

- ского центра изображений звёзд относительно геометрического центра на ПЗС матрице и коррекция методической ошибки. // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 22-25 сентября 2008. Сборник трудов. ИКИ РАН, 2009. – С. 421-446.
3. Савинков В.В. Исследование и разработка алгоритмов обработки сигналов в оптико-электронных пеленгаторах: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.11.07 / Савинков В. В.; [Место защиты: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана] Москва, 2007. – 16 с.
 4. Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В. Оценка точности определения координат энергетического центра тяжести тест-объекта коллиматора в схемах контроля оптико-электронных приборов с матричными фотоприёмниками. Наука и техника. 2015, №5. С. 71-76.
 5. Ляшко О.М. Проектирование оптико-электронных приборов наблюдения: учебно-методическое пособие / О.М. Ляшко. – Минск: БНТУ, 2009. – 77 с.
 6. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физмалит, 2003. – 784 с.

УДК 621.373.8:375

ОПТИМИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕСКОПА

Стасилович В.А., Фёдорцев Р.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В идеальном случае (при отсутствии атмосферных искажений) телескоп с объективом диаметром в 1 м дает угловое разрешение около $0,1'$, а с объективом в 5 м дает разрешение в $0,02'$. Однако влияние оптических неоднородностей атмосферы Земли таких как: рефракция, турбулентность, поглощающие излучение газы и аэрозоли существенно снижают эти показатели. В результате на фотографиях, полученных телескопами, угловой размер мельчайших деталей составляет $2-3'$; на лучших обсерваториях он изредка составляет $0,5'$.

Пассивный метод борьбы с атмосферными искажениями заключается в том, что обсерватории строят на вершинах гор, обычно на высоте $2-3$ км, выбирая при этом места с наиболее прозрачной и спокойной атмосферой.

Тем не менее, наиболее эффективным считается применение адаптивных оптических систем способствующих выравниванию волнового фронта путём введения в конструкцию телескопов управляемых оптических элементов, обеспечивающих уменьшение влияния нерегулярных искажений и неоднородностей атмосферы за счёт постоянной коррекции входного сигнала по системе обратной связи.

Адаптивные оптические системы предназначены для решения двух основных задач:

- повышения предела разрешающей способности наблюдательных приборов;
- концентрации оптического излучения на приёмнике или мишени.

Среди существующих адаптивных оптических компонентов линейной фазовой коррекции волнового фронта различают:

- активные системы первого и второго порядка, построенные на базе гибких сплошных деформируемых зеркал или составных зеркал с когерентной апертурой;

- управляемые фазовые транспаранты.

Форму зеркала корректируют различными методами: посредством пресса, при помощи электростатического поля или изменением расположения частей сегментного зеркала при помощи пьезоэлементов. В каждом из случаев присутствует система обратной связи, которая играет важнейшую роль в определении наклона пучка. В качестве системы обратной связи используют датчик интерференционного типа и типа Шака-Гартмана, а также их модификации.

Действие интерференционных датчиков основано на когерентном сложении двух световых волн и формировании интерференционной картины с зависящей от измеряемого волнового фронта интенсивностью. При этом, в качестве второй (опорной) световой волны может использоваться волна, полученная из исследуемого излучения путём пространственной фильтрации.

Датчик типа Шэка-Гартмана состоит из матрицы микролинз и расположенного в их фокальной плоскости фотоприёмника [1]. Каждая линза обычно имеет размеры от 1 мм и меньше (рисунок 1). Линзы датчика разделяют исследуемый волновой фронт на субапертуры (апертура одной микролинзы), формируя в фокальной плоскости совокупность фокальных пятен. Положение каждого из пятен зависит от локального наклона волнового фронта пучка, пришедшего на вход датчика. Измеряя поперечные смещения фокальных пятен, можно вычислить средние углы наклонов волнового фронта в

пределах каждой из субапертур. По этим величинам вычисляется профиль волнового фронта на всей апертуре датчика.

Системы адаптивной оптики на основе деформируемых зеркал применяются в оптических и инфракрасных телескопах наземного базирования для динамической коррекции атмосферных искажений (рисунок 2). В частности, широко известна RTAC (Real-Time Atmospheric Compensation) Дж. Харди, разработанная компанией Jtek (США) и установленная в Kennedy Space Center [2].

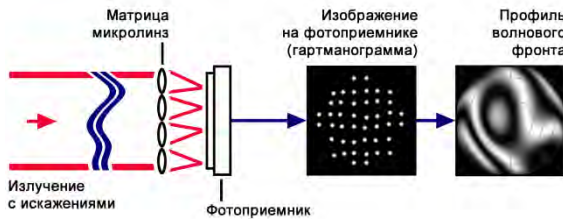


Рисунок 1 – Общая схема датчика волнового фронта типа Шака-Гартмана

Униформные (полупассивный-биморф) зеркала представляют собой тонкие пластины, изготовленные из пьезоэлектрического материала, на которой особым образом расположены электроды. Пластина присоединена к подложке, на передней поверхности которой сформирована оптическая поверхность. При приложении напряжения к электродам пьезоэлектрическая пластина сжимается (или расширяется), что приводит к изгибу оптической поверхности зеркала. Особое пространственное расположение электродов позволяет формировать сложные рельефы поверхности.

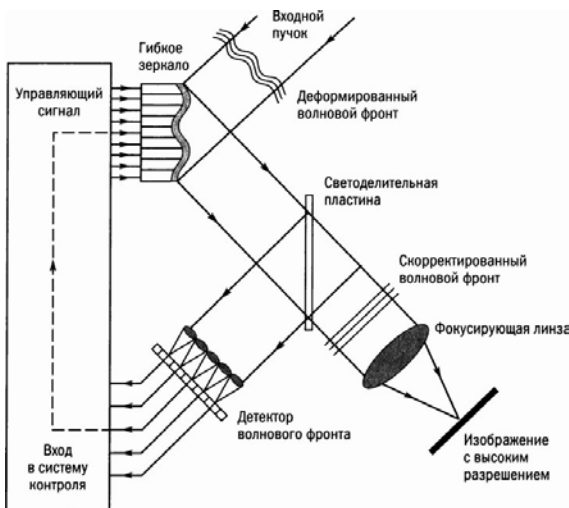


Рисунок 2 – Схема телескопа с применением адаптивной оптической системы

Скорость управления формой адаптивного зеркала позволяет использовать его для компенсации динамических aberrаций в режиме реального времени.

Высокая стоимость коммерческой реализации рассмотренных выше адаптивных оптических систем ограничивает область их практического применения, на данный момент они используются преимущественно в больших профессиональных телескопах с диаметрами зеркал от 6 м. В полупрофессиональных и любительских телескопах с диаметрами зеркал от 80 до 500 мм коррекция волнового фронта не предусматривается. Естественно, используя такой телескоп, количество наблюдаемых объектов, а также качество получаемых изображений значительно ниже, чем в обсерваториях. Перспективным является направление применения адаптивных оптических систем в малогабаритных переносных любительских телескопах.

В конце 1960-х годов на основе эмпирических исследований в работах Колчинского, Татарского, Фрида были сформулированы атмосферные ограничения астрономических системы. Результаты были получены для модели Колмогорова-Обухова спектра флуктуаций показателя преломления [3]:

$$\Phi_n(\chi, h) = 0.033 C_n^2(h) \chi^{-11/3}, \frac{1}{L_0} \ll \chi \ll \frac{1}{l_0},$$

где $C_n^2(h)$ – структурный параметр показателя преломления атмосферы, h – текущая высота на подстилающей поверхности в атмосфере, χ – волновое число для турбулентных неоднородностей, L_0, l_0 – внешний и внутренний параметр для турбулентности.

На основе решения задачи распространения оптических волн в случайно-неоднородных средах показано, что структурная функция фазы на расстоянии ρ подчиняется закону “5/3”:

$$D_s(\rho) = 2,91 k^2 \int_0^\infty dh C_n^2(h) \rho^5,$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – длина волны излучения.

Исходя из приведенного выражения, становится очевидным, что при наблюдении в зенит на длине волны около 500 нм радиус когерентности составляет всего 100 мм.

Но, если учесть тот факт, что наблюдения производятся чаще всего не в зените, а при некотором наклоне оси визирования, получается, что световой поток преодолевает большее расстояние. И при наблюдении по углом 20 градусов к горизонту световой поток преодолевает более 10 км плотных слоёв атмосферы и более 270 км слоёв, влияющих на наблюдения. Следовательно, при наблюдении наклонного пучка атмосферные явления имеют ещё больший вес и радиус когерентности светового потока значительно уменьшается.

