

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОМАТРИЧНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОТЕЛЕСКОПА РТ-70 “СУФФА”

© 2013 А. А. Усик, аспирант; И. А. Коняхин, доктор техн. наук

НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

E-mail: usik.aa@gmail.com

Рассмотрены принцип построения и структура многоматричной системы измерения деформаций зеркальных компонентов полноповоротных радиотелескопов. Приводятся методика и результаты экспериментов с макетом системы.

Ключевые слова: радиотелескоп, оптико-электронная система, измерение деформаций элементов конструкции, секционный анализатор, многоматричная система.

Коды OCIS: 150.3045, 120.3930, 040.1490.

Поступила в редакцию 11.07.2013.

Перспективным направлением современной радиоастрономии является исследование области миллиметрового диапазона длин волн. Использование этого диапазона обусловлено большой протяженностью спектра, особенностями распространения волн в атмосфере, малой длиной волны.

В настоящее время Россия совместно с Узбекистаном реализует проект по созданию радиоастрономической обсерватории на плато Суффа (Узбекистан)¹. Основным инструментом обсерватории будет полноповоротный радиотелескоп (РТ) типа РТ-70. Основное зеркало (ОЗ) телескопа представляет собой осесимметричный фрагмент параболоида с фокусным расстоянием 21 м, составленный из 1200 отражающих щитов; диаметр ОЗ – 70 м; диаметр контррефлектора (КР) – 3 м.

Особенностью РТ как средства исследований в миллиметровом диапазоне длин волн являются высокие требования к качеству параболической поверхности ОЗ (среднее квадратическое

отклонение точек поверхности от теоретического параболоида не более 0,05 мм), к стабильности взаимного расположения ОЗ и КР (не более 0,07 мм), к точности наведения зеркальной системы по углам азимута и места (допустимая погрешность 1,5–2") [1].

Многотонные конструкции, температурные изменения и воздушные ударные нагрузки приводят к значительным деформациям элементов конструкции РТ (нарастающим линейным смещениям точек поверхности ОЗ), достигающим в краевой зоне 30 мм; смещению КР до 60 мм; отличие углового положения оси диаграммы направленности РТ от измеренного преобразователями угла может достигать 10".

Следовательно, для обеспечения требуемого качества элементов отражающей системы РТ 70, а также реализации точного наведения необходим комплекс измерения деформаций элементов конструкции радиотелескопа.

Одной из задач контроля элементов конструкции является контроль смещений элементов зеркальной системы радиотелескопа. В результате анализа различных вариантов предлагается следующая схема контроля [1].

Оптико-электронная система измерения деформаций отражающих элементов радио-

¹ В состав комплекса на плато Суффа входят: радиотелескоп миллиметрового диапазона РТ-70, монтажно-испытательный комплекс, блок дежурных наблюдателей с антенной космической связи, главное здание с вычислительным центром и лабораторией мониторинга атмосферы.

телескопа включает две отдельные подсистемы, расположенные на жестком элементе конструкции – опорном кольце, находящемся вблизи вершины параболического главного зеркала.

Первая подсистема определяет координаты визирных целей, расположенных в узловых точках поверхности главного зеркала, и является первичным звеном системы компенсации деформаций поверхности параболоида. Вторая подсистема измеряет положение визирных целей на контррефлекторе, что позволяет определить его смещение относительно номинального положения. Команды управления для электродвигателей отработки формируются в соответствии с измерительной информацией указанных систем.

Конструкция РТ-70 обладает свойством гомологии, поэтому результатом малых деформаций исходного (номинального) параболического зеркала является также параболическая поверхность, но с другими параметрами. Поэтому для определения положения поверхности после деформаций достаточно измерить смещение малого количества визирных целей с последующим построением аппроксимирующего параболоида. Моделирование показывает, что для определения координат поверхности аппроксимирующего параболоида достаточно измерения в 40 узловых точках.

Решение задачи контроля поверхности ОЗ невозможно с помощью сканирующих теодолитов и трекеров из-за их массогабаритных параметров и длительного времени измерения. Устройства на основе широкоугольных объ-

ективов также не применимы из-за низкого углового разрешения. Поэтому была предложена концепция базового измерительного блока (БИБ) с секционным анализатором.

БИБ включает в себя один объектив и группу анализаторов изображения, при этом каждый анализатор – матричный приемник оптического излучения (МПОИ) – формирует с помощью объектива изображение соответствующей визирной цели (ВЦ), расположенной в одной из узловых точек поверхности (рис. 1). Визирная цель представляет собой диафрагмированный полупроводниковый инфракрасный диод в корпусе.

Для оценки эффективности разработанной концепции БИБ был создан макет (рис. 2), состоящий из трех несущих пластин, соединенных наборными стойками. На первой пластине закреплен объектив РФ-5 ($F = 450$ мм), на средней – пять фотоприемных модулей (ФПМ) на базе КМОП-матрицы OmniVision OV5620, на последней – устройство обработки [2].

Подобное расположение ФПМ обусловлено широким диапазоном дистанций до визирных целей (3–40 м) и, следовательно, различным расположением плоскостей изображений.

Для снятия статической характеристики макета была разработана схема эксперимента, приведенная на рис. 3.

Предыдущий опыт показывает, что использование не менее трех визирных целей (на минимальной, максимальной и средней дистанциях) позволяет экстраполировать результаты для других промежуточных дистанций.

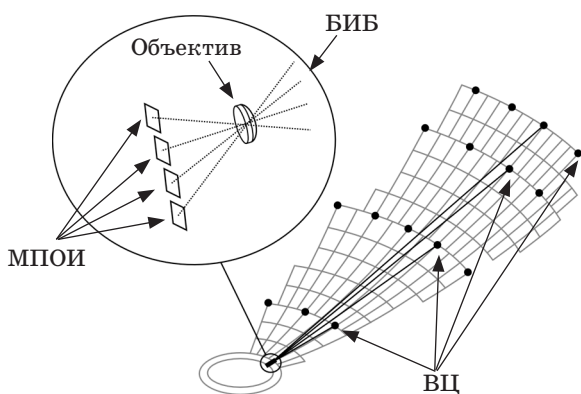


Рис. 1. Расположение базового измерительного блока (БИБ) и визирных целей (ВЦ) на модели поверхности главного зеркала радиотелескопа. Пояснения в тексте.

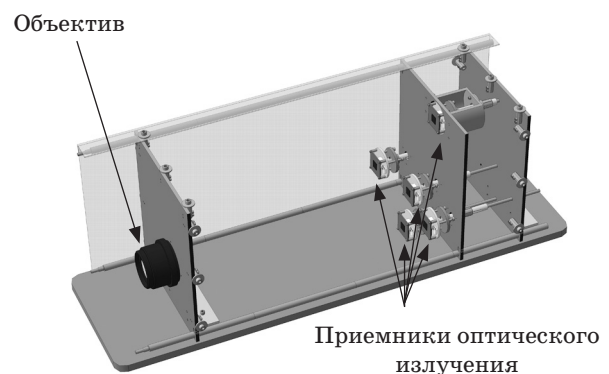


Рис. 2. Общий вид макета ОЭС.

Визирные цели ВЦ3 и ВЦ4 были статично закреплены, ВЦ1 и ВЦ2 – установлены на моторизованных линейных актуаторах МП1 и МП2 соответственно. Контроль актуаторов обеспечивался блоками управления БУ1 и БУ2. Блок управления БУ3 осуществлял выработку управляющих сигналов в соответствии с измерительной информацией.

В начальной точке диапазонов перемещений актуаторов проводилось измерение, после чего полученная информация² обрабатывалась и блок управления подавал сигнал актуаторам на перемещение. После соответствующего перемещения актуаторы останавливались и проводилось очередное измерение. Цикл повторялся 100 раз. Измерение положения статически закрепленных ВЦ проводилось одновременно с измерением перемещающихся ВЦ.

Эксперименты проводились в полигоне – прямоугольной комнате размерами 4×18 м, в которой на имитаторе опорного кольца (массивном основании) был установлен макет БИБ. На стенах и консольных элементах полигона, в соответствии с расположением контрольных точек основного зеркала радиотелескопа, на различных дистанциях от БИБ закреплены четыре макета ВЦ в виде инфракрасных излучающих диодов Kingbright L-34SF4C.

При снятии статической характеристики макета БИБ в каждой точке диапазона с каждого анализатора проводился съем серии из 100 кадров с последующей их обработкой.

Для исключения влияния неконтролируемых факторов эксперимент рандомизировался по временному интервалу.

