20.340.40.5 002 ФРЗАРОЗАРБЕР И.Ч.АБИРО. АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

езамещчиль иляциоранения сообщения бюраканской обсерватории

ФРИЧ LVI ВЫПУСК

Печатается по решению ученого совста Бюраканской астрофизической обсерватории АН Армянской ССР

Редакционная коллегия:

В. А. АМБАРЦУМЯН (главный редактор), Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН, Л. В. МИРЗОЯН, М. А. МНАЦАКАНЯН (ответственный секретарь). Г. М. ТОВМАСЯН (зам. главного редактора), Р. К. ШАХБАЗЯН

C 1705000000 703(02)-85 47-85

С Издательство АН Армянской ССР. 1985.

ОТ РЕДАКЦИИ

Основное содержание настоящего выпуска «Сообщений Бюраканской обсерватории» (за исключением четырех последних статей) составляют работы, относящиеся к системе наведения и стабилизации космического телескопа «Астрон», выведенного на орбиту 23 марта 1983 г. Этот телескоп был создан в результате большой работы, проведенной коллективом Крымской астрофизической обсерватории АН СССР под руководством академика А. Б. Северного и члена-корреспондента АН СССР А. А. Боярчука. В дальнейшем по предложению Бюраканской обсерватории к созданию системы прецизионной стабализации телескопа были привлечены силы Академии наук Армянской ССР под руководством доктора физ.-мат. наук Г. М. Товмасяна. Известно также, что в создании спектральной аппаратуры и приемников этого телескопа приняли участие французские специалисты.

В настоящем выпуске помещены статьи, связанные с разработками системы стабилизации «Астрона». Остальные статьи настояшего выпуска посвящены другим метолическим вопросам.

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 раднотелеметрическому каналу связи передается на наземное видеоконтрольное устроиство.

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-

6

римента, 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 ^т. 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±0,3 угл. с.

При спектрометрировании слабых (до 15^т) или протяженных объектов, световой энергии которых недостаточно для выделения сигналов рассоглассования, 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 отработке 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. с. 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 (ABM), 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 гидируемых звезд от 2^m до 8^m5.



Рис. 2. Блок-схема динамических испытаний системы стабилизеции изображения: /телескоп, 2-сферическое зеркало, 3-плоское зеркало, 4-точечные источники света, 5-привод, 6-зидающее 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 ±0,25 угл. с. и в режиме офсетного гидирования ±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

- А. А. БОЯРЧУК, Ю. М. ХОДЖАЯНЦ. Г. М. ТОВМАСЯН И ДР.

Ա Ա ԲՈՑԱՐՉՈՒԿ, ՅՈՒ. Մ. ԽՈՋԱՑԱՆՑ. Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ, Մ. Ն. ՔՐՄՈՑԱՆ, Լ. Վ. ԳՐԱՆԻՑԿԻ, Է. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՏԱՆ., Ա. Ջ. ԶԱՔԱՐՑԱՆ, Օ. Ն. ԳԱՍՊԱՐՑԱՆ, Ա. Լ. ԿԱՇԻՆ, Է. Ա. ՆԱԼՐԱՆԴՏԱՆ

«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵԶԵՐԱՆԱՎԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՑՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՄԱՆ ԵՎ ԿԱՑՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԸ

Համառոտակի նկարագրված է տիհզհրական աստղադիտակի կողմնորոշման և դիտվող օբյհկտի ուղղությամբ կայունացման Համակարգը, որն ունի հրկու գործելակերպ՝ ուղղության կայունացումը դիտվող աստղի լույսի օգնությամբ և կայունացումը դիտվող թույլ օբյհկտի շրջակայքում հղած պայծառ աստղի լույսի օգնությամբ,

A. A. BOYARCHUK, YU. M. KHODZHAYANTZ, H. M. TOVMASSIAN. M. N. KRMOYAN. L. V. GRANITSKIJ, E. A. HARLTYUNIAN, 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-quidance and offset quidance 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. Товмасян, Ю. М. Ходжаянц, С. Т. Хуа, Письма в АЖ, 10, 163, 1984.

С. А. АРУТЮНЯН, Р. О. ВЕКИЛЯН, К. Г. ГРИГОРЯН, А. З. ЗАХАРЯН, М. Н. КРМОЯН, А. Р. ТАГИАНОСЯН

ЗВЕЗДНЫЕ ДАТЧИКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН»

Научные задачи спектрометрирования звезд с высоким разрешением для ярких звезд и относительно низким разрешением для слабых объектов решены в телескопе «Астрон» системой прецизионной стабилизации, работающей в двух режимах: автосопровождения и внеосевого (офсетного) гидирования.

В режиме автосопровождения сигнал ошибки системы гидирования формируется в датчике положения центральной звезды (ДПЗЦ), построенном по статическому принципу. Световой поток от спектрометрируемой звезды, сформированный телескопом, попадает на вершину четырехгранной пирамиды, основание которой расположено под углом 45° к оси телескопа. Грани пирамиды наклонены к основанию под углом 1,5°, а в вершине пирамиды имеется отверстие диаметром 40 мкм, служащее входной диафрагмой спектрометра. Часть светового потока, сфокусированного телескопом на вершину пирамиды, через входную диафрагму проходит в спектрометр, а другая—отраженная от зеркальных граней пирамиды—попадает на оптико-электронную головку датчика ДПЗЦ. Оптическая схема ДПЗЦ показана на рис. 1.

В состав оптико-электронного блока входит связка из четырех фотоумножителей типа ФЭУ-127А, блок линз поля, фокусирующих входной зрачок телескопа на ФЭУ, высоковольтный источник питания и предварительные усилители.

Сигналы с выхода ДПЗЦ обрабатываются в электронном блоке, расположенном в гермоотсеке. На рис. 2 приведена блок-схема ДПЗЦ.

Отраженный от граней световой поток, пройдя через линзы, попалает на фотокатоды фотоумножителей 1—4. Выходные сигналы от фотоумножителей поступают на предварительные усилителей 5—8. Сигналы постоянного тока с выхода предварительных усилителей попарно, согласно осям рассогласования, подаются на вычитающие устройства 9, 10. В случае «нулевого» рассогласования по осям выходные сигналы вычитающих устройств равны нулю; наличие же сигналов свидетельствует о наличии рассогласования определенной величины. Для устранения известных недостатков, присущих усилителям постоянно: тока, дальнейшая обработка сигналов рассогласования производится по схеме «модулятор—усилитель—демодулятор» 11, 12, в устройствах 13, 14. Для управления модулятором и усилителем используются опорные напряжения от специального генератора.

С целью обеспечения постоянной крутизны характеристики датчика при работе в требуемом диапазоне звезд предусмотрена система автоматической подстройки чувствительности (АПЧ). Система АПЧ позволяет поддерживать крутизну характеристики ДПЗЦ в диапазоне 1:250 с точностью±5% изменением высоковольтного напряжения питания фотоумножителей.



Рис. 1. Оптическая схема ДПЗЦ



Рис. 2. Блок-схема ДПЗЦ: 1—4—ФЭУ; 5—8—предварительные усилители; 9, 10—вычитающие устройства; 11, 12—модулятор, усилитель, демодулятор; 13, 14—фильтры; 15—АПЧ

Основные технические данные ДПЗЦ следующие:

-поле зрения 10 угл. мин;

-чувствительность на линейной зоне характеристики-2 В/угл. с.; -линейная зона±1,3 угл. с;

—вес 5,5 кг;

-энергопотребление (с блоком электроники) 8,9 Вт.

В основу датчика положения звезды офсетной (ДПЗО) заложен принцип с вращающимся полудисковым модулятором. Принцип работы датчиков с подобным анализатором достаточно широко описан в литературе, и поэтому здесь не приводится [1, 2].

Конструктивно ДПЗО выполнен в виде двух блоков: оптико-электронного, расположенного внутри телескопа, и электронного, размсщенного внутри гермоотсека.



Рис. З. Оптическая схема ДПЗО

На рис. З показана оптическая схема ДПЗО. С помощью плоского диагонального зеркала, форма которого позволяет избежать экранировки центральной части фокальной плоскости телескопа, выделяется световой поток периферийной области поля зрения телескопа. Световой поток от выбранной звезды гидирования падает на зеркальный полудисковый анализатор, имеющий мгновенное поле зрения 10 угл. мип. Установленная после анализатора линза поля строит изображение входного зрачка телескопа на фотокатоде фотоумножителя. В ДПЗО использован фотоумножитель типа ФЭУ-86.

Оптико-электронный блок ДПЗО конструктивно является автоном-

ным прибором с герметичным объемом. Общий вид блока показан на рис. 4. Для выделения сигналов рассогласования по осям Y и Z используется генератор опорного напряжения (ГОН). выполненный на двух оптопарах, расположенных друг к другу под углом 90°. Обтюратор, расположенный на валу двигателя, обеспечивает модуляцию излучения от светодиода, а на выходе фотоднода образуется электрический сигнал переменного тока с частотой, равной частоте вращения двигателя. Сигналы с фотодиода в дальнейшем усиливаются в электронном блоке до нужной величины и используются для управления ключами демодулятора.



Рис. 4. Общий вид ДПЗО (со сиятым кожухом)

В оптико-электронном блоке ДПЗО установлен узел фотоумножителя, состоящий из самого ФЭУ, высоковольтного источника питания и предварительного усилителя. Для тестовых проверок ДПЗО в корпусе узла модулятора под углом 45 угл. град. к осям ГОНа установлены имитаторы звезды.

Выставка «нуля» астродатчика в любую точку поля осуществляется перемещениями по двум осям Y и Z с помощью механизма уставок связки «модулятор—узел фотоумножителя». Механизм уставок состоит из двух кареток, установленных на шариковых направляющих и расположенных друг к другу под углом 90°. На концах направляющих

14

закреплены кронштейны, несущие привода. Исполнительными органами приводов служат шаговые двигатели, от которых движение кареткам передается через передачу винт-гайка; конструкция гайки позволяет выбрать осевой люфт. Каретки перемещаются дискретно вдоль осей Y и Z с шагом 10 мкм (0,25 угл. с. в масштабе телескопа).

Для определения положения узла модулятора в поле зрения ЛПЗО используются установленные по осям прецизионные потенциометры грубых и точных перемещений.

На рис. 5 показана блок-схема ДПЗО. Собранный оптической системой датчика и модулированный полудисковым анализатором световой поток от звезды попадает на фотоумножитель 1. Выходной сигнал переменного тока с нагрузки ФЭУ поступает на предварительный усилитель 2. Сигнал на выходе предварительного усилителя усиливается до нужной величины усилителем 3. В дальнейшем сигнал поступает на фазочувствительные выпрямители-демодуляторы 4 и 5. Одновременно к демодуляторам подается опорное напряжение от ГОНа 6. Разложенный по осям синхронно детектированный сигнал рассогласования поступает на выходные фильтры 7, 8.



Рис. 5. Блок-схема ДПЗО

С целью обеспечения постоянной крутизны выходного сигнала при работе астродатчика в большом диапазоне звездных величин предус-мотрена система дистанционной (через командную радиолинию объекта) и автоматической подстройки чувствительности 9.

Разработанная система АПЧ поддерживает крутизну выходного сигнала с точностью не хуже ±5% в диапазоне изменения светового потока 1:700.

Блок-схема АПЧ показана на рис. 6. Отличительной особенностью системы АПЧ является двухконтурное регулирование чувствительности фотоумножителя 5.

Основные технические данные ДПЗО следующие:

-поле зрения 10 угл. мин; -чувствительность по линейной зоне характеристики 2 В/угл. с; -лянейная зона±1,5 угл. с;

—вес 11 кг;

-энергопотребление (с блоком электроники) 675 Вт.

Результаты анализа телеметрической информации и полученных спектрограмм звезд свидетельствуют о полном соответствии характеристик датчиков положения центральной и офсетной звезд своим техническим требованиям.







Ряс. 7. Телеметрическая запись параметров: кривая 1—сигнал рассогласования, кривая 2—высоковольтный источник питания; отрезок *ab* соответствует сигналу от звезды до работы АПЧ; отрезок *bc*—режим работы АПЧ; отрезок *cd*—режим наведения и -стабилизации.

В качестве примера на рис. 7 приведены записи телеметрических параметров сигнала рассогласования датчиков ДПЗО и ДПЗЦ во время одного из сеансов работы системы стабилизации телескопа по звезде № 78402+6,1 АО (каталог САО).

10 мая 1984 г.

U. U. 2UPAPPSAPUSUU, P. 2. 464PLSUU, 4. 9. 9PP9APSUU, U. 2. 2UPAPSUU, U. U. PPUASUU, U. P. PUAPUUADSUU

«ԱՍՏՐՈՆ» ԿԱՅԱՆԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆ ԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԻ ԿԱՅՈՒՆԱ8ՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՍՏՂԱՑԻՆ ՏՎԻՉՆԵՐԸ

Դիտարկվում են «Աստրոն» տիեզերակայանի ուլտրամանուշակագույն աստղադիտակի կայունացման համակարգի աստղային տվիչները՝ կայու-

16

ЗВЕЗДНЫЕ ДАТЧИКИ

նացման երկու գործելակարգերում։ Բերվում են տվիչների որոշ կոնստրուկտիվ առանձնահատկությունները, Վերլուծության են ենթարկվում շահագործման ընթացքում ստացված հեռուստաչափական ինֆորմացիայի տվյալները, Նըկարագրվում են օպտիկական և ֆունկցիոնալ սխեմաները,

S. A. HARUTYUNIAN, R. H. VEKILIAN, K. G. GRIGORIAN, A. Z. ZAKHARIAN, M. N. KRMOYAN, A. R. TAGIANOSSIAN

THE STAR SENSORS OF THE "ASTRON" ULTRAVIOLET TELESCOPE STABILIZATION SYSTEM

The star sensors of the stabilization system of the ultraviolet telescope on the space station "Astron" in two modes of stabilization are considered. Some constructive detailes of the sensors are presented. The results of analysis of telemetric information obtained during operation of the telescope are presented. The optical and functional schemes are described.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. П. В. Николаев, Ю. А. Сабинин, Фотоэлектрические следящие системы. Л., Энергия, 1969.
- 2. Л. З. Криксунов, И. Ф. Усольцев, Инфракрасные системы обнаружения, пеленгации и автоматического сопровождения движущихся объектов. М., Сов. радио, 1968.

Mary 24 Mary 2.55libedin SABLAUTOUSUI APLAUAU BAUNEU, LET APPER Distant

ł

О. Н. ГАСПАРЯН, А. З. ЗАХАРЯН, Г. Г. ЕГИАЗАРЯН

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН»

В настоящей статье рассмотрены кинематические и структурные особенности системы прецизионной стабилизации (СПС) положения изображения наблюдаемых объектов в ультрафиолетовом телескопе космической станции «Астрон». Произведен анализ динамической точности и устойчивости СПС в режимах автосопровождения и офсетного гидирования.

Структурная схема СПС и ее особенности. В режиме автосопровождения СПС распадается на два практически независимых идентичных сепаратных (отдельных) канала. Синтез структуры сепаратного канала произведен с учетом ряда противоречивых требований, обусловленных спецификой функционирования системы. Так, например, характерной особенностью СПС является работа при весьма низких скоростях-до тысячных долей угловых градусов в секунду, что предъявляет повышенные требования к плавности движения вторичного зеркала. В то же время, поскольку стабилизация положения изображения должна производиться с очень высокой точностью, то требуемая добротность по скорости оказывается весьма большой. Ширина полосы пропускания, с одной стороны, должна быть достаточной для отработки спектра кинематических погрешностей механических передач, а с другой-по возможности узкой, с целью уменьшения ошибок от случайных шумов в системе. Синтез системы произведен известными методами [1] исходя из условия обеспечения показателя колебательности M=1,3. Добротность СПС по скорости выбрана равной 200 с⁻¹, а частота среза—равной 12 с⁻¹. Структурная схема сепаратного канала системы показана на рис. 1.

На рис. 2 условно изображена фокальная плоскость телескопа. Исследуемая звезда расположена на оптической оси телескопа, а изоб-



Рис. 1. Структурная схема отдельного канала стабилизации

ражение опорной (офсетной) звезды находится на расстоянии F tg θ от оптической оси, под углом α к оси Z. Здесь F — эквивалентное фокусное расстояние телескопа, а θ — угол между офсетной и исследуемой звездами. Пунктиром обведена граница поля зрения офсетного астридатчика АД2 (поля возможного расположения опорных звезд). Структурная схема СПС в офсетном режиме определяется способом наве де-



Рис. 2. Фокальная плоскость телескопа: 1—поле зрения центрального астродатчика АД1, 2—поле зрения офсетного астродатчика АД2, 3—область возможного расположения опорных звезд

ния АД2 на опорную звезду и характеризуется рядом особенностей [2]. Так, принятая кинематическая схема наведения астродатчика обеспечивает его плоскопараллельное перемещение в фокальной плоскости телескопа в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, при котором оси чувствительности АД2 всегда параллельны соответствующим осям стабилизации. Как следует из рис. 2, линейные отклонения Y и Z опорной звезды в поле зрения АД2 связаны с угловыми отклонениями телескопа следующими выражениями:

$$f = F [\cos \varepsilon_x \operatorname{tg} \varepsilon_z + \sin \varepsilon_x \operatorname{tg} \varepsilon_y - \operatorname{tg} \theta \sin \alpha (1 - \cos \varepsilon_x) + \operatorname{tg} \theta \cos \alpha \sin \varepsilon_x],$$

(1)

$$Z = F \left[-\sin e_x \operatorname{tg} e_x + \cos e_x \operatorname{tg} e_y - \operatorname{tg} \theta \sin \alpha \sin e_x - \operatorname{tg} \theta \cos \alpha (1 - \cos e_x)\right].$$

Пренебрегая в (1) членами второго порядка малости относительно ϵ , для выходных сигналов АД2 U_z и U_y получим:

$$U_{z} = W_{AB}(p) Y = W_{AB}(p) F(e_{z} + tg\theta \cos e_{x}),$$

$$U_{u} = W_{AB}(p) T = W_{AB}(p) F(e_{u} - tg\theta \sin e_{u}).$$
(2)

где WAD(p)-передаточная функция астродатчика.

О. Н. ГАСПАРЯН, А. З. ЗАХАРЯН, Г. Г. ЕГНАЗАРЯН

Учитывая соотношения (2), а также то обстоятельство, что в АД2 осуществляется амплитудно-фазовая модуляция светового потока и в нем, наряду с двухканальной частью, содержится также и одноканальный тракт преобразования комплексной амплитуды модулированного сигнала, нетрудно составить структурную схему СПС в офсетном режиме (рис. 3). Изображенные на этом рисунке прямые алтисимметричные связи между сепаратными каналами СПС обусловлены погрешностями выставки осей генератора опорных напряжений (ГОН) астродатчика АД2 относительно осей управления. Как показал анализ, их наличие не



Рис. 3. Структурная схема системы стабилизации в сфсетном режиме

изменяет модуля вектора установившейся ошибки, а приводит к повороту самого вектора в плоскости УОZ (вокруг оси ОХ) на угол β . Влияние же указанных взаимных связей на устойчивость СПС заключается в изменении запаса устойчивости на ту же величину β . Так как погрешность выставки осей ГОНа не превышает $\beta \approx 1^{\circ} - 2^{\circ}$, то, очевидно, влияние взаимных связей на динамику СПС пренебрежимо мало.

Анализ динамической точности СПС. Основное внимание при разработке системы было уделено вопросам обеспечения ее динамической точности, а также анализу допусков на параметры СПС и влияння их отклонений на точность [3, 4]. На первом этапе этой работы были выявлены факторы, в той или иной степени ограничивающие достижимые точности стабилизации. К ним относятся: внешние возмущения, вызванные угловыми движениями станции «Астрон», моментные и кинематические возмущения в механических передачах, падение напряжения на щеточно-коллекторном переходе исполнительных двигателей, сигналы помех на выходах астродатчиков, порождаемые дробовым шумом фотоумножителей, осевыми и радиальными биениями полудискового модулятора, нестационарностью демодуляторов и т. д.

Ниже приведен расчет составляющих ошибки стабилизации и определена результирующая ошибка СПС.

Динамическая составляющая ошибки. Вектор установившейся динамической ошибки СПС в офсетном режиме найден на основании теории многосвязного регулирования, с помощью матриц коэффициентов ошнбок, полученных в [5]. При условии, что сепаратные каналы стабилизации имеют первый порядок астатизма, а внешние возмущения представляют собой линейные функции времени вида $\varphi_l(t) = \Omega_l t$ (l = -x, y, z), вектор ошнбки системы определяется выражением

$$\varepsilon_{s}(t) = -\frac{1}{FK_{\Omega}} \left\{ \begin{bmatrix} \Omega_{y} \\ \Omega_{z} \end{bmatrix} + tg\theta \begin{bmatrix} -\sin\alpha \\ \cos\alpha \end{bmatrix} \Omega_{x} \right\} + tg\theta \begin{bmatrix} -\sin\alpha \\ \cos\alpha \end{bmatrix} \Omega_{r}t, \quad (3)$$

где Ка -добротность по скорости сепаратных каналов.

Переходя в (3) к модулям, получим следующую оценку для [s₄(t)]:

$$\overline{\epsilon_{x}}(t)| \leq \frac{\sqrt{\Omega_{y}^{2} + \Omega_{x}^{2} + \mathrm{tg}\theta|\Omega_{x}|}}{FK_{y}} + \mathrm{tg}\theta|\Omega_{x}|t.$$
(4)

Первое слагаемое в (4) характеризует скоростную составляющую, а второе слагаемое—статическую составляющую ошибки СПС, вызванную неуправляемым движением вокруг оптической оси телескопа $\varphi_x(t)$. Максимальное значение модуля динамической ошибки СПС определено из выражения (4). Для наиболее неблагоприятного случая расположения опорной звезды (x=0, 0 = 26 угл. мин) и при максимальной погрешности ориентации станции «Астрон» эта ошибка равна: $\varepsilon_{A_{max}} = 2.4$ угл. с.

Ошибка от падения напряжения на щетках исполнительных двигателей. Падение напряжения ΔU на щеточно-коллекторном переходе исполнительных двигателей постоянного тока ДПР-62, примененных в СПС, приводит к соответствующей ошибке стабилизации, которая равна:

$$\varepsilon_{\Delta u} = \frac{\Delta U}{K_A K_V} = 0.07 \text{ угл. c}, \tag{5}$$

где $\Delta U = 1,5$ в, $K_A = 2,33$ в/угл. мин—коэффициент передачи астродатчика $K_y = 9$ —коэффициент усиления усилителя мощности.

Моментная составляющая ошибки. Эта составляющая вызвана сухим трением в механических передачах и определяется из выражения

$$\epsilon_{M} = \frac{\gamma_{AB}M_{TP}}{2iK_{2}} = 0.092 \text{ угл. с,}$$
 (6)

где $\gamma_{an} = 0,34$ рад/гсм—жесткость механической характеристики двигателя, $M_{\tau p} = 60$ гсм—приведенный к валу двигателя момент сухого трения, l = 217391—передаточное число механической передачи, $K_{2} = 200 \text{ c}^{-1}$ —добротность СПС по скорости.

Ошибка от шумового напряжения помехи в астродатчике. Основным источником помех в астродатчике якляется дробовой шум, возникающий при работе фотокатода и при вторичном усилении на динодах фотоэлектронного умножителя. Среднеквадратическая ошибка от шумов на выходе астродатчика вычисляется по известному выражению

$$\varepsilon_{AR} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_0(\omega) |\Phi_1(j\omega)|^2 d\omega}, \qquad (7)$$

где $S_0(\omega)$ — спектральная плотность помехи, а $\Phi_1(j\omega)$ — частотная передаточная функция от выхода астродатчика до входа СПС. Найденная величина ошибки ε_{As} равна 0,11 угл. с.

Ошнбки, вызванные кинематическими погрешностями механических передач. Анализ влияния кинематических погрешностей механических передач (МП) на точность стабилизации проведен по методике, разработанной в МАИ В. Г. Терсковым. Дополнительные гармоники па выходе реальных МП, обусловленные неточностью изготовления зубчатых колес, учтены в виде внешних возмущений $\varphi_k(t)$, а амплитуды данных гармоник определены исходя из допусков по ГОСТ, назначенных в соответствии со степенями точности изготовления. Кинематическая схема МП одного канала стабилизации приведена на рис. 4. Расчеты показали, что в системе практически имеют место две существенные составляющие ошибки—первая с частотой $\omega_1 = 15 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой $\varepsilon_2^* = 0,066$ угл. с, и вторая с частотой $\omega_2 = 26 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой $\varepsilon_2^* = 0.071$ угл. с, обусловленные кинематическими погрешностями блока шестерен (z_3 , z_4) и винтовой передачи.



Рис. 4. Кинематическая схема механической передачи

Результирующая среднеквадратическая ошибка стабилизации системы в офсетном режиме определяется из выражения

 $\varepsilon_{o\phi c} = \sqrt{\varepsilon_{A,R}^2 + (\varepsilon_{A_{max}} + \varepsilon_{\Delta u} + \varepsilon_{M})^2 + (\varepsilon_{A}^{*})^2 + (\varepsilon_{A}^{*})^2}$

и равна вофс = 2,53 угл. с.

В режиме автосопровождения установившаяся динамическая ошибка СПС определяется только скоростной составляющей с_{сковх} = 0,09 угл. с, так как статическая ошибка в данном режиме отсутствует ($\theta = 0$). Поэтому в режиме автосопровождения результирующая ошибка оказывается меньше и равна с_{Авт} = 0,29 угл. с. Расчетные значения результирующих среднеквадратических оши-

Расчетные значения результирующих среднеквадратических ошибок стабилизации в обоих режимах работы СПС удовлетворяют поставленным требованиям. Результаты обработки звездных спектрограмм, полученных в настоящее время при помощи станции «Астрон», так же как и оценка телеметрических параметров СПС показали, что погрешности стабилизации системы не превышают расчетных величин.

10 мая 1984 г.

0. Ն. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ա. Զ. ԶԱՔԱՐՏԱՆ, Գ. Գ. ԵՂԻԱՉԱՐՑԱՆ

«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱՅՈԻՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՑԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Նկարագրված են «Աստրոն» կայանի ուլտրամանուշակագույն աստղագիտակի գերճշգրիտ կայունացման համակարդի կինեմատիկան և կառուցվածջային առանձնահատկությունները։

Քննարկված են ուղիղ և օվսեԹային հետևող դործելակարգերում համակարդի դինամիկական Ճշգրտության և կայունության հարցերը։

O. N. GASPARIAN, A. Z. ZAKHARIAN, G. G. YEGIAZARIAN

"ASTRON" SPACE STATION TELESCOPE IM GE FINE STABILIZATION SYSTEM DYNAMICS ANALYSIS

Kinematic and structural features of the "Astron" space station ultraviolet telescope image stabilization system are considered. Results of performance and stability analysis for direct and offset operation modes are presented.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. В. А. Бесекерский, Динамический синтез систем автоматического регулирования. М., Наука, 1970.
- 2. О. Н. Гаспарян, Г. Г. Егиазарян, «Изв. АН АрмССР (серия техи. н.)», 32, 10 1980.
- 3. П. И: Дехтяренко, А. З. Захарян, Сб. «Преобразовательная и электроизмерительная техника», Киев, 78, 1975.

4. А. З. Захарян, «Автоматика», № 3. 26, 1978.

5. О. Н. Гаспарян, Г. Г. Егиазарян, «Изв. АН АрмССР (серня техн. н.)», 33, 38, 1979.

О. Н. ГАСПАРЯН, А. З. ЗАХАРЯН, В. А. ХАЧАТРЯН, А. С. КАЗАРЯН, Г. Г. ЕГИАЗАРЯН

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН»

Математическое моделирование на ЦВМ дало возможность провести на этапе эскизного проектирования достаточно полное исследование динамических и точностных характеристик автономной системы прецизионной стабилизации (СПС) положения изображения звезд, наблюдаемых с помощью станции «Астрон» в режимах автосопровождения и офсетного гидирования. При этом учитывались как основные структурные особенности СПС, в частности, взаимные связи в измерительной части, имеющие место при офсетном способе гидирования и приводящие к возмущающему воздействию на сепаратные (отдельныс) каналы СПС неуправляемого движения телескопа вокруг оптической оси, так и наиболее существенные нелинейности указанных сепаратных каналов.

В режиме автосопровождения СПС распадается на два изолированных идентичных канала, блок-схема математической модели которых показана на рис. 1. В процессе разработки был проведен подробный анализ факторов, играющих ту или иную роль в динамическом поведении СПС. Это позволило выделить доминирующие факторы и сделать ряд предположений и допущений, в значительной мере упрощающих, с сохранением основных динамических свойств, математическую модель сепаратных каналов, а также сокращающих машинное время, требуемое для моделирования.

 Блок-схема астродатчика (АД) на рис. 1 принята в виде последовательного соединения безынерционной нелинейности типа усилителя



Рис. 1. Блок-схема математической модели отдельного канала СПС

с зонами насыщения и нечувствительности, где величина зоны нечувствительности равна расчетному значению $\Delta_{Aa} = 0,1''$ ошибки АД, и динамического звена, описываемого линейным дифференциальным уравнением первого порядка.

Статическая характеристика усилителя мощности (УМ) также представлена нелинейным звеном с насыщением и зоной нечувствительности и - 0,16в, где величина последней равна приведенному ко входу УМ падению напряжения на щеточно-коллекторном переходе исполнительного двигателя ДПР-62.

С точки зрения динамической модели наиболее сложными элементами отдельных каналов СПС являются исполнительные двигатели и механические передачи (МП). Составление полной и строгой математической модели МП потребовало бы представления их в виде многомассовых систем с распределенными упругостями, зазорами и моментами трения, что, в свою очередь, привело бы к чрезмерной громоздкости модели СПС и резкому увеличению объема вычислений на ЦВМ. Поэтому в качестве модели МП отдельных каналов была принята двухмассовая система при следующих допущениях, позволяющих с достаточной для целей моделирования точностью учесть основные динамические особенности поведения МП в процессе работы СПС: 1) Момент инерции МП сосредоточен в одном элементе и приведен к валу двигателя. 2) Сухое трение ($M_{1p} = 60$ гсм) и трение покоя ($M_0 = 80$ гсм) приложены на валу двигателя. Кроме того, на этом же валу и на валу нагрузки имеются моменты вязкого трения, линейно зависящего от угловой скорости вращения. 3) Упругости и люфты имеют сосредото-ченный характер и приведены к выходному валу МП. 4) В момент входа МП в зацепление (из зоны люфта) считается, что происходит усреднения угловых скоростей нагрузки и вала двигателя, как при абсолютно жесткой МП (с учетом коэффициента потерь R=0,8), т. е. пренебрегаются все динамические явления, связанные с упругим ударом. 5) Влияние кинематических и циклических погрешностей реализации отдельных колес МП учитывается путем добавления к выходу МП гармонических составляющих вида $\delta F_{sh} \sin(c_h \varphi_2 + \psi_{sh})$ и $\delta F_h \sin(z_h c_h \varphi_2 + \psi_h)$, где амплитуды оF и оF соответственно равны регламентированным по ГОСТ допускам на точность изготозления отдельных колес и их зубьев; ф -угол поворота выхода идеальной МП (без люфта и упругости); с_и-коэффициенты пропорциональности, равные отношению угловых скоростей вращения k-х колес и выходного вала МП; z_kчисло зубьев k-х колес; ψак и ч — случайные начальные фазы (при моделировании последним придавались произвольные значения).

Блок-схема программы моделирования, соответствующая модели исполнительного двигателя с МП представлена на рис. 2, где φ_1, ω_1 угол поворота и угловая скорость вала двигателя; и—напряжение на входе двигателя; L и *г*—индуктивность и активное сопротивление цепи якоря; *l*—перелаточное число МП; $I_{\rm H}$ —момент инерции нагрузки; I_{∂} —момент инерции ротога двигателя с учетом пригеденного момента инерции МП; $\beta_2 = \beta = 1.25 \, 10^3$ гсм/с и $\beta_1 = 0$ —коэффициенты вязкого трения на валах нагрузки и двигателя; C_e и $C_{\rm M}$ —коэффициенты противоэдс и по моменту двигателя; M_{∂} и $M_{\rm ynp}$ —движущий и упругий моменты; φ_4 и ω_4 —угол поворота и угловая скорость нагрузки без учета кинематических и циклических погрешностей МП; $\Delta = 0.03^{"}$ величина люфта; $C=8 \cdot 10^9$ гсм—коэффициент жесткости МП; Δ_1 и Δ_2 малые величины, вводимые в программу для определения моментов времени прохождения угловой скорости ω_1 вала двигателя и угла скручивания выходного вала МП через нули.



Ряс. 2. Блок-схема программы моделирования исполнительного двигателя с МП

Левая часть блок-схемы на рис. 2 соответствует работе отдельного канала СПС при выбранном люфте (в зоне зацепления), а правая часть—в зоне люфта (в зоне раздельного движения нагрузки и вала двигателя). Условием перехода от зоны зацепления к зоне люфта является равенство нулю угла скручивания МП, т. е. отсутствие движущего момента на валу нагрузки со стороны исполнительного двигателя, а условием обратного перехода—равенство разности углов поворота нагрузки и выхода идеальной части МП половине величины люфта. Кроме того, в каждой из указанных зон при прохождении угловой скорости ω_1 через нуль анализируется условие превышения движущего момента, развиваемого исполнительным двигателем, момента трения покоя M_0

Динамика одного канала СПС в разных зонах описывается следующими дифференциальными уравнениями:

1. В зацеплении, при Мо Мо.

$$\dot{y}_{0} = -\frac{1}{T_{1}} y_{0} + \frac{k_{1}}{T_{1}} x_{2},$$

$$\dot{y}_{1} = -\frac{1}{T_{0}} y_{1} - \frac{k_{0}}{T_{0}^{2}} y_{0},$$

$$\dot{y}_{2} = -\frac{r}{L} y_{2} + \frac{1}{L} x_{3},$$

$$\dot{y}_{3} = -\frac{\beta}{I_{s}} y_{3} - \frac{C}{I_{s}} y_{4} + \frac{C}{I_{s}i} y_{5},$$

$$\dot{y}_{4} = y_{3}.$$

(1)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

2. В зацеплении, при Мо>Мо

$$y_{0} = -\frac{1}{T_{1}} y_{0} + \frac{k_{1}}{T_{1}} x_{2},$$

$$y_{1} = -\frac{1}{T_{0}} y_{1} - \frac{k_{0}}{T_{0}^{2}} y_{0},$$

$$y_{2} = -\frac{r}{L} y_{2} - \frac{C_{e}}{L} y_{0} + \frac{1}{L} x_{2},$$

$$y_{3} = -\frac{\beta}{I_{H}} y_{3} + \frac{C}{I_{H}} y_{5} - \frac{C}{I_{H}} y_{4},$$

$$y_{4} = y_{3},$$

$$y_{5} = y_{0},$$

$$y_{6} = \frac{C_{M}}{I_{0}} y_{2} - \frac{M_{10}}{I_{0}} \operatorname{sign} y_{0} - \frac{C}{I_{0}I^{2}} y_{5} + \frac{C}{I_{0}I} y_{4},$$

3. В зоне люфта, при М_∂≪М₀

$$\dot{y}_{0} = -\frac{1}{T_{1}} y_{0} + \frac{k_{1}}{T_{1}} x_{3},$$

$$\dot{y}_{1} = -\frac{1}{T_{0}} y_{1} - \frac{k_{0}}{T_{0}^{2}} y_{3},$$

$$\dot{y}_{3} = -\frac{r}{L} y_{3} + \frac{1}{L} x_{3},$$

$$\dot{y}_{4} = y_{3}.$$

4. В зоне люфта, при Мо>М.

$$y_{0} = -\frac{1}{T_{1}} y_{0} + \frac{k_{1}}{T_{1}} x_{1},$$

$$y_{1} = -\frac{1}{T_{0}} y_{1} - \frac{k_{0}}{T_{0}^{2}} y_{0},$$

$$y_{2} = -\frac{r}{L} y_{2} - \frac{C_{e}}{L} y_{0} + \frac{1}{L} x_{2},$$

$$y_{3} = -\frac{\beta}{I_{H}} y_{3},$$

$$y_{4} = y_{3},$$

$$y_{5} = y_{6},$$

$$y_{6} = \frac{C_{M}}{I_{\partial}} y_{2} - \frac{M_{TP}}{I_{\partial}} \operatorname{sign} y_{6},$$

(2)

(3)

(4)

27

В этих уравнениях: k_1 , T_1 -коэффициент передачи и постоянная времени АД; k_0 , T_0 -коэффициент передачи и постоянная времени цепи гибкой обратной связи по ускорению: $y_0 = x_3$ -выход АД; $y_1 = l_1$; $y_3 = \omega_4$; $y_4 = \varphi_4$; $y_5 = \varphi_1$; $y_6 = \omega_1$; y_1 -промежуточная переменная; x_2 и x_3 выходы блоков, характернзующих нелинейные сгатические характеристики АД и УМ.

Дифференциальные уравнения (1)—(4) дополняются следующими алгебраическими соотношениями

$$x_{1} = -\frac{1}{2}(\varphi_{4} + \Delta \varphi_{5}) - \varphi_{cn}^{96c},$$

$$x_{4} = x_{3} - x_{9},$$

$$x_{8} = y_{1} + \frac{k_{0}}{T_{0}}y_{0},$$

где φ_{cn}^{soc} абсолютный угол поворога станции "Астрон" в инерциальном пространстве; x_{g} сигнал на выходе гибкой обратной связи; $\Delta \varphi_{2}$ добавка, обусловленная кинематическими и циклическими погрешностями МП.

С целью анализа динамических характеристик СПС в режиме автосопровождения было проведено моделирование при скачкообразном возмущении — — 2". Результаты показаны на рис. 3 и свидетельствуют об удовлетворительном качестве отработки малых отклонений.

Одним из основных режимов работы СПС является режим навеления при больших начальных отклонениях. На рис. 4 показан процесс отработки системой отклонения $\varphi_{en}^{soc} = -200''$, соответствующего то ности ориентации космической станции. Относительно медленное про-



Рис. 3. Моделирование СПС в режиме автосопровождения при малых отклонениях



Рис. 4. Моделирование режима наведения СПС

текание процесса наведения (tper = 5,8 с) и большое перерегулирование ($\delta = 35''$) объясняются сильным демпфирующим влиянием гибкой обратной связи по ускорению.

На рис. 5 даны результаты моделирования СПС в режиме автосопровождения (результаты приведены для одной оси). Движение станции «Астрон» задавалось в виде квадратичной функции времени, на которую накладывалось гармоническое колебание с частотой f = 1.4 Гц и амплитудой $A = 0,1^{"}$, характеризующее упругие колебания солнечных панелей *





Период предельного цикла космической станции был принят рав ным T=43 с, причем при переходе от одного цикла к другому угловая скорость станции поддерживалась при моделировании постоянной в течение $\Delta T=0,05$ с (времени работы исполнительных двигателей). Отметим, что скорость в начале и конце принятого предельного цикла ($\varphi = 23,2''/c$) несколько превышала заданную ($\varphi = 18''/c$). Анализ кривой на рис. 5 показывает, что точность работы СПС в режиме автосопровождения удовлетворяет поставленным требованиям.

Было осуществлено также моделирование СПС в офсетном режиме для наихудщего случая максимально возможного угла θ = 26' между офсетной звездой и оптической осью телескопа (рис. 6). Предель-



ный цикл качки космической станции вокруг оптической оси телескопа при этом считался смещенным по времени относительно соответствующего цикла по поперечной оси У на 9 с. Как видно из рис. 6, установившаяся ошнока стабилизации СПС и в офсетном режиме не превышает заданной.

Таким образом, проведенный анализ результатов математического моделирования на ЦВМ показал, что спроектированная система прецизионной стабилизации телескопа космической станции «Астрон» в делом соответствует поставленным требованиям. Результаты моделирования впоследствии были подтверждены наземными и летными испытаниями СПС.

10 жая, 1984.

0. υ. ԳԱՍՊԱՐՑԱՆ, Ա. Չ. ՋԱՔԱՐՑԱՆ, Վ. Ա. ԽԱՉԱՑՐՑԱՆ, Ա. Ս. ՂԱՋԱՐՑԱՆ, Գ. Գ. ԵՂԻԱՋԱՐՑԱՆ

«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՑ ԿԱՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Նկարագրված է «Աստրոն» տիեղերական աստղադիտակի գերձշգրիտ կայունացման համակարգի մաթեմատիկական մոդելը ուղիղ և օվսեթային հետևող գործելակարգերում, հաշվի առնելով փոխադարձ կապը կանալների միջև և համակարգի հիմնական ոչգծայնությունները։

Բերված են համակարգի մոդելավորման արդյունջները՝ ստացված ԹՀՄ-ով։

O. N. GASPARIAN, A. Z. ZAKHARIAN, W. A. KHACHATRIAN, A. S. KAZARIAN, G. G. YEGIAZARIAN

DIGITAL SIMULATION OF THE ASTRON[®] SPACE STATION TELESCOPE FINE STABILISATION SYSTEM

The mathematical model of fine stabilisation system of the "Astron" space telescope in direct and offset operation modes is described. In evaluating the model the interconnections between three spatial subsystems and principal non-linearities are taken into account. The results of the computer based system dynamics simulation are given.

О. Н. ГАСПАРЯН

АНАЛИЗ АВТОКОЛЕБАНИЙ И ЧАСТОТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН»

Введение. На работу системы прецизионной стабилизации (СПС) положения изображения звезд в фокальной плоскости телескопа космической станции «Астрон» большое влияние может оказать нелинейность статических характеристик астродатчиков (АД), в частности ограниченность их линейной зоны. При неправильном выборе параметров отдельных качалов СПС указанные нелинейности могут привести к автоколебаниям (предельным циклам) и тем самым полностью нарушить работоспособность системы. Поэтому на стадии проектирования был осуществлен всесторонний анализ динамики СПС с учетом нелинейностей АД. Это позволило, во-первых, показать, что автоколебания в разработанной СПС отсутствуют и, во-вторых, более строго обосновать выбранную кинематическую схему установки и наведения офсетного АД. Следует отметить, что основное внимание в статье уделено вопросам анализа СПС в офсетном режиме. Это объясняется тем, что в режиме автосопровождения СПС распадается на два независимых канала, исследование возможных автоколебаний в которых может быть произведено классическими методами нелинейной теории регулирования [1].

В первой части статьи дается общее описание предложенного автором метода исследования одночастотных автоколебаний в нелинейных взаимосвязанных системах гидирования (ВСГ) астрономических гелескопов. Во второй части проведен сравнительный анализ динамики СПС станции «Астрон» при двух основных кинематических схемах установки офсетного АД. Третья часть посвящена вопросу оценки качества СПС при помощи введенного понятия показателя колебательности.

1. Анализ одночастотных автоколебаний в нелинейных ВСГ. Рассмотрим нелинейную ВСГ, матричная структурная схема которой представлена на рис. 1, где $W(p) = W_{im}(p) - n \times n$ матрица линейной части, а $F(x) = \{F_{im}(x_m)\} - n \times n$ матрица нечетно-симметричных нелинейностей. В одноосных ВСГ n = 2, а в трехосных -n = 3.

Допустим, при отсутствии входных воздействий в ВСГ устанавливается режим одночастотных симметричных автоколебаний с частотой Ω и, кроме того, выполняется свойство фильтра линейной части [1]. Тогда, осуществляя гармоническую линеаризацию нелинейностей, получим в первом приближении (без учета высших гармоник) следующее векторное уравнение ВСГ на рис. ¹.

$$[I + W(J\Omega)G(\bar{A})]\bar{x} = \bar{0}, \qquad (1)$$

где /-единичная матрица; G(А)-матрица, составленная из коэффи-



Рис. 1. Матричная структурная схема нелинейной ВСІ

циентов гармонической линеаризации нелинейностей $F_{lm}(x_m)$; A-вектор амплитуд колебаний переменных x_l в отдельных каналах.

Матрица $Q(i\Omega, \overline{A}) = W(i\Omega) G(\overline{A})$ является передаточной матрицей разомкнутой гармонически линеаризсванной ВСГ. В соответствии с известным в теории многосвязного регулирования методом характеристических передаточных функций (ХПФ) [2] её можно записать при помощи преобразования подобия и диадной формы записи в виде

 $Q(j\Omega, \overline{A}) = C(j\Omega, \overline{A}) \operatorname{diag} \{q_i(;\Omega, A)\} C^{-1}(j\Omega, \overline{A})$ (2)

И

$$Q(j\Omega, \overline{A}) = \sum_{i=1}^{\infty} \overline{C}_i(j\Omega, \overline{A}) > q_i(j\Omega, \overline{A}) < \overline{C}_i^+(j\Omega, \overline{A}),$$
(3)

где $C(I\Omega, \overline{A})$ — модальная мятрица, составленная из нормированных собственных векторов $\overline{C}_{l}(I\Omega, \overline{A})$ матрицы $Q(I\Omega, \overline{A}); \overline{C}_{l}^{+}(I\Omega, \overline{A})$ — векторы, двойственные к $\overline{C}_{l}(I\Omega, \overline{A}); q_{l}(I\Omega, \overline{A})$ — собственные значения (характеристические числа) матрицы $Q(I\Omega, \overline{A})$.

Функции $q_i(j\Omega, \overline{A})$ назовем характеристическими передаточными функциями, а базис, составленный из $\overline{C}_i(j\Omega, \overline{A})$ —канопическим базисом гармонически линеаризованной ВСГ. Нелинейные свойства линеаризованной ВСГ проявляются именно в зависимости ХПФ и осей канонического базиса от вектора амплитуд \overline{A} .

Диадная форма записи (3) допускает наглядную геометрическую интерпретацию. ХПФ q_l(jΩ, Ā) можно считать передаточными функциями некоторых разомкнутых одномерных «характернстических» систем. каждая из которых «действует» вдоль определенного направления (оси канонического базиса) в *п*-мерном пространстве векторов x. Подобная трактовка позволит, как будет видно ниже, выявить важные геометрические особенности поведения автоколебательных ВСГ.

Подстановка (2) в (1) дает

$$C(j\Omega, A) \operatorname{diag} \{1+q_i(j\Omega, \overline{A})\} C^{-1}(j\Omega, \overline{A}) \overline{x} = \overline{0}.$$
(4)

Периодическое синусондальное решение х уравнения (1) (или (4)) соответствует чисто мнимым корням характеристического уравнения

$$\det[I + Q(J\Omega, \overline{A})] = \prod_{l=1}^{n} [1 + q_l(J\Omega, \overline{A})] = 0.$$
(5)

Из (5) следует, что гармонически линеаризованная ВСГ будет иметь чисто мнимый корень только в том случае, если такой же корень име-

АНАЛИЗ АВТОКОЛЕБАНИИ

ет одна из замкнутых одномерных характеристических систем. Далее, для существования автоколебаний необходимо, чтобы остальные корни уравнения (5) находились в левой полуплоскости. С позиций метода ХПФ это означает, что остальные характеристические системы должны быть устойчивыми. Перепишем уравнение (1), с учетом диадного представления (3), в виде

$$\overline{x} = -Q(j\Omega, \overline{A})\overline{x} = -\left[\sum_{l=1}^{n} \overline{C}_{l}(j\Omega, \overline{A}) > q_{l}(j\Omega, \overline{A}) < \overline{C}_{l}^{+}(j\Omega, \overline{A})\right]\overline{x}.$$
 (6)

Отсюда вытекает, что вектор *х* может быть решением уравнения (1), если только он направлен по какой-либо одной, например *r*-й, оси канонического базиса, при дополнительном условии

$$q_r(j\Omega,\bar{A}) = -1, \tag{7}$$

являющемся записанным в частотной форме условием нахождения г-й характеристической системы на границе устойчивости.

Таким образом, в режиме установившихся автоколебаний в гармонически линеаризованной ВСГ «возбуждается» только одна из одномерных характеристических систем. Остальные характеристические системы при этом устойчивы, а вектор х направлен по той оси канонического базиса, которая соответствует возбуждаемой системе, т. е.

$$\overline{x} = \alpha \overline{C}_r(j\Omega, \overline{A}), \tag{8}$$

где а — комплексный скаляр, модуль котсрого равен $|a| = |\bar{x}| = |\bar{A}|$.

Условие (8) назовем условием коллинеарности векторов \bar{x} и $\bar{C}_r(i\Omega, \bar{A})$. Из него непосредственно вытекает коллинеарность вектора амплитуд \bar{A} и действительного вектора $\bar{m}_r(\Omega, \bar{A})$, составленного из модулей компонент вектора $\bar{C}_r(j\Omega, \bar{A})$, т. е.

$$\overline{A} = |\overline{A}|\overline{m}_{r}(\Omega, \overline{A}). \tag{9}$$

Из (8) также имеем, что сдвиги фаз колебаний в отдельных каналах равны аргументам компонент возбуждаемой оси канонического базиса $G_r(j\Omega, \overline{A})$. Условия (7), (8) (или (9)), дополненные условием устойчивости остальных характеристических систем, представляют собой необходимые условия существования одночастотных симметричных автоколебаний в нелинейной ВСГ на рис. 1.

При численном исследовании автоколебаний в ВСГ следует, с целью выявления всех возможных периодических режимов, последовательно проверить по указанным условиям каждую из двух (или трех) одномерных характеристических систем.

На основе полученных необходимых условий существования была разработана вычислительная процедура анализа автоколебаний на ЦВМ, а также методы анализа устойчивости автоколебаний, учета высших гармоник и ненулевых входных сигналов [2].

Суть численного метода исследования вкратце заключается в построении на комплексной плоскости, при каждом r, семейства характеристических годографов $q_r(j\Omega, \overline{A})$ при различных $|\overline{A}| = \text{const}$ и изменении частоты Ω , где векторы \overline{A} удовлетворяют условию коллинеарности (9) (рис. 2). Если вектор \overline{A}_+ и частота Ω_+ удовлетворяют условням (7)—(9), то годограф $q_r(j\Omega, \overline{A})$ при $\overline{A} = \overline{A}_+$ и $\Omega = \Omega_+$ проходит через точку—1, *ј*0. Для проверки устойчивости остальных характез—896 ристических систем нужно подставить найденный вектор \overline{A}_+ в передаточную матрицу $Q(j\Omega, \overline{A})$ и построить характеристические годографы $q_r(j\Omega, \overline{A}_+)$ последней при изменении частоты Ω . Тогда остальные характеристические системы будут устойчивыми в окрестности выявленного периодического режима с возбуждением *r*-й системы, если ни один из годографов $q_i^+(j\Omega, \overline{A}_+)$ $(i \neq r)$ не охватывает точку -1, j0



Рис. 2. Численное исследование автоколебаний

На практике очень важным классом является класс однотипных ВСГ (ОВСГ), в которых передаточные функции отдельных каналов одинаковы (обозначим их через W(p)), а взаимные связи описываются некоторой числовой матрицей R (эти связи обусловлены несовпадением осей чувствительности АД с осями гидирования телескопа [3]). Передаточная матрица $Q(j\Omega, \overline{A}) = W(J\Omega)N(\overline{A})$ при этом совпадает с точностью до скалярного множителя $W(j\Omega)$ с матрицей $N(\overline{A}) = RG(\overline{A})$. Отсюда вытекает, что канонический базисс гармоничсски линеаризованной ОВСГ совпадает с каноническим базисом матрицы $N(\overline{A})$ и не зависит от W(p), а ХПФ равны $q_i(J\Omega, \overline{A}) = \lambda_i(\overline{A}) W(j\Omega)$, где $\lambda_i(\overline{A})$ собственные значения матрицы $N(\overline{A})$. Последнее обстоятельство позволяет максимально приблизить методику исследования автоколебаний в ОВСГ к классической методике Гольдфарба [1]. Для этого представим условие (7) в форме

$$W(j\Omega) = -\frac{1}{\lambda_r(\bar{A})}.$$
 (10)

Согласно (10), для определения \overline{A} и Ω , при которых r-я характеристическая система находится на границе устойчивости, необходимо построить на комплексной плоскости годографа $W(I\Omega)$ параметрическую (с параметром $|\overline{A}|$) кривую— $1/\Lambda_r(\overline{A})$ для векторов \overline{A} , удовлетворяю

щих условию коллиневрности (9) (рис. 3). Тогда точка пересечения этой кривой с $W(\Lambda)$ дает искомые \overline{A}_+ и Ω_+ . Для проверки устойчивости остальных характеристических систем нужно отложить на той же плоскости критические точки $-1/\lambda_i(\overline{A}_+)$ ($i \neq r$) матрицы $N(\overline{A}_+)$ и проанализировать их расположение относительно годографа $W(\Lambda)$.



Рис. З. Исследование автоколебаний при одинаковых отдельных каналах

Еще одним важным классом ВСГ является класс циркулянтных и антициркулянтных ВСГ (ЦВСГ и АВСГ), описываемых циркулянтными и антициркулянтными передаточными матрицами [2]. Как будет видно далее, к этому классу относится СПС телескопа станции «Астрон». В ЦВСГ и АВСГ имеется внутренняя симметрия между отдельными каналами, что приводит к возможности существования автоколебательных режимов с одинаковыми амплитудами А1=А в отдельных каналах. При А: = А передаточные матрицы ЦВСГ и АВСГ представляются в виде линейных полиномов от ортогональной матрицы перестановок U и матрицы перестановок U_ с изменением знака последнего элемента [2]. Канонический базис ЦВСГ (АВСГ) при этом совпадает с ортогональным каноническим базисом матрицы $U(U_{-})$ и является постоянным. Можно показать, что модули компонент всех собственных векторов матриц U и U₋ одинаковы. Это значит, что при иссле-довании режима равных амплитуд в ЦВСГ и АВСГ необходимое условие коллинеарности (9) выполняется заведомо (что доказывает возможность существования такого режима), и вся задача сводится к определению частоты Ω и единственной амплитуды A, при которых некоторая г-я характеристическая система находится на границе устойчивости, а все остальные системы-устойчивы. При этом можно применять стандартные методы классической теории регулирования [1].

2. Анализ автоколебаний в СПС космической станции «Астрон» в офсетном режиме. На рис. 4 изображена развернутая структурная схема каналов гидирования СПС с выделенными статическими характеристиками АД в виде нелинейностей типа насыщения. На этой схеме одноканальный тракт передачи офсетного АД по модулированному сигналу приведен к эквивалентной двухканальной части по компонен-



Рис. 4. Структурная схема каналов гидирования СПС

там вектора отклонений. Пунктиром показаны взаимные связи, характеризуемые антисимметрической матрицей R с элементами $r_{11} = r_{32} = \cos \varepsilon$, $r_{13} = \sin \varepsilon$, $r_{31} = -\sin \varepsilon$. Структурная схема на рис. 4 описывает СПС в офсетном режиме при обеих основных кинематических схемах установки и наведения АД [3]. При плоскопараллельном способе наведения угол ε характеризует неточность выставки осей генератора опорных напряжений (ГОН) применяемого АД с полудисковой модуляцией светового потока и не превышает 1°—2°. При радиальном способе установки АД этот угол равен сумме той же погрешности выставки осей ГОНа и угла α , на который поворачивается вокруг оптической оси телескопа офсетный АД при его наведении на изображение опорной звезды (рис. 5). Во втором случае величина угла α определяется взаимным положением опорной и исследуемой звезд и угловоч ориентацией объекта-носителя (станции «Астрон»).

Поскольку матрица *R* относится к антициркулянтным и оба канала СПС—идентичны, то, очевидно, рассматриваемая СПС является однотипной циркулянтной, с диагональной матрицей нелинейностей. Условие (10) нахождения *г*-й характеристической системы на границе устойчивости при этом удобно записать в виде

$$\sqrt{W}(i\Omega) = -\frac{1}{q(A)},$$

(11)

где $\lambda_1 = e^{+/*}$ и $\lambda_2 = e^{-/*}$ —собственные значения матрицы R, а $q(A) = \frac{2}{\pi} \left(\arcsin \frac{b}{A} + \frac{b}{A} \right) / \frac{b^2}{1 - \frac{b^2}{A^2}} \right)$ —коэффициент гармонической линеаризации нелинейности типа насыщения [1] (здесь b = 1,5''—половина зоны линейности АД).

Анализ возможных автоколебаний в СПС по (11) проведем на плоскости логарифмических характеристик отдельных каналов. На рис. 6 показаны логарифмические амплитудно-частотная $L(\Omega)$ и фазо-частотная $\varphi(\Omega)$ характеристики (ЛАЧХ и ФЧХ) передаточной функции $W(J\Omega)$ и нанесена фазовая граница устойчивости (ФГУ), построенная для нелинейности типа насыщения по обычным правилам [1]. Как видно из рис. 6, пересечения ФЧХ и ФГУ отсутствуют, т. е. в отдельных каналах СПС (иными словами—в режиме автосопровождения) автоколебания отсутствуют.



Рис. 5. Наведение офсетного астродатчика на опорную звезду


Рассмотрим теперь динамику СПС в офсетном режиме. Согласно выражению (11), влияние взаимных связей на устойчивость СПС учитывается комплексными множителями — = Модуль которых равен единице, а аргументы — $\pm \varepsilon$. Следсвательно, изменение угла с на плоскости логарифмических характеристик отражается смещениями ФЧХ вдоль оси ординат на величины $\pm \varepsilon$. Очевидно, для первой ХПФ (= e⁺⁺) ФЧХ смещается на величину ε вверх и эти смещения не могут привести к пересечению ФЧХ и ФГУ. Что же касается второй ХПФ ($i_2 = e^{-h}$), то для нее ФЧХ смещается вниз, в направлении к ФГУ. Анализ кривых на рис. 6 показывает, что при изменении угла с от 0° до 50° пересечений не будет и автоколебания в СПС отсутствуют. При $\varepsilon = 50°$ происходит касание ФЧХ с ФГУ на частоте $\Omega = 1,5$ 1/с. Данный случай является бифуркационным и характеризует полуустойчивые автоколебания. При дальнейшем увеличении частотой) определяет, исходя из правила штриховки ФГУ [1], устойчивые автоколебания, а правая—неустойчивые. При $\varepsilon > 58°$ существует только одна точка пересечения, характеризующая устойчивые автоколебания. Напомним, что ввиду антициркулянтности СПС амплитуды автоколебаний в отдельных каналах будут одинаковыми.

Таким образом, нами показано, что автоколебания в СПС в офсетном режиме будут отсутствовать только при $\varepsilon < 50^\circ$. Это означает, что при «радиальной» установке АД область возможного расположения опорной звезды ограничена углом $\alpha < 50^\circ (\pm 1^\circ - 2^\circ)$ (заштрихованная зона на рис. 5). Если же опорная звезда лежит вне этой области, то в СПС возникают устойчивые автоколебания. При плоскопараллельном способе установки АД имеем $\varepsilon \approx 1^\circ - 2^\circ$ и автоколебания в СПС отсутствуют при любом положении опорной звезды. На основании данного вывода в СПС космической станции «Астрон» был принят плоскопараллельный способ установки и наведения АД в офсетном режиме.

3. Показатель колебательности СПС. В устойчивых нелинейных ВСГ, как и в любых других системах регулирования [1], за областью устойчивости положения равновесия в большинстве случаев лежит область автоколебаний, причем в режиме установившихся автоколебаний в ВСГ возбуждается только одна из характеристических систем, а вектор комплексных амплитуд х направлен по соответствующей осн канонического базиса гармонически линеаризованной ВСГ (см. раздел 1). Грубо говоря, это означает, что нелинейная ВСГ может перейтн из области равновесно сходящихся процессов в область автоколебаний только вдоль одной из осей канонического базиса. Следовательно, чем дальше будут находиться от автоколебательной границы устойчивости одномерные характеристические системы, тем большими запасами устойчивости и лучшим качеством переходных процессов будет обладать нелинейная ВСГ. Частотной оценкой запаса устойчивости характеристической системы может служить ее показатель колебательности М. [1, 2], определяемый как наибольшая относительная величина резонансного пика амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы по ошибке, т. е.

$$M_i = \sup_{g} \left| \frac{1}{1 + q_i(/\Omega, \bar{A})} \right|,$$
 (12)

где векторы А должны удовлетворять условию коллинеарности (9).

Для графического определения M_i отобразим уравнение (12) на комплексную плоскость семейства годографов $q_i(j2, \overline{A})$ построенных при «коллинеарных» \overline{A} . Возводя левую и правую части в (12) в квадрат, после несложных преобразований получим

$$[\operatorname{Re}\{q_{i}(j\Omega, \overline{A})\}+1]^{2}+[\operatorname{Im}\{q_{i}(j\Omega, \overline{A})\}]^{2}=\frac{1}{M_{i}^{2}}.$$
(13)

Геометрически это есть уравнение окружности с центром в точке -1, *j*0 и радиусом $r_i = 1/M_i$, т. е. постоянным значением $M_i = \text{const}$ соответствует на плоскости $\{q_i(j\Omega, \overline{A})\}$ семейство концентрических окружностей с центром в -1, *j*0. Отсида приходим к выводу, что показатель колебательности M_i равен обратной величине радиуса той окружности, которая касается огибающей семейства годографов $q_i(j\Omega, \overline{A})$, используемых при анализе автоколебаний в ВСГ. Нетрудно понять, что максимальный из показателей M_i (*i*=1, 2, (3)) является частотной мерой запаса устойчивости и, как следствие, показателем качества колебательных переходных процессов нелинейной ВСГ. В случае однотишных систем, подставив выражение для ХПФ ОВСГ в (13), это уравнение можно привести к виду

$$\left|\operatorname{Re}\{W(j\Omega)\}+\operatorname{Re}\left\{\frac{1}{\lambda_{l}(\overline{A})}\right\}\right|^{3}+\left|\operatorname{Im}\{W(j\Omega)\}+\operatorname{Im}\left\{\frac{1}{\lambda_{l}(\overline{A})}\right\}\right|^{3}=\frac{1}{\left(|\lambda_{l}(\overline{A})|M_{l}|\right)^{3}}.$$
(14)

На комплексной плоскости годографа $W(j\Omega)$ отдельных каналов ОВСГ это есть уравнение окружности с центром в точке $-1/\lambda_i(\overline{A})$ и радиусом $r_i = 1/|\lambda_i(\overline{A})| M_i$. Если построить окружности для всех «коллинеарных» \overline{A} при $M_i = \text{const}$, то их огибающая образует запретную зону для $W(j\Omega)$. Ясно, что величина показателя колебательности характеристической системы равна параметру M_i той запретной зоны, которая касается годографа $W(j\Omega)$, не пересекаясь с ним. Отметим, что для случая ЦВСГ и АВСГ в (13) и (14) нужно заменить векторы амплитуд \overline{A} на скалярную величину \overline{A} (так как амплитуды автоколебаний в отдельных каналах ЦВСГ и АВСГ одинаковы), что существенно упрощает расчеты.

Определим, основываясь на изложенной методике, показатель колебательности СПС космической станции «Астрон». Можно показать, что, ввиду диагональности матрицы нелинейностей и антициркулянтности СПС, запретные зоны постоянных значений M₁=const одномерных характеристических систем совпадают с обычными запретными зонами, используемыми в классической теории регулирования [1]. На рис. 6 пунктиром нанесена запретная зона для ФЧХ отдельного канала СПС (в режиме автосопровождения), построенная по известным правилам и соответствующая значению M=1,3. Поскольку при этом имеется касание ФЧХ и данной запретной зоны, то показатель колебательности СПС в режиме автосопровождения при учете насыщения АД равен 1,3. При работе СПС в офсетном режиме ФЧХ первой характеристической системы смещается вверх на угол e = 1°-2°, т. е. се показатель колебательности М₁ становится меньше. Что же касается ФЧХ второй характеристической системы, то она смещается вниз на те же один-два градуса, что приводит к неравенству М, М. Однако ввиду малости угла є увеличение значения M₂ не превышает единиц процентов. Таким образом, показатели колебательности нелинейной

СПС в режимах автосопровождения и офсетного гидирования при принятом плоскопараллельном способе установки и наведения АД практически совпадают.

10 мая 1984 г.

0. 1. จนบจนกรมป

«ԱՍՏՐՈՆ» ԿԱՅԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱՅՈՒՆԱ8ՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԻՆՔՆԱՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՈՐԱԿԻ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆԱՑԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԸ

Հետազոտված է «Աստրոն» տիեզերակայանի աստղադիտակի գերձշգրիտ կայունացման համակարգի դինամիկան հաշվի առնելով աստղատվիչների ստատիկ բնութագրերի ոչգծայնությունը։ Նկարագրված է կայունացման համակարգում ինջնատատանումների վերլուծության եղանակը, բերված են ինջնատատանումների հաշվարկի արդյունջները, որոշված է համակարգի տատանողականության ցուցանիշը։

O. N. GASPARIAN

ANALYSIS OF SELF-OSCILLATIONS AND FREQUENCY RESPONSE QUALITY INDICES OF THE "ASTRON" SPACE TELESCOPE IMAGE FINE STABILIZATION SYSTEM

The dynamics of the fine stabilization system of the "Astron" space station telescope is investigated taking into account the star trackers static non-linearity. The method of the analysis of the stabilisation system self-oscillations is described. The results of calculations of self-oscillations are presented and the oscillation index of the system is determined.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Попов, Прикладная теория процессов управления в нелинейных системях. М., Наука. 1973.

- О. Н. Гаспарян, Тезисы докладов республиканской научно-технической конферендии «Современные системы автоматического управления и их элементы», Ереван, с. 3, 1981.
- 3. О. Н. Гаспарян, Г. Г. Егиазарян, «Изв. АН АрмССР (серня техн. н.)», 38, 10, 1980.

Ш. М. АРУТЮНЯН, А. З. ЗАХАРЯН, Е. Б. БЕЛЫЙ, С. К. АКОПЯН, А. Л. КАШИН

УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АСТРОН»

Аппаратура управления предусмотрена для работы в следующих режимах: фокусировка, слежение по центральной звезде, слежение по скопа космической станции «Астрон», служит для стабилизации положения изображения исследуемой звезды в фокальной плоскости телескопа и состоит из узла вторичного зеркала (УВЗ), датчика положения центральной звезды (астродатчик АД1), датчика положения офсетной звезды (астродатчик АД2), камеры опознавания поля, блока управления (БУ).

В настоящей статье описывается система управления и контроля контура вторичного управления (КВУ) ультрафиолетового телескопа станции «Астрон».

Аппаратура управления предусмотрена для работы в следующих режимах: фокусировка, слежение по центральной звезде, слежение по офсетной звезде в режимах автоматической и командной подстройки чувствительности астродатчиков (АПЧ и КПЧ соответственно). При разработке аппаратуры был сделан упор на обеспечение идентичности алгоритмов управления системы стабилизации в режимах автосопровождения и офсетного гидирования. Но ввести полную идентичность в управлении аппаратурой невозможно, ввиду различия условий выполнения задач в каждом режиме. Это в полной мере относится к приборам и узлам аппаратуры, которые обладают совершенно разными оптико-электронными характеристиками, механической конструкцией и логикой управления. Согласно программе эксперимента аппаратура комплекса работает в двух режимах гидирования: центральном и офсетном. В случае спектрометрирования ярких звезд (до+8 т) стабилизация осуществляется сигналами астродатчика АД1, который использует часть света исследуемой звезды, т. е. система работает в режиме автосопровождения. В случае спектрометрирования слабых объектоз (звезд, галактик, туманностей и т. д. до +15^m) система работает в режиме офсетного гидирования. При этом стабилизация осуществляется астродатчиком АД2 по яркой опорной звезде, расположенной в периферийной части поля зрения телескопа.

Управление приборами и узлами аппаратуры, выбор необходимого режима и обеспечение требуемой логики работы осуществляет блок автоматики, входящий в блок управления, который установлен в герметичном отсеке КА. Общий вид блока управления представлен на рис. 1.

Блок автоматики представляет собой электронное, коммутационное и логическое устройство управления. Он предназначен для приема и преобразования внешних команд управления, формирования внутренних управляющих сигналов, а также выдачи в систему телеметрии аналоговых и сигнальных параметров.

На рис. 2 представлена функциональная схема блока автоматики. Питание блока автоматики и его составных частей осуществляется резервированным вторичным источником питания.

Внешние команды управления передаются с Земли по командной радиолинии на борт космического аппарата из центра управления дальней космической связи [1]. По способу кодирования они подразделяются на две группы:

 Функциональные команды, передающиеся в унитарном коде.
 Назначение команды определяется линией связи, по которой она поступает в аппаратуру;



Рис. І. Общий вид блока управления





42

УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ

2. Уставки или кодовые команды, передающиеся параллельным семиразрядным двоичным кодом.

Внешние команды управления представляют собой импульс напряжения бортовой сети.

Функциональные команды выполняют:

—выбор режима работы комплекса (включается КВУ или камера опознавания поля, включается центральное или офсетное слежение, включается режим возврата УВЗ в «нулевос» положение);

-выбор основного или резервного блока питания;

-управление положением фоновой диафрагмы;

-разрешают или запрещают прием кода уставок и т. д.

Ввиду ограниченного числа функциональных команд, часть из них выполняет дополнительные функции. Например, команда включения КВУ выбирает также регистр 1 уставки и включает блокировку выходов астродатчиков.

Семиразрядный код уставки принимается в первый или второй регистр уставок. Седьмой разряд кода уставки представляет собой маркерный импульс, при получении которого в выбранный заранее функциональной командой регистр переписывается пришедший одновременно с ним код уставки. Каждый разряд кода уставки (0 или 1) выбирает определенный режим работы комплекса или состояние его систем. Для первого регистра—выбор направления отработки фокуслровки, выбор основного или резервного коммутатора фаз, блоков системы слежения, выбор режима работы астродатчиков АПЧ или КІІЧ, выходов камеры опознавания поля. Для рторого регистра—выбор комплекта нагревателей и встроенных имитаторов звезд.

Для контроля положения узла вторичного зеркала, положения модулятора астродатчика АД2, работы системы слежения, отсчета значений параметров, подлежащих регулированию на борту и т. д. предусмотрен телеметрический отсчет параметров, которые поступают после обработки в информационно-вычислительном комплексе на магнитную ленту и телевизионные индикаторы (мониторы) [2].

Работа по управлению аппаратурой КВУ в полете осуществляется группой операторов, находящихся в центре управления полетом. В обязанности операторов входит расчет уставки для перемещения модулятора астродатчика АД2, расчет уставки привода фокусировки, расчет величины уставки КПЧ астродатчиков АД1, АД2, контроль нормального функционирования бортовой аппаратуры по данным телеметрии, запись телеметрических данных, представляющих оперативную ценность и т. д. В случае несоответствия какого-либо параметра расчетным или тарировочным характеристикам операторы могут оперативно вмешаться и откорректировать работу аппаратуры.

После выведения КА на орбиту искусственного спутника Земли производится проверка работоспособности отдельных приборов и всего комплекса в целом. Вначале проверяется работа механизма фокусировки узла вторичного зеркала. При наличии функциональной команды «Разрешение ввода уставки КВУ» на входной регистр 1 (рис. 2) поступает код уставки. В зависимости от наличия единицы в первом и втором разрядах кода уставки подготавливаются цепи на перемещение узла вторичного зеркала в направлении вначале «+Х», а затем «—Х» вдоль главной оптической оси телескопа. Последовательность импульсов с частотой 4 или 32 Гц поступает с объекта на преобразователь уровня 4 и далее, при наличии команды «Разрешение ввода уставки фокусировки», выбирается «адрес Х» и подается на основной или резервный комутатор фаз 7. Коммутатор фаз обеспечивает необходимую длительность управляющих импульсов и фазовый сдвиг между ними. Управляющие импульсы с выхода коммутатора фаз поступают на шаговый двигатель привода фокусировки (ПФ) узла вторичкого зеркала и обеспечивают перемещение вторичного зеркала вдоль оси «Х» с шагом равным 1 мкм. Режим фокусировки автоматически прекращается после отработки необходимого количества шагов перемещений, равных числу импульсов, поступающих в регистр и заложенных в коде уставки фокусировки.

Затем проверяется механизм перемещений оптической головки астродатчика АД2 в направлениях У и Z, для чего с объекта подается уставка представляющая собой последовательность импульсов определенного количества с частотой 4 или 32 Гц. Адрес и знак уставки, а также частота прохождения импульсов задаются соответствующей функциональной командой (прямой и обратный ход Ү и Z). Последовательность импульсов коммутирует прямую или реверсивную обмотку. двигателя механизма перемещений, осуществляя тем самым передвижение оптической головки астродатчика АД2 на необходимое количество шагов вперед или назад в зависимости от знака уставки. Шаг перемещений составляет 10 мкм (0,25 угл. с). Контроль выполнения режима перемещений осуществляется телеметрическими датчиками положений. Для обеспечения необходимой точности передачи информации предусмотрен нониусный метод преобразования и передачи телеметрической информации с грубого и точного датчиков положений, расположенных по осям У и Z астродатчика АД2. На каждые 200 шагов грубого датчика приходится один оборот точного датчика положения.

Штатная работа. Режим автосопровождения выполняется после ориентации и стабилизации объекта (оптической оси телескопа) на исследуемую звезду. При подаче на БЛК функциональной команды «Вкл. КВУ» включаются вторичные источники питания узлов, входящих в блок БУ (блоки следящих систем, блок автоматики, усилитель астродатчика АДІ), при этом блокируется выход астродатчика АД1, происходит обнуление счетчика АРУ (в режиме КПЧ). Команда «Центр.слежение» воспринимается БЛК, которая включаст режим автосопровождения. При этом включаются блоки следящих систем по осям У и Z, запитывается усилитель звездного датчика АД1, включается высоковольтное напряжение астродатчика АД1. При наличин в поле зрения датчика АДІ опорной звезды автоматически включается режим калибровки звездного датчика (как в режиме АПЧ, так и в режиме КПЧ). На время калибровки выход усилителя датчика АДІ отключен от входов системы слежения (режим блокировки). После окончания режима калибровки автоматически, в режиме АПЧ и через 2—3 с после захвата звезды, в режиме КПЧ, блокировка снимается, выходы усилителя датчика подключаются ко входам системы слежения, начинается режим стабилизации.

После окончания переходного процесса система переходит в режим стабилизации по опорной исследусмой звезде. После количественной оценки точности стабилизации, операторами выдаются заключения о возможности перехода к режиму спектрометрирования звезды. Контроль работы аппаратуры в процессе слежения по исследуемой звезде производится в течение всего времени работы как с помощью аналоговых, так и сигнальных параметров (сигналы ошибок по каналам Y и Z, уровень установки чувствительности астродатчика АД1,

44

высоковольтное напряжение датчика АД1, сигнал прохождения режима калибровки и т. д.).

При работе аппаратуры в офсетном режиме предварительно производится соответствующая ориентация и стабилизация объекта таким образом, чтобы оптическая ось телескопа была направлена на исследуемую звезду, а оптическая ось астродатчика АД2-на опорную звезду. После включения КВУ на БЛК выдается функциональная команда, разрешающая прием уставки, затем подается семиразрядный код уставки для перемещения модулятора астродатчика АД2 в соответствующую точку фокальной плоскости телескопа с учетом взаимного углового положения опорной звезды и исследуемого объекта. И только убедившись, по показаниям телеметрии, что модулятор астродатчяка находится в расчетной точке фокальной плоскости телескопа, выдается функциональная команда «Офсетное слежение». Команда воспринимается БЛК-включается режим слежения по офсетной звезде и отключается режим центрального слежения. При этом включаюгся блоки следящих систем, управляющие УВЗ по осям У и Z, запитывается усилитель астродатчика АД2, включается высоковольтное напряжение датчика АД2. При наличии в поле зрения датчика АД2 опорной звезды автоматически включается режим калибровки звездного датчика. На время калибровки выход усилителя датчика АД2 отключен от входов системы слежения. После окончания режима калибровки, блокировка выходов усилителя датчика АД2 снимается, выходы усилителя датчика подключаются ко входам системы слежения. После окончания переходного процесса системз переходит в режим стабилизации по опорной офсетной звезде с необходимой точностью (около 3 угл. с), при этом изображение исследуемого объекта попадает на соответствующую диафрагму спектрометра. Контроль работы произ-водится по соответствующим телеметрическим параметрам.

Одним из важных требований к системе управления является наличие возможности оперативного приведения в исходное состояние всей аппаратуры [3]. Необходимость этого требования исходит из желания предохранить аппаратуру в случае возникновения аварийных ситуаций, таких как потеря ориентации, нарушение стабилизации, выход системы на крайние упоры и т. д. Поэтому в конце каждого сеанса спектрометрирования выдается функциональная команда «Возврат» команда на приведение аппаратуры в исходное состояние. Команда воздействует на БЛҚ и запускает автоматическую логическую систему. По этой команде выключается действующий в данный момент режим слежения, снимается высокое напряжение с фотоэлектрических умножителей, приводится в строго определенное «нулевое» положение узел вторичного зеркала по осям Y и Z и отключается напряжение узлов и блоков аппаратуры. По завершению этих операций аппаратура приходит в исходное состояние и схема автоматически выключается.

С целью проверки отдельных приборов и контроля функционирования всей аппаратуры в целом в наземных условиях, отработки и снятия тарировочных характеристик была создана контрольно-проверочная аппаратура (рис. 3). В состав контрольно-проверочной аппаратуры входят: пульт автономных испытаний 1, предназначенный для имитации стыковки аппаратуры с КА по цепям управления, питания и контроля сигнальных (дискретных) телеметрических параметров; приставка вольтметров 2, для контроля аналоговых (непрерывных) телеметрических параметров; видеоконтрольное устройство 3. для контроля работы камеры опознавания поля.



Рис. 3. Контрольно-проверочная аппаратура

10 мая 1984 г.

Շ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՑԱՆ, Ա. Չ. ՉԱՔԱՐՅԱՆ, Ե. Բ. ԲԵԼԻ, Ս. Ք. ՀԱԿՈԲՏԱՆ, Ա. Լ. ԿԱՇԻՆ

«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՍՏՈՒԳՈՒՄԸ

Նկարագրվում է «Աստրոն» տիհզերական կայանի աստղադիտակի գերճըշգրիտ կայունացման համակարգի ավտոմատիկայի հանգույցի աշխատանջի սկզբունջը կենտրոնական և օֆսեթ հետևման գործելակարգերում։

Քննարկվում է աստղադիտակի ֆոկուսացման համակարգի աշխատանթի և աստղատվիչի տեղակայման մեխանիզմի սկզբունքը։ Բերվում է ավտոմատ հանգույցի ֆունկցիոնալ սխեմայի վերահսկիչ-ստուգիչ սարքավորման նըկարագրությունը։

УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ

SH. M. HARUTUNIAN, A. Z. ZAKHARIAN, E. B. BELLY, C, K. HAKOPIAN A. L. KASHIN

GUIDANCE AND CONTROL OF THE HIGH PRECISION STABILIZATION SYSTEM OF THE SPACE ULTRAVIOLET TELESCOPE "ASTRON"

The principle of the automatic operation of the high precission stabilization system in direct and offset operation modes of the "Astron" space station telescope is described. The logics of the telescope focusing system and of star sensor attitude control mechanism is discussed. The block diagram of the automatics and test and control functional schemes are described.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Крат, Л. М. Котляр, Стратосферная астрономия, Л., Наука, 1976.

А. В. Милицин, В. К. Самсонов, В. А. Ходак, И. И. Литвак, Отображение информации в центре управления космическими полетами, М., Радио и связь, 1982.
 Н. Ф. Романтеев, Е. В. Хрунов, Астрономическая навигация пилотируемых космических кораблей, М., Машиностроение, 1976.

Э. А. НАЛБАНДЯН, Д. ЮГЕНЕН, Э. Г. КАКОСЯН, Ю. М. СИМОНЯНЦ. С. К. МНАШАКАНЯН

КАМЕРА ОПОЗНАВАНИЯ ПОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА «АСТРОН»

Камера опознавания поля (КОП) предназначена для визуального наблюдения области звездного неба, на которую направлен ультрафиолетовый телескоп «Астрон», отождествления поля и получения данных для расчета уставок на довороты орбитальной станции.

Основные технические характеристики КОП:

-диаметр поля зрения 1°;

-пороговая чувствительность не хуже 7^т спектрального класса АО;

—угловое разрешение ≂2';

-точность определения светимости наблюдаемых звезд ±1^m (грубо) и ±0^m, 05 (точно).

Конструктивно камера состоит из оптической системы, фотоприемного узла, блока обработки и формирования видеосигнала (БОФ) и видеоконтрольного устройства (ВКУ). ВКУ размещается на наземном измерительном пункте, остальные блоки—на космическом аппарате. В камере имеются также имитаторы звезд для проверки работоспособности и нагреватели для защиты фотоприемной части от переохлаждения.

Объектив камеры—двухзеркальный, глланатический по схеме Ричи-Кретьена с диаметром Д_{вх}=119 мм и фокусом F=687 мм.

Рассчитанный на минимум сферической аберрации, он обеспечивает равномерное по полю качество изображения звезд. Днаметр изображения звезд в фокальной плоскости (на фотокатоде диссектора) не превышает 60 мкм.

Объектив снабжен крышкой многоразового действия, служащей для предохранения оптики от загрязнения и защиты фотоприемника от прямых засветок большой яркости при переориентациях космического аппарата.

Сигнал с выходного фотоприемного устройства усиливается и преобразуется в БОФ, который состоит из узлов преобразователя питания, синхрогенератора, генераторов отклоняющих токов, узлов формирования выходных сигналов и сигналов телеметрии. Приемником излучения служит диссектор, работающий в режиме

Приемником излучения служит диссектор, работающий в режиме счета фотонов. Диаметр фотокатода диссектора Дфи = 28 мм. С целью исключения влияния неравномерности чувствительности и уменьшения нелинейных искажений, вносимых отклоняющей системой, используется только центральная часть фотокатода, ограниченная квадратом 12×12 мм. В таком квадрате разброс чувствительности отдельных участков не превышает 2%.

Максимальное число элементов изображения по каждой из осей в квадрате 12×12 мм составляет

$$n = \frac{12}{0.35} \approx 34.$$

Требуемое число элементов разложения для реализации в 2 угл. мин составляет 30.

С точки зрения использования элементов цифровой техники наиболее приемлемым является выбор бинарного числа элементов разложения. В описываемой камере число элементов разложения по каждой оси выбрано равным n=32. Угловое разрешение при этом составляет 1'.875.

Частота смены кадров порядка 1 Гц, несколько больше чем необходимо на случай кратковременных быстрых возмущений космического аппарата. Однако наблюдение на телевизионном экране картины звездного неба с такой медленной частотой смены информации крайне неудобно. С этой целью в ВКУ введено запаминающее устройство, запись информации в которое осуществляется с низкой частотой поступления, а считывание с высокой частотой, соответствующей телевизионному стандарту, принятому в СССР (50 кадров/с). Таким образом, несмотря на низкую частоту поступления информации, каждый кадр считывается 50 раз и мелькания изображения на экране не наблюдается.

Сигнал с диссектора поступает на усилитель-ограничитель. Выходной сигнал усилителя-ограничителя представляет собой нормализованную по амплитуде последовательность импульсов, число которых в каждый момент пропорционально засветке соответствующего участка фотокатода.

Отклоняющие токи для развертки изображения по горизонтали и вертикали формируются в блоке БОФ и представляют собой ступенчато изменяющиеся токи. Форма отклоняющих токов и их временные параметры приведены на рис. 1а (горизонтальный отклоняющий ток) и рис. 1б (вертикальный отклоняющий ток).

Структурная схема блока БОФ приведена на рис. 2.

Рассмотрим работу блока. Сигнал с выхода усилителя-ограничителя через дифференциальный усилитель (ДУ) поступает на счетчик СЧ1, стробируемый синхронно с горизонтально отклоняющим током. В течение 976 мкс (длительность ступеньки горизонтального отклоняющего тока) счетчик считает число импульсов.



Рис. 1. а-форма горизонтального отклоняющего тока; б-форма вертикального отклоняющего тока

По окончании «ступеньки» счет прекращается, результат счета записывается в регистр, счетчик обнуляется и с началом следующей ступеньки» записывает импульсы со следующего участка фотокатода. Во время счета импульсов очередного участка из содержимого регистра формируется последовательное кодовое слово с тактовой частотой 16384 Гц, младшим разрядом вперед. Форма сигнала на выхоле блока БОФ показана на рис. 3.



Ряс. 2. Функциональная схема БОФ



Рис. 3. Структура выходного сигнала БОФ

Кадровый синхроимпульс (КСИ) формируется узлом ФКСИ послакаждого 1024 информационного слова и имеет отличительный принак—16 единиц. Информационные слова 16-разрядные, однако первый и шестнадцатый разряды в них имеют нулевой уровень и служат для разделения слов. Младший разряд информации в информационное слово не записывается и служит для передачи признака переполнения.

В блоке БОФ формируется также меандр с двойной тактовой частотой 32768 Гц для кодирующего устройства радиокомплекса.

Точность привязки разрядов информационного сигнала к передним фронтам двойной тактовой частоты не хуже 200 нс.

Принятый на Земле сигнал в сопровождении тактовой частоты

50

поступает на ВКУ, состоящее из блока приема, блока преобразования информации (БПИ) и блока индикации, конструктивно размещенных в одном корпусе. Структурная схема блока преобразования информацип приведена на рис. 4.







Рис. 5. КОП с открытой крышкой

Тактовые импульсы и информационный сигнал поступают на формирователи фронтов 1 и 3.

В селекторе кадровых синхроимпульсов 2 выделяются синхроимпульсы, используемые в узле управления приемом 5 для формирования импульсов сброса. Узел управления 5. узел управления записью/считыванием 10 и синхрогенератор 13 вырабатывают все необходимые для работы БПИ сигналы.

Информационный сигнал кажлой точки, стробированный тактовыми импульсами, последовательно заносится в 14-разрядный регистр приема 6. Записанный в регистре код, преобразуется в нормализаторе 8 по модулю 2,5 в соответствующую звездную величину и параллельно записывается трехразрядным кодом в память 12.

Адреса записи из счетчика адресов записи 9 и адреса считывания, вырабатываемые в синхрогенераторе 13, в зависимости от режима (запись/считывание) через мультиплексор 11 поступают на адресные входы памяти 12. Режим считывания является приоритетным. Запись осуществляется во время обратного хода строк. Записанный в памяти 3-разрядный код при считывании преобра-

Записанный в памяти 3-разрядный код при считывании преобразуется в дешифраторе-дискриминаторе 14 в сигнал, позволяющий получить на экране ВКУ восемь градаций яркости и поступает на смеситель 15. На смеситель поступает также синхросмесь из синхрогенератора 13. На выходе смесителя получается полный телевизионный сигнал, поступающий на блок индикации БИ.

Имитатор 4 позволяет получить на выходе БПИ видеосигнал градационного клина с 8 градациями яркости.

Устройство индикации 7 позволяет выбирать и отображать на индикаторной панели информацию о любой из 1024 точек в виде 14-разрядного двоичного кода.

Блок индикации БИ представляет собой незначительно доработанный портативный телевизор «Юность-Р-603».

ВКУ позволяет определить засвеченность любой из точек матрицы 32×32 элемента, а также гасить на экране точки с яркостью больше и/или меньше яркости рассматриваемой точки.



Рис. 6. КОП со сиятым кожухом



Рис. 7. Внешний вид ВКУ

Э. А. НАЛБАНДЯН, Д. ЮГЕНЕН, Э. Г. КАКОСЯН И ДР.

ВКУ позволяет также устанавливать нижний порог индикации по результатам сеанса калибровки.

Внешний вид КОП показан на рис. 5 и 6, а ВКУ на рис. 7.

10 мая 1984 г.

Бюраканская астрофизическая обсерватория АН АрмССР Женевская - астрономическая обсерватория, Швейцария

է. Ա. ՆԱԼԲԱՆԴՏԱՆ, Դ. ՀՑՈՒԳԵԿԵՆ. Է. Ղ. ԿԱԿՈՍՏԱՆ, SAN. U. UNUALBULS, U. 4. ULUBUAULBUL

«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ՏԵՍԱԴԱՇՏԻ ՃԱՆԱՉՄԱՆ ԽՑԻԿ

Բերված է «Աստրոն» արտամթնոլորտային ուլտրամանուշակագույն աստղադիտակի տեսադաշտի ճանալման խցիկի համառոտ նկարագրությունը։ երեկի զգայնություն՝ 7^m է A0 սպեկտրալ դասի աստղի դեպքում՝

Տեսադաշտը 1° է։ Անկյունային վերյուծման ուժը 2,

ացիկի ստուգիլ սարբը թույլ է տալիս որոշել դիտվող աստղի պայծառությունը 1 աստղային մեծության սխալով՝ կոպիտ կերպով և ավելի ճշգրիտ՝ մինչև 0,05 աստղային մեծության սխայով։

Խցիկում որպես ընդունիչ օգտագործված է ֆոտոնների համրման եղանակով աշխատող դիսեկտոր։

Խըիկը տեղադրվել է և փորձարկվել «Աստրոն» աստղադիտական արբանւակի վրա, որն արձակվել է 1983 թվականին։

> E. A. NALBANDIAN, D. HUGUENEN, E. G. KAKUSSIAN, YU. M. SIMONIANTS, S. K. MNATSAKANIAN

FIELD CAMERA OF THE "ASTRON" SPACE TELESCOPE

The field identification camera (FIC) of the space ultraviolet telescope "Astron" is briefly described. In FIC a dissector tube in photon counter operation mode is used as a detector. Visual display block of FIC provides rough $(\pm 1^m)$ and fine $(\pm 0^m 05)$ measurement of star visual magnitude. General performance data of the FIC are: sensitivity-7^m for stars of spectral class AO; field of view - 1°; angular resolution-about 2 arcmin.

FIC was successfully used onboard of astrophisical satellite _Astron* launched in March 1983.

Р. А. ВАРДАНЯН

МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫЕ В БЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

В Бюраканской астрофизической обсерватории около 30 лет проводятся электрополяриметрические и фотометрические наблюдения звезд и туманностей. При этом обычно использовался метод непосредственного отсчета [1—3].

Наблюдательная практика показала, что эффективность электрополяриметрических и фотометрических наблюдений разного рода космических объектов зависит от методов наблюдений. Так, наблюдателям хорошо известно, сколько времени уходит для учета фона ночного неба. С целью регистрации окружающего звезду фона ночного неба приходится каждый раз ставить звезду в центр диафрагмы фотометра и выводить из нее.

Для увеличения эффективности наблюдений нами были предложены новые методы электрополяриметрических и фотометрических наблюдений—комбинпрованный поляриметр, поляриметр с перекидной диафрагмой и фотометр с компенсацией фона ночного неба. В настоящей работе описываются принципы их работы и приведены примеры записей, полученных с их помощью.

1. Комбинированный поляриметр. Принцип работы комбинированного поляриметра заключается в следующем. Поляриметр имеет три рабочих состояния:

а) Поляриметр с перекидкой поляроида на 90°, то есть поляроид не вращается, а лишь принимает автоматически два положения: 0° и 90°. При этом начальное положение поляроида выбирается по известному позиционному углу поляризации наблюдаемой звезды так, чтобы получить максимальную разницу отсчетов поляризованного света в положения поляроида 0° и 90°.

б) Можно остановить перекидку поляроида и получить непрерывную запись поляризованного света в виде синусоиды при непрерывном вращении поляроида.

в) При непрерывном вращении поляроида можно одновременно произвести мгновенную перекидку поляроида на 90° с определенным интервалом времени, в результате чего получается модуляция поляризованного света.

Примеры записей указанных трех видов наблюдений с помощью этого поляриметра приведены на рис. 1 (участки записей *а*, *б*, *в*).

Различные рабочие режимы комбинированного поляриметра можно применять в зависимости от поставленной задачи.

Например, рабочий режим а можно использовать при наблюдении стандартных и стационарных звезд, позиционные углы поляризации которых со временем не меняются, режим б—когда блеск и степень поляризации света звезд меняется медленно (за время больше одного

р. А. ВАРДАНЯН

часа), а режны в-когда блеск звезды меняется сравнительно быстро (за несколько минут), а позиционный угол поляризации не изменяется за время одного цикла наблюдений (2-4 мин).

Из вышесказанного очевидны преимущества комбинированного поляриметра.



Рнс. 1. Записи, полученные с помощью комбинированного поляриметра

2. Поляриметр с перекидной диафрагмой. Поляризацию фона ночного неба можно очень просто учесть применяя перекидную диафрагму, принцип которой заключается в следующем: в фокусе телескопа устанавливаются две сменяющиеся диафрагмы—площадь одной из них больше другой в два раза. При непрерывном вращении поляроида свет по очереди проходит то через первую, то через вторую диафрагму. Смена диафрагм происходит мгновенно через определенные промежутки времени.

При поочередном прохождении потока от звезды и фока ночного неба одновременно через первую (маленькую) и вторую (большую) днафрагму непрерывно регистрируются

1) $I_{3863,48} + I_{\phi on}$ и 2) ($I_{3863,48} + I_{\phi on}$) + $I_{\phi on}$ (избыточный), где $I_{\phi on} = I_{\phi on}$ (избыточный).

Пример регистрации с помощью поляриметра с перекидной диафрагмой приведен на рис. 2.

Для определения отсчета Ізвезде от значения Ізвезде + Іфон вычитывается Іфон (избыточный). Предложенный метод имеет следующие преимущества:

1) удобен при проведении наблюдений, поскольку нет необходнмости каждый раз приводить звезду в центр диафрагмы и выводить из нее для регистрации фона ночного неба. Тем самым эффективность наблюдений значительно увеличивается;

2) поскольку отсчет фона непрерывно регистрируется с отсчетом звезды, то почти в реальном масштабе времени (из-за конечности времени между сменами диафрагм) учитываются как изменения фона, так и его параметры поляризации.



Рис. 2. Записи, полученные поляриметром с перекидной диафрагмой

В случае, если фон за время наблюдения меняется (особенно в лунные ночи) и если выигранное время использовать для увсличения времени интегрирования, то указанный метод позволяет увеличивать точность электрополяриметрических наблюдений. Недостатком данного метода является то, что фон отсчитывается от уровня сигнала Iseeaas + Iqou. Несмотря на это, однако, непосредственное определение поляризации света стандартных звезд за одинаковое время наблюдений во время лунных ночей показало, что ошибки поляриметрических измерений уменьшаются около 1.5 раза.

Необходимо принять во внимание то, что этот метод может быть применен только для измерения поляризации света изолированных звезд, то есть когда рядом с наблюдаемой звездой нет другой звезды, которая попадала бы внутрь диафрагмы с большим размером.

3. Фотометр с компенсацией фона ночного неба. Для еще более удобного проведения электрополяриметрических наблюдений и учета фона в реальном масштабе времени нами был создан фотометр с автоматической компенсацией фона ночного неба. Для этой цели в фокусе телескопа параллельно друг к другу устанавливаются две одинакозые четырехлепестковые днафрагмы (рис. 3). Днафрагмы вращаются в противоположных направлениях (с относительной угловой скоростью 1:3) в результате чего фон неба вокруг звезды модулируется.

При этом вращении диафрагм в противоположных направлениях с относительной скоростью 1:3 вместе с модуляцией фона происходит и ее сканирование. Частоту модуляции можно менять плавно от 0 до 120 Гц. изменяя скорости вращения днафрагм.



Рис. З. Лепестковая днафрагма для модуляции излучения фона неба

Обычный способ фотометрирования космических объектов не дает возможности в реальном масштабе времени учитывать быстро меняющийся фон ночного неба. Более или менее точный учет фона затрудняется, если объект расположен в области, где на него проектируется диффузная туманность, когда приходится производить целый ряд измерений фона ночного неба в окрестности объекта.

В предложенном нами способе фотометрирования с автоматической компенсацией фона ночного неба с реальном масштабе времени вышеуказанные недостатки устраняются.

Поставленная цель достигается тем, что принимаемый световой поток лучей, состоящий из потока от фона и потока, исходящего от исследуемого объекта (звезды), с помощью двух быстровращающихся лепестковых диафрагм делится на постоянную и искусственно созданную переменную части. При этом переменная часть содержит информацию о световом излучении ночного неба, а постоянная часть—сумму информаций о световом излучении ночного неба и об исследуемом объекте.

Указанный способ нами реализован по схеме, данной на рис. 4. Фотометрическое исследование объекта проводится следующим образом. Для наглядности, предположим, что объект находится в центре постоянной части диафрагмы (рис. 4). Световой поток, проходящий через диафрагму, попадает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). При этом световой поток состоит из трех слагаемых: излучения объекта, излучения фона ночного неба, проходящего через постоянную часть диафрагмы (фон K), и излучения фона ночного неба, проходящего через перемсиную часть диафрагмы (фон П). На выходе фотоэлек-



Рис. 4. Общая блок-схема фотометра с компенсацией фона ночного неба

тронного умножителя получается напряжение, содержащее постоянную и переменную части. Затем переменное напряжение отделяется от постоянного. После этого усилителем постоянного тока (УПТ) усиливается постоянная часть напряжения. Переменная часть напряжения (фон ночного неба) после ее выпрямления и фильтрации усиливается и после обращения ее знака складывается с основным постоянным сигналом (I зв+I ф), что приводит к автоматической компенсации фона. Так что на регистраторе записывается только сигнал, обусловленный звездой. При этом необходимо с достаточной точностью подбирать коэффициенты усиления усилителей постоянного и переменного токов и отношения площадей переменной и постоянной частей диафрагмы. Регулировки коэффициентов усиления достаточно произвести один раз, приступая к наблюдениям.

Испытания фотометра показали, что при изменении фона ночного неба в лунную ночь в 15—20 раз, компенсация фона проводится с точностью от 1 до 2% отсчета фона.

Для проведения поляриметрических наблюдений света звезд с компенсацией фона в оптической системе фотометра устанавливается поляроид.

В заключение выражаю свою благодарность сотрудникам механической лаборатории Бюраканской астрофизической обсерватории А. Аствацатуряну, А. Варданяну, С. Карапетяну и К. Чернышову за оказанную помощь в деле изготовления фотометров.

20 шоня 1984 г.

Р. А. ВАРДАНЯН

Ռ. Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

էլԵԿՏՐԱԲԵՎԵՌԱՉԱՓԱԿԱՆ ԵՎ ԼՈՒՍԱՉԱՓԱԿԱՆ ԴԻՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ՝ ՄՇԱԿՎԱԾ ԲՑՈՒՐԱԿԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱՐԱՆՈՒՄ

Աշխատանքում բերվում է էլեկտրաբևեռաչափական և լուսաչափական Երեք նոր մեթոդների նկարագրությունը։

Բերվում է նաև երկնքի ֆոնի Ճառագայթումը կոմպեսացնող էլեկտրալուսաչափի բլոկ-սխեման։

R A. VARDANIAN

ELECTROPOLARIMETRIC AND PHOTOMETRIC OBSERVATIONAL METHODS, WORKED OUT AT THE BYURAKAN OBSERVATORY

The discription of three new methods of electropolarimetric and photometric observations is given. The block-scheme of a photometre with sky light compensation is presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Домбровский, АЖ, 30, 603, 1953.

2. W. Hiltner, Ap. I., 109, 471, 1950.

3 К. А. Григорян. Сообщ. Бюраканской обс., 27, 55, 1959.

М. Ш. КАРАПЕТЯН, Р. А. САРКИСЯН

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ НА ЭВМ

В решении многих проблем в современной астрофизике особую роль играет развитие методов наблюдений. Поэтому чрезвычайно важно, с одной стороны, повысить количество наблюдательной информации, полученной крупными телескопами, и с другой-проводить быструю и массовую обработку данных.

В Бюраканской астрофизической обсерватория (БАО), где успешно работают крупные оптические телескопы, накапливается огромное количество наблюдательной информации. Использование современных математических методов в сочетании с применением ЭВМ позволяет, во-первых, проводить массовую фотометрическую, колориметрическую, поляриметрическую и спектрофотометрическую обработку данных и, кроме того, может улучшить чувствительность приемной системы и разрешающую способность изображений исследуемых объектов [1-3].

В настоящей работе описывается программа для массовой обработки спектров астрономических объектов на ЭВМ, при которой получается абсолютное распределение энергии по длинам волн. По этой программе были обработаны спектры углеродных звезд, полученных на 2,6 м. телескопе БАО в фокусе Несмита с дифракционным спектрографом (дисперсия 136 А/мм) в спектральном диапазоне 1. 4000--7000 Å.

Для абсолютной спектрофотометрии были получены калибровочные снимки и спектры звезд сравнения (значения абсолютной интенсивности по длинам воли известны по каталогу [4]). На рис. 1 показана функциональная схема, реализующая цифро-

вую обработку спектров.



Рис. 1. Структурная схема цифровой обработки спектров в БАО

Дискретизация (считывание негативов) спектров проводилась на системе PDS (блок 1). Размер диафрагмы 25×100 мкм. Сканирующая лиафрагма непрерывно сдвигалась по спектру. При этом было получено для спектров звезды и эталона (спектр сравнения) 1000 значений плотности почернения. Эти отсчеты передавались через ЭВМ PDP-8 (блок 2) к ЭВМ СМ-4 (блок 3), где записывались на магнитную ленту (блок 6). После обработки спектрорегистрограммы выводильсь через самописец (блок 7).

Цифровая обработка спектров осуществлена по комплексу программ, блок-схема которого приведена на рис. 2. Программы написаны на языке ФОРТРАН-4.



Рис. 2. Блок-схема алгоритмов, осуществляющих автоматическую обработку спектров

По программе DENS получаются плотности почернения объекта, эталона и калибровочного снимка (блок 1). Подпрограмма AREG строит зависимость между плотностями почернения и интенсивностями, т. е. характеристическую кривую (блок 2). По программе INTENt с помощью характеристической кривой от значений плотностей почернения переходим к интенсивности (блок 3). Подпрограмма NXX строит дисперсионную кривую (зависимость между длинами волн и номерами отсчетов известных линий) (блок-4). Программа INTENS позволяет выразить интенсивности каждого отсчета через интенсивности спектра в длине волны $i_0 = 5556$ Å. Тогда истинное распределение энергии в наблюдаемом спектре звезды в относительных единицах определяется из соотношения:

$$\lg J_{\lambda}/J_{\lambda_{a}} = \lg J_{\lambda}(z)/J_{\lambda_{a}}(z) - M(z) \lg P_{\lambda}/P_{\lambda_{a}} + \lg \delta_{\lambda_{a}}$$

где J_{λ} и $J_{\lambda}(z)$ — монохроматические интенсивности вне атмосферы и на наблюдаемом зенитном расстоянии соответственно, M(z) — воздушная масса на данном зенитном расстоянии; P_{λ} — коэффициент прозрачности атмосферы, среднее значение которого для атмосферы Бюракана известно [5, 6]; $\lg \delta_{\lambda}$ — редукционная кривая, т. е. разность логарифмов истинной и наблодаемой интен ивности звезды сравнения ($\lg \delta_{\chi} =$ $= \lg J_{\lambda}^{-r}/J_{\lambda_{\mu}}^{cr} - [\lg J_{\lambda}(z)/J_{\lambda}(z) - M^{cr}(z) \lg P_{\lambda}^{cr}/P_{\lambda}]$. где все величины с индексом ст огносятся к сгандаргной ззезде, в нашем случае — 24 UM).

Результаты обработки по программе GRAPH1 выводятся через самописец (блок 6).

На рис. З приведено наблюдаемое распределение энергии исследусмой звезды после обработки (спектрограммы получены 5-го февраля в 1982 г.). Из сравнения рис. З с рисунками, полученными авторами [7, 8], следует, что в основном они совпадают, только в нашем случае распределение энергии имеет более детальную структуру, что связано с большой дисперсией спектра и малым размером диафрагмы сканирования. Поэтому полученные нами результаты более точно представляют наблюдаемое распределение энергии в спектре данной звезды.

Таким образом, вышеприведенная система автоматической обработки спектров обеспечивает большую точность при массовой обработке спектров.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ НА ЭВМ



Рис. З. Наблюдаемое распределение энергии в спектре звезды

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Р. Х. Оганисяну и С. Е. Нерсисяну, за любезно предоставленные в наше распоряжение спектры углеродных звезд и обсуждение результатов.

30 мая 1984 г.

Մ. Շ. ԿԱՐԱՊԵՏՑԱՆ, Ռ. Հ. ՍԱՐԳՍՑԱՆ

ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԷՀՄ-ՈՎ

Ստեղծված է հետազոտվող օբյեկտների սպեկտրների ավտոմատ նվային մշակման ծրագիր, որը հնարավորունյուն է տալիս որոշել էներգիայի բացարձակ բաշխվածունյունը ըստ ալիքի երկարունյան։ Ծրագիրը գրված է ֆորտրան—4 լեզվով։ Սպեկտրների մշակումը իրականացվել են նկ. 1-ում բերված կառուցվածքային սխեմայով։

M. SH. KARAPETIAN, R. A. SARKISSIAN

AUTOMATIC DATA PROCESSING OF THE SPECTRA

The automatic data processing of the spectra of studied objects are evaluated. The method permit to obtain the absolute energy distribution. The Fortran-4 language is used. The structural schem of the program is shown in Fig. 1.

ЛИТЕРАТУРА

- 1: J. W. Brault, O. R. White, Astron. and Astrophys, 13. 169, 1971.
- 2. H. Arp, J Lorre, Astrophys. J. 210, 58, 1976.
- 3. Р. А. Саркисян, Л. А. Татевосян, ДАН АрыССР, 69. 222, 1979.
- 4. А. А. Харитонов, В. М. Терещенко, Л. И. Князева, Сводный спектрофотометрический каталог звезд, Алма-Ата, 1978.
- 5. Л. В. Мирзоян, Сообщ. Бюраканской обс., 7, 3, 1951.
- 6. М. А. Аракелян, Сообщ. Бюраканской обс., 21, 3, 1957.
- 7. В. И. Бурнашев, Изв. Кр.АО, 60, 32, 1979.
- 8. T. D. Fay, W. H. Warren, H. R. Johnson, R. K. Honeykutt, Astron. J., 79, 634 1974.

А. Н. ФРАДКИН

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ ИНДУЦИРОВАННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ИЗЛУЧЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Широко известны космические мазеры в радиодиапазоне. К настоящему времени обнаружено и исследовано большое количество таких источников индуцированного излучения на разных длинах воли радиодиапазона. Однако в других диапазонах спектра аналогичные источники пока не сбнаружены, хотя имеются основания ожидать наличие индуцированного излучения в различных участках спектра ряда космических объектов.

Так в [1] предполагается возможность заметного индуцированного излучения в оптическом диапазоне в атмосферах горячих звезд с ультрафиолетовым избытком, вблизи рентгеновских источников, а также при перетекании газа в тесных двойных системах. В [2] показана возможность объяснения солнечных и галактических дискретных γ -линий ядерных переходов и линий радиационного захвата нейтрона протоном механизмом индуцированного усиления. В [3] показано, что в звездах типа Ве, характеризующихся ультрафиолетовым избытком, может происходить не только усиление спонтанного излучения, но и генерация индуцированного излучения (лазер с некогерентной обратной связью). В качестве примера приведены расчеты для эмиссионных линий нейтрального кислорода ОІ с длинами волн 7774 и 8446 Å, на которых в лабораторных условиях была получена генерация индуцированного излучения.

В [1, 3] предлагается метод обнаружения индуцированного излучения измерением ширины эмиссионной спектральной линии посредством анализа функции корреляции интенсивности. Аппаратурой, опиганной в [1], можно определять ширины линий до 10⁻⁵ Å. Обнаружение таких узких линий было бы доказательством индуцированного характера, так как только такое излучение может иметь столь высокую степень монохроматичности. Методика, предложенная в [1, 3] применима, однако, лишь в том случае, когла все регистрируемое излучение носит «лазерный характер». Если же индуцированное излучение вхолит в состав спонтанного излучения космического объекта как небольшая часть, то статистическая картина регистрации квантов изменится и обнаружение «космического лазера» с помощью этой методики становится практически невозможным.

Другой метод обнаружения индуцированной составляющей в составе равновесного теплового излучения заключается в анализе реакции фотоэлектронного умножителя на приходящее излучение. Согласно [4] интервал времени $\Delta \tau$ между двумя квантами в пакете индуцированного излучения составляет примерно 10^{-18} с. Продолжительность же импульса ФЭУ, работающего в режиме счета фотонов, порядка $10^{-6} \div 10^{-9}$ с. Поэтому быстродействие фотоумножителей не позволяет разделить кванты индуцированного излучения. Тем не менее, индуцированное излучение может быть выявлено путем изучения амплитудного распределения фотоотклика фотоумножителя в режиме счета фотонов.

Это показано в приведенных ниже расчетах. Действительно, рассмотрим реакцию фотонного счетчика на приход *l*-кратного пакета фотонов. Для вероятности *г* появления *k*-кратного пакета электронов при регистрации на частоте у равновесного излучения с температурой *T* в [4] получено следующее выражение:

$$r_{k} = \frac{1-q}{\varkappa,q} \left(\frac{\varkappa,q}{1-q+\varkappa,q} \right)^{k}, \tag{1}$$

где x_{v} — квантовая эффективность фотокатода на частоте v, $q = \exp\left(-\frac{hv}{kT}\right)$.

В (1) суммирование начинается с $l = \kappa$. Это означает, что количество фотоэлектронов не может быть больше количества приходящих фотонов, то есть темновые фотоэлектроны не принимаются в рассмотрение, так как вероятность фотоэмиссии темнового электрона за время длительности пакета квантов индущированного излучения крайне мала.

Результаты численного расчета вероятности r_k для значений q = 0.3; 0,4; 0,5 (что соответствует для длины волны 0,5 мкм значениям T = 24000, 30000, 40000°K) и для $x_r = 0.1$. представлены в таблице, из которой видно, что вероятность появления k—кратного пакета электронов резко уменьшается с увеличением k и становится практически ненаблюдаемой величиной уже при значениях k = 4 + 5.

Таблица

19	0.3	6,4	0,5
1	1,134×10 ⁻¹	1,469×10 ⁻¹	$1,890\times10^{-1}$ 2.466×10 ⁻³ 3.216×10 ⁻³ 4,195×10 ⁻⁴ 5,467×10 ⁻⁵
2	5,398×10 ⁻³	9,155×10 ⁻³	
3	2,218×10 ⁻⁴	5,722×10 ⁻⁴	
4	9,117×10 ⁻⁶	3,576×10 ⁻⁵	
5	3,747×10 ⁻⁷	2,235×10 ⁻⁶	

Как отмечалось выше, длительность импульса фотоэлектронного умножителя значительно превосходит интервал времени между отдельными фотонами в пакете. Вследствие этого k-кратный пакет фотоэлектронов с фотокатода на выходе ФЭУ представляется одним импульсом с амплитудой, несколько большей, чем амплитуда одноэлектронного импульса.

Рассмотрим, какова будет амплитуда этого импульса. Известно [5, 6], что распределение одноэлектронных импульсов по амплитуде на выходе фотоэлектронного умножителя подчиняется закону Пуассона [7]:

$$P_{1}(N) = \frac{\overline{N}^{N}}{N!} \exp(-\overline{N}), \qquad (2)$$

где $P_1(N)$ — вероятность получения на выходе ФЭУ импульса с амплитудой N от одного фотоэлектрона; \overline{N} средняя амплитуда одноэлектронных импульсов, то есть коэффициент вторичной эмиссии умножительной системы.

5-896

Так как эмиттирование фотокатодом фотоэлектрона и умножение фотоэлектронов в динодной системе—события независимые, то вероятность получить на выходе ФЭУ импульс с амплитудой N при всевозможных значениях K будет равна:

$$P(N) = \sum_{k=1}^{\infty} r_k P_k(N), \qquad (3)$$

где $P_k(N)$ —вероятность получения на выходе ФЭУ импульса с амплитудой N от k-кратного пакета фотоэлектронов.

Рассмотрим, чему равно $P_k(N)$. Предполагая линейность отклика ФЭУ на приходящее излучение, то есть пренебрегая насыщением ФЭУ, значение $P_k(N)$ будем искать в виде выражения, справедливого для любого m:

$$P_{k}(N) = \sum_{n=0}^{\infty} P_{m}(n) P_{k-m}(N-n).$$
(4)

Здесь $P_m(n)$ —вероятность того, что m фотоэлектронов дадут импульс с амплитудой n, а $P_{k-m}(N-n)$ —вероятность того, что оставшиеся (k-m) фотоэлектронов дадут импульс с амплитудой N-n.

Используя выражение (4) для случая m = 1 методом математической индукции, можно получить для случая k первичных фотоэлектронов:

$$P_{k}(N) = \frac{(k\overline{N})^{N}}{mN!m} e^{-k\overline{N}}.$$
(5)

Тогда искомая вероятность (3) будет иметь вид:

$$P(N) = \frac{1-q}{x_{*}q} \frac{1}{N!} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{x_{*}q}{1-q+x_{*}q} \right)^{k} (k\overline{N})^{N} e^{-k\overline{N}}.$$
(6)

Учитывая результаты расчета по формуле (1) (таблица), суммирование в формуле (6) достаточно проводить до k=4, пренебрегая вкладом многоэлектронной составляющей с k>4.

Результаты численного расчета по формуле (6) представлены на рисунке. Здесь на оси абсцисс отложена амплитуда импульса на выходе ФЭУ, а на оси ординат—вероятность появления импульса данной амплитуды. Расчеты проводились для длины волны—0,5 мкм, температуры 24000, 30000 и 40000°К, что соответствует q=0,3, 0,4, 0,5. Квантовая эффективность фотокатода—0,1, коэффициент вторичной эмиссии ФЭУ—15.

На этом же рисунке для сравнения приводится кривая, рассчитанная для одноэлектронных импульсов (q=0). Сравнение этих кривых показывает, что изучая распределение отклика ФЭУ на приходящее от некоторого источника излучение, можно обнаружить наличие в нем индуцированной составляющей.

Так как форма распределения фотоотклика ФЭУ зависит от параметра q, то появляется возможность оценить температуру источника. Кроме того, изучение распределения фотооткликов ФЭУ по амплитудам дает возможность обнаружить в источнике возможные отклонения от термодинамического равновесня, проявляющиеся в инверсин заселенностей уровней. Эта инверсия может быть обнаружена по форме амплитудного распределения отклика ФЭУ на излучение источника в эмиссионной линии. Такими линиями, на которых можно исследовать отклонения от термодинамического равновесия, могут быть эмиссион-



Зависимость вероятности P(N) от амплитуды N для длины волны 0,5 мкм и температур 24000, 30000, 40000°К при ж, =0,1

ные линии углерода, азота и кислорода (например $\lambda = 4650, 4100, 3760$ и 3480 Å) наблюдаемые, например, в звездах WR и Be [8].

Представляют интерес с этой точки зрения и эмиссионные линии дважды ионизированного азота ($\lambda = 4097$, 4103 Å), наблюдаемые в планетарных и диффузных туманностях. Следует отметить, что на всех вышеприведенных линиях в лабораторных условиях была получена генерация индуцированного излучения. [9].

Таким образом, применив этот метод можно обнаружить наличие индуцированного излучения в спектрах космических объектов. Исследование этого индуцированного излучения может дать ценные сведения о физических условиях в них.

15 июля 1984 г.

Ա. Ն. ՏՐԱԴԿԻՆ

ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ՕԲՑԵԿՏՆԵՐԻ ՃԱՌԱԳԱՅ**Բ**ՄԱՆ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ԲԱՂԱԴՐԻՉԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Աշխատանքում առաջարկվում է դիտման և արդյունքի հետագա մշակման մի եղանակ, որը հնարավորություն կտա հայտնաբերել մակածված ճառագայթման առկայությունը տիեղերական մարմիններից եկող լույսի մեջ։

А. Н. ФРАДКИН

A. N. FRADKIN

ON THE DETECTION OF THE INDUCED COMPONENT IN THE RADIATION OF THE SELESTIAL OBJECTS

A method of observation and further analyses of data is suggested. It may permit the detection of induced radiation from selectial objects.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. В. Ф. Шварцман, Сообщения САО, 19, 5, 1976.
- 2. Л. А. Ривлин, Квантовая электроннка, 7, 1074, 1980.
- 3. Н. Н. Лавринович, В. С. Летохов, ЖЭТФ, 67, 1609, 1974.
- 4. Я. