

А. А. БОЯРЧУК, Ю. М. ХОДЖАЯНЦ, Г. М. ТОВМАСЯН, М. Н. КРОМЯН,
Л. В. ГРАНИЦКИЙ, Э. А. АРУТЮНЯН, А. З. ЗАХАРЯН, О. Н. ГАСПАРЯН,
А. Л. КАШИН, Э. А. НАЛБАНДЯН

СИСТЕМА НАВЕДЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АСТРОН»

Ряд фундаментальных вопросов современной астрофизики можно решить на крупных телескопах, выводимых за пределы земной атмосферы. В этом случае оказывается возможным исследование спектра излучения небесных тел вплоть до $\lambda = 110$ нм, что недоступно наземной астрономии ввиду полного поглощения атмосферой излучения $\lambda < 300$ нм.

При создании внеатмосферных астрономических комплексов приходится сталкиваться с рядом сложных технических проблем, основной из которых является обеспечение требуемой ориентации телескопа и стабилизации положения изображения исследуемых звезд в его фокальной плоскости.

Выбор общей структуры системы стабилизации телескопа является исключительно важным фактором для обеспечения высоких точностей (долей угловых секунд) и формирования внеатмосферного астрономического комплекса в целом, что определяет в конечном итоге функциональные и научные возможности последнего.

В настоящей работе описана система наведения прецизионной стабилизации крупнейшего в мире орбитального ультрафиолетового астрономического телескопа, являющегося основным инструментом астрофизической станции (АС) «Астрон», выведенной на околоземную орбиту в СССР 23 марта 1983 года [1]. Диаметр главного зеркала телескопа (система Ричи-Кретьена)—0,8 м, относительное отверстие—1:10. В фокальной плоскости телескопа расположен сканирующий спектрометр, измеряющий излучение небесных источников с высоким (0,4 Å) и низким (14 и 28 Å) разрешениями в диапазоне 1140—3400 Å.

Телескоп жестко установлен на орбитальном аппарате межпланетной автоматической станции типа «Венера», в котором размещены бортовые системы, предназначенные для обмена с Землей служебной и научной информацией, система управления ориентацией (СУО) и т. д.

Необходимая для выполнения программы эксперимента высокоточная ориентация и стабилизация оптической оси телескопа в направлении на исследуемый объект производится методом двухконтурного итерационного управления. В качестве основного (грубого) контура служит СУО, которая обеспечивает заданную ориентацию всей станции «Астрон» в инерциальном пространстве с точностью ± 5 угл. мин. по каждой оси. Чувствительными элементами СУО являются оптико-электронные приборы ориентации по Солнцу и звездам и гироскопическая система, а исполнительными элементами—система газореактивных двигателей.

Вторичный (прецизионный) контур управления поворотами вторичного зеркала по сигналам встроенных в телескоп астродатчиков устраняет ошибку ориентации оптической оси телескопа и, компенсируя возмущения, вызванные угловыми движениями космического аппарата, обеспечивает стабилизацию положения изображения звезды в фокальной плоскости телескопа с необходимой точностью.

Контроль процесса наведения телескопа на исследуемые области небесной сферы осуществляется с помощью установленной на корпусе телескопа специальной телевизионной камеры опознавания звездного поля, информация с которой по радиотелеметрическому каналу связи передается на наземное видеоконтрольное устройство.

Принцип действия системы стабилизации. На рис. 1. показана оптическая схема телескопа с элементами системы прецизионной стабилизации (СПС) изображения. Вторичное зеркало телескопа установлено в кардановом подвесе на базе упругих шарниров, обеспечивающем

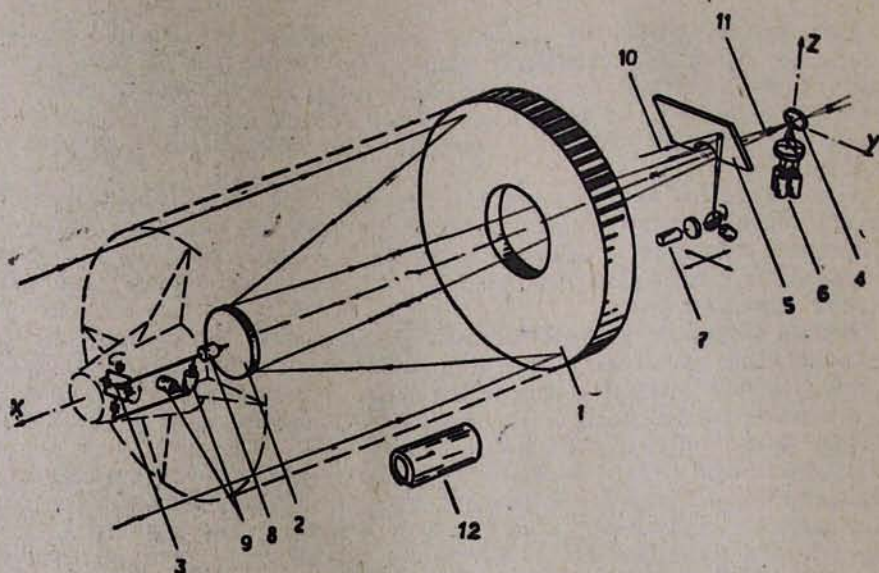


Рис. 1. Оптическая схема телескопа с элементами системы наведения и стабилизации: 1—главное зеркало, 2—вторичное зеркало, 3—нейтральная точка телескопа, 4—зеркальная пирамида, 5—плоское диагональное зеркало, 6—астродатчик ДПЗЦ, 7—астродатчик ДПЗО, 8—привод фокусировки, 9—приводы системы стабилизации, 10—свет от опорной звезды, 11—свет от исследуемой звезды, 12—телевизионная камера опознавания поля

перемещение вторичного зеркала по поверхности сферы радиусом около 700 мм. Центром вращения при этом является нейтральная точка телескопа. В качестве исполнительных элементов применены электродвигатели постоянного тока с редукторами линейного перемещения выходного вала. Усилительно-преобразующий электронный блок СПС, в котором по сигналам астродатчиков и тахогенераторов цепи обратной связи формируется необходимый закон управления, расположен в специальном гермоотсеке.

В зависимости от требований, предъявляемых программой экспе-

риента, СПС может работать в двух режимах: автосопровождения и офсетного гидирования.

В режиме автосопровождения для формирования сигналов рассогласования используется часть светового потока исследуемой звезды. Этот режим предназначен для спектрометрирования с высоким разрешением звезд ярче 8^m . Измерительным элементом при этом является астродатчик ДПЗЦ положения центральной звезды (рис. 1.), анализатор которого выполнен в виде зеркальной четырехгранной пирамиды с отверстием в вершине, служащим входной диафрагмой спектрометра. Диаметр отверстия равен 1 угл. с.

Стабилизация изображения в режиме автосопровождения производится в два этапа. Вначале с помощью СУО телескоп «грубо» ориентируется на исследуемую звезду, в результате чего последняя попадает в поле зрения ДПЗЦ. После этого включается СПС, которая поворотами вторичного зеркала устраняет ошибку начальной ориентации и приводит изображение звезды на вершину пирамиды. Здесь часть светового потока (примерно 50%) через отверстие в вершине попадает в спектрометр, а остальная часть, отраженная от граней пирамиды, используется для формирования управляющих сигналов СПС. При этом изображение наблюдаемого объекта должно стабилизироваться в фокальной плоскости телескопа с точностью до $\pm 0,3$ угл. с.

При спектрометрировании слабых (до 15^m) или протяженных объектов, световой энергии которых недостаточно для выделения сигналов рассогласования, СПС работает в режиме офсетного гидирования. Здесь опорным ориентиром служит достаточно яркая звезда, расположенная в периферийной части поля зрения телескопа. Диафрагмы для наблюдения слабых и протяженных объектов расположены на гранях пирамиды вдоль оси Z. Измерительным элементом системы в этом случае является астродатчик ДПЗО (рис. 1), выполненный по принципу полудисковой модуляции светового потока и имеющий возможность механического перемещения вдоль поперечных осей телескопа с шагом 0,25 угл. с. Поле обзора датчика ДПЗО формируется плоским диагональным зеркалом, установленным перед фокальной плоскостью телескопа. Изображение исследуемой звезды при этом удерживается в диафрагме диаметром 12 угл. с., а протяженных объектов — в диафрагме диаметром 80 угл. с. Последняя снабжена специальным затвором, откидывающимся только при работе с этой диафрагмой.