Испытания проводились в нормальных условиях в соответствии с ГОСТ 8.395-80:

- температура (20 ± 5) °С,
- относительная влажность воздуха (60 ± 5) %,
- атмосферное давление ($101,3 \pm 10$) кПа или (760 ± 75) мм рт.ст.

Полученные серии кадров при проведении испытаний обрабатывались в соответствии с правилами обработки многокоординатных измерений, которые регламентированы в ГОСТ 8.207-76.

Была применена проверенная ранее последовательность испытаний.

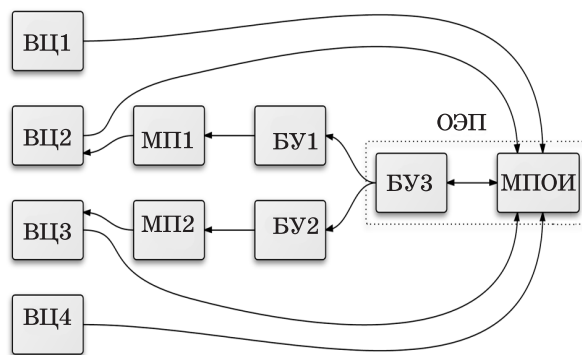


Рис. 3. Схема эксперимента. Пояснения в тексте.

Статистический анализ обработки экспериментальных данных включает в себя следующие этапы:

1) проверяется гипотеза о соответствии каждой выборки нормальному закону распределения, т. е.

– исправление ряда наблюдений (исключение известных систематических погрешностей, если они различны, из каждого результата наблюдения);

– проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений принятой модели распределения в первую очередь к нормальному закону в соответствии с ГОСТ Р 50.1.033–2001;

– в оставшихся сериях в соответствии с ГОСТ 11.002-76 отбрасываются промахи;

2) проверяется гипотеза о равенстве дисперсий выборок;

3) результаты наблюдений описываются линейной моделью по методике регрессионного анализа (рассчитываются оценки коэффициентов линейной модели) и проверяется гипотеза об адекватности линейной модели.

В результате установлено, что функции преобразования описываются линейной моделью с одной независимой переменной, при этом оценка средней квадратической погрешности измерения не превышает 0,025 мм на дистанции 15 м. Таким образом, для практических дистанций 30 м, соответствующих размерам зеркальных элементов современных радиотелескопов миллиметрового диапазона, погрешность измерения оптико-электронной системы не превысит допустимого значения 0,1 мм.

Статическая характеристика позволяет с высокой точностью “предсказывать” результаты измерений, так как доверительные интервалы крайне малы.

² В качестве источника информации о положении визирной цели выступали координаты центра изображения точечного источника.

В целом эксперименты подтвердили правильность теоретических положений, лежащих в основе концепции измерительного многоапертурного блока.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1437.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артеменко Ю. Н., Коняхин И. А., Панков Э.Д., Тимофеев А.Н.* Оптико-электронные системы измерения деформаций элементов конструкции радиотелескопа миллиметрового диапазона РТ-70 (Суффа) // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т.51. №9. С. 5–10.
2. *Igor A. Konyakhin, Alexander N. Timofeev.* Optic-Electronic Systems for Control the Angle and Line Positions of the Elements Unblocked Aperture Radio-Telescope // Key Engineering Materials. 2010. Vol. 437. P. 203–207 / Switzerland. Trans Tech Publications.
3. *Konyakhin, I., Timofeev, A., Usik, A., Zhukov, D.* The experimental research of the systems for measuring the angle rotations and line shifts of the large aperture radio-telescope components // Proc. of SPIE V. 7544. Sixth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation /Ed. by Jiubin Tan, Xianfang Wen / Bellingham. 2010. P. 75443
4. *Gerardo Carrera, Adrien Angeli, Andrew J. Davison.* SLAM-based automatic extrinsic calibration of a multi-camera rig // Robotics and Automation (ICRA). IEEE International Conference Conference Publications. 2011. P. 2652–2659
5. *Лемешко Б.Ю., Постовалов С.Н.* Рекомендации ГОСТ Р 50.1-033-2001 и ГОСТ Р 50.1-037-2002 как итог исследований вопросов применения критериев согласия // Труды 10-го Юбилейного Международного симпозиума по непараметрическим и робастным методам в кибернетике. Томск. 2002. С. 60–74.