мембранного зеркала, в зависимости от требуемых характеристик и условий функционирования зеркала.

#### Литература

1. Е.В. Ермолаева, В.А. Зверев, А.А. Филатов. Адаптивная оптика / Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО. – 2012. – 297 с.
2. Патент РФ №2186412. Адаптивное зеркало. Панич А.Е., Житомирский Г.А. Заявл. 13.06.2001. Оpubл. 27.07.2002.

УДК 535.015, 535.422

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕЛЕСКОПА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Кожевников Д.А., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Направление основано на так называемом апертурном синтезе, при котором несколько телескопов меньшего размера, в дальнейшем именуемых модулями, формируют общее изображение. По качеству оно эквивалентно изображению, полученному обычным телескопом со «сплошной» оптикой поверхностью, апертура которого соответствует суммарной, синтезированной из апертур отдельных зеркальных модулей при условии согласованной фазы излучения и геометрического совмещения изображений, формируемых каждым модулем. Телескопы с Синтезированной Апертурой (ТСА) обладают многими преимуществами перед квазисплошными, что делает направление исследований перспективным для построения больших телескопов. Потребность телескопов больших апертур порядка 30–40 м особенно актуальна для приборов космического базирования, расположенных на геостационарной орбите (ГСО) высотой более

35 000 км и обеспечивающих разрешение на местности на уровне 10–30 см.

Однако вывод на орбиту таких систем представляется собой достаточно трудную задачу, что и обуславливает перспективность исследования систем с апертурным синтезом. Обозначим главные достоинства таких систем:

1. ТСА представляет собой компактную конструкцию, габаритные размеры которой определяются длиной модуля и относительным отверстием главного зеркала. Таким образом, при равных условиях, длина модуля, может быть во столько раз меньше длины сплошного телескопа, во сколько раз диаметр модуля меньше диаметра синтезированной апертуры. Кроме того, известно, что масса, как и стоимость изготовления оптических компонентов при одинаковой конструкции и требованиях к точности, пропорциональна кубическому диаметру, что также обуславливает хорошие экономические показатели ТСА.