Работа в режиме офсетного гидирования осуществляется в три этапа. Вначале, как и в предыдущем случае, при помощи СУО обеспечивается «грубая» ориентация и стабилизация телескопа. Затем, при известном с достаточной точностью взаимном положении опорной звезды и исследуемого объекта, астродатчик ДПЗО сигналом с наземного управляющего устройства перемещается в соответствующую точку фокальной плоскости, так что изображение опорной звезды попадает в его поле зрения. Далее включается СПС, которая приводит изображение опорной звезды в «нуль» астродатчика ДПЗО и стабилизирует его в этом положении. При правильной обработке рассчитанных сигналов изображение исследуемого объекта стабилизируется на соответствующей входной диафрагме спектрометра. Заданная точность стабилизации в офсетном режиме 2 угл. с.

Моделирование. В режиме автосопровождения СПС распадается на два практически независимых идентичных (отдельных) канала. Синтез структуры сепаратных каналов произведен согласно известным методам классической теории регулирования с учетом целого ряда требований, обусловленных спецификой работы СПС. Анализ устойчивости

и динамической точности СПС в офсетном режиме осуществлен на основе специальных методов многосвязного регулирования.

Важным этапом разработки СПС явилось ее математическое и полунатурное моделирование. Математическое моделирование проводилось с целью исследования влияния нелинейностей реальных статистических характеристик элементов СПС—насыщения, нечувствительностей, люфтов и т. д. на показатели качества системы. Одновременно были уточнены параметры корректирующих связей. Анализ результатов математического моделирования показал, что влияние перечисленных факторов на динамическую точность СПС несущественно, т. е. выбранная линейная модель достаточно точно описывает поведение системы.

Полунатурное моделирование осуществлялось на специальном стенде с целью выявления влияния факторов, неподдающихся практически математическому описанию, в частности, погрешностей изготовления и сборки узла вторичного зеркала, шумов электронных узлов и т. д. На данном этапе работы исследовалась также совместная работа СУО и СПС.

Стенд полунатурного моделирования представляет собой аналоговую вычислительную машину (АВМ), в которой моделировались характеристики оптико-электронных приборов СУО и динамика космического аппарата, а также статические и динамические характеристики астродатчиков СПС. К АВМ при этом были подключены реальные узлы СУО, электронные блоки вторичного зеркала СПС. Главная обратная связь по углу поворота вторичного зеркала в модели была реализована с помощью прецизионных трансформаторных датчиков линейных перемещений, сочлененных с выходными штоками исполнительных приборов системы.

Результаты полунатурного моделирования достаточно точно совпали с результатами математического моделирования и подтвердили работоспособность разработанной СПС.

Испытания СПС. Узлы и блоки СПС прошли установленный для космической аппаратуры цикл наземных испытаний. При этом особое внимание было уделено исследованию точностных характеристик в условиях сопряжения с реальной оптикой и конструкцией телескопа. Испытания проводились на специальном стенде, который обеспечивал на входе телескопа угловые перемещения световых потоков от имитаторов звезд с амплитудами и скоростями, соответствующими динамике СУО в режиме стабилизации. Блок-схема динамических испытаний показана на рис. 2. Телескоп с оптикой коллиматора, состоящего из длиннофокусного сферического и плоского зеркал, был установлен на виброизолированном основании. В фокальной плоскости коллиматора размещены два имитатора звезд (опорная и контрольная), которые совершают с помощью интегрирующего привода возвратно-поступательные перемещения. Соответствующей установкой телескопа это движение раскладывалось по осям управления. Требуемый закон движения задавался специальным генератором, а контроль осуществлялся регистрирующей аппаратурой по телеметрическим параметрам и визуально с помощью микроскопа, установленного в фокальной плоскости телескопа. Испытания СПС проводились с имитацией различных режимов «качки» космического аппарата. Точностные и динамические характеристики системы оказались практически идентичными как при работе с астродатчиком ДПЗЦ, так и с астродатчиком ДПЗО во всем диапазоне изменения яркостей гидрируемых звезд от 2^m до 8^m5 .