Эмпирические данные показывают, что, несогласованность когерентности уже оказывает существенное влияние для случая, когда радиус

зеркала составляет всего 0,01 от радиуса когерентности [4]. Следовательно, даже при использовании телескопов с небольшими диаметрами зеркал – любительских телескопов, атмосферные явления вносят существенный отпечаток в формирование изображения. Как следствие применение адаптивных оптических систем позволило бы существенно улучшить качество получаемого изображения.

1. Hardy, J.W., Lefebvre, J.E., Koliopoulos, C.L. Real-time atmospheric compensation. Optical Society of America, Journal, vol. 67, Mar. 1977, PP. 360-369.

2. Полещук А.Г., Седухин А.Г., Трунов В.И., Максимов В.Г. Датчик Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами. Журнал «Компьютерная оптика» Вып. №4. Том 38. 2014. С.695–703.

3. А. Вирт, Т. Гонсировский. Адаптивная оптика: Согласование атмосферной турбулентности. Журнал «Фотоника». Вып. №6, 2007. – С.10-15.

4. В.П. Лукин, Адаптивное формирование оптических изображений в атмосфере. Конференции и Симпозиумы. Новосибирск, УФН. Т.176, №9. – 2006. – С.1000 – 1006.

УДК 620.179:534.6 (043.3)

СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ИМПЕДАНСНОГО КОНТРОЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сулов Е.Ф.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина*

Современную аэрокосмическую отрасль невозможно представить без композиционных материалов (КМ). На сегодняшний день композиты широко используются в конструкциях самолетов и вертолетов, как военного, так и гражданского назначения. КМ широко применяются в таких высоконагруженных элементах как: крыло, горизонтальное и вертикальное хвостовое оперение, поверхности управления (рули высоты, направления, элероны, закрылки), интерцепторы, хвостовые балки, элементы несущего и рулевого винтов, люки, шасси и т.д.

Технологический процесс производства композиционных элементов конструкции чувствителен к ошибкам, которые в свою очередь, ведут к появлению дефектов и неоднородностей структуры готового изделия. Часто дефекты материала вызывают изменения физико-механических характеристик изделия в целом и уменьшают его прочностные показатели ниже предельно допустимых уровней.

Для неразрушающего контроля композитов используется большое количество методов, однако, на практике предпочтение отдается тем, которые являются наиболее простыми в реализации. Таковым является акустический импедансный метод. Данный метод использует влияние дефекта на смену механического импеданса системы объект контроля – первичный преобразователь. Он является одним из основных средств неразрушающего контроля на территории стран СНГ и Европы, используется при контроле сэндвич-панелей с сотовым наполнителем, многослойных конструкций, выполненных из ПКМ, металлов и других материалов и их сочетаний.

[1]. Импедансный метод внесен в руководство по технической эксплуатации ряда летательных аппаратов как базовый для периодического контроля сотовых конструкций на наличие отслоений внешней обшивки от сотового наполнителя. Дефектоскопы на его основе прошли межведомственные испытания, внесены в ведомственных реестров авиационных администраций и рекомендованы для проведения контроля композитных агрегатов на транспортных и пассажирских самолетах ИЛ-76, ИЛ-86, ИЛ-96-300, ТУ-204, ТУ-214, ЯК 42 и АН-124 «Руслан» [2]. На самолетах Airbus ИМ метод применяется в качестве дополнительного при контроле элементов на основе КМ с сотовым наполнителем.

Принцип действия метода основан на изменении механического импеданса зоны взаимодействия между преобразователем и объектом контроля. Эти изменения влияют на амплитуду, фазу и частоту выходного электрического сигнала первичного преобразователя. Кроме того, различия физико-механических характеристик контролируемой зоны, может приводить к изменению формы огибающей информационного сигнала.

Существует два типа дефектоскопов, реализующих импедансный метод – с непрерывным и импульсным возбуждением. Приборы с непрерывным возбуждением имеют сравнительно высокую мощность, что усложняет создание их мобильных версий. Таким образом, наиболее распространенные дефектоскопы имеют импульсный вид возбуждения. Пиковая амплитуда сигнала может быть достаточно просто измерена как в импульсном, так и непрерывном режиме