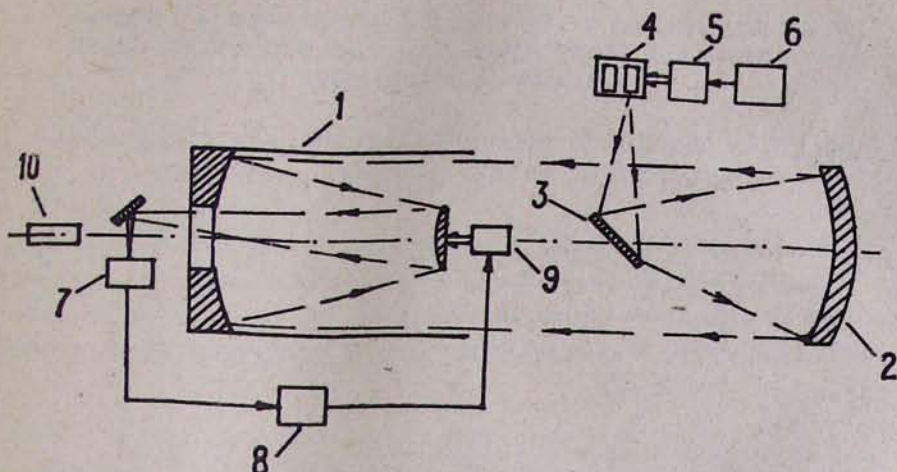


Рис. 2. Блок-схема динамических испытаний системы стабилизации изображения: 1—телескоп, 2—сферическое зеркало, 3—плоское зеркало, 4—точечные источники света, 5—привод, 6—задающее устройство, 7—астродатчик, 8—усилительно-преобразующее устройство, 9—исполнительный механизм, 10—контрольный микроскоп

Результаты летных испытаний. Учитывая сложность и уникальность эксперимента, с первых же дней полета АС «Астрон», большое внимание было уделено проверке правильности заложенных в СПС принципов работы и конструктивных решений.

Успешно продолжающееся свыше года функционирование телескопа на орбите подтвердило работоспособность СПС. Анализ телеметрической информации и обработка полученных спектрограмм показывает, что погрешность стабилизации изображения исследуемой звезды в режиме автосопровождения $\pm 0,25$ угл. с. и в режиме офсетного гидирования $\pm 1,8$ угл. с., что несколько лучше заданных.

За это время было получено около сотни ультрафиолетовых спектрограмм звезд и галактик. Наблюдательный материал обрабатывается. Получены интересные данные об аномалиях химического состава ряда звезд, наличии звездного ветра, избыточном излучении некоторых галактик в далеком ультрафиолете и т. д.

В последующих статьях этой серии более подробно рассмотрены вопросы проектирования и изготовления отдельных узлов системы стабилизации телескопа и моделирования условий ее работы.

10 мая 1984 г.

Крымская астрофизическая
обсерватория АН СССР

Бюраканская астрофизическая
обсерватория АН АрмССР

Ա. Ա. ԲՈՅԱՐՉՈՒԿ, ՅՈՒ. Մ. ԽՈԶՋԱՅԱՆՑ, Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ, Մ. Ն. ՔՐՄՈՅԱՆ,
Լ. Վ. ԳՐԱՆԻՏԿԻ, Է. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Զ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Օ. Ն. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ,
Ա. Լ. ԿԱՇԻՆ, Է. Ա. ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ

**«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵՋԵՐԱՆԱՎԻ ՈՒՋՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ
ԿՈՂՄԵՆՈՐՈՇՄԱՆ ԵՎ ԿԱՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԸ**

Համառոտակի նկարագրված է տիեզերական աստղադիտակի կողմնորոշման և դիտվող օբյեկտի ուղղութիւյամբ կայունացման համակարգը, որն ունի երկու գործելակերպ՝ ուղղութիւյան կայունացումը դիտվող աստղի լույսի օգնութիւյամբ և կայունացումը դիտվող թույլ օբյեկտի շրջակայքում եղած պայծառ աստղի լույսի օգնութիւյամբ:

A. A. BOYARCHUK, YU. M. KHODZHAYANTZ, H. M. TOVMASSIAN,
M. N. KRMOYAN, L. V. GRANITSKIJ, E. A. HARTYUNIAN, A. Z. ZAKHARIAN,
O. N. GASPARIAN, A. L. KASHIN, E. A. NALBANDIAN

**THE ORIENTATION AND STABILIZATION SYSTEM OF THE
„ASTRON“ SPACESHIP ULTRAVIOLET TELESCOPE**

The system of orientation and stabilization of the space telescope in the direction of the observed object in two modes—of self-guidance and offset guidance is briefly described.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Л. В. Границкий, В. М. Ковтуненко, М. Н. Крмоян, П. Крувилье, Ж. Куртес, В. И. Проник, А. Б. Северный, Г. М. Товмасын, Ю. М. Ходжаянц, С. Т. Хуа, Письма в АЖ, 10, 163, 1984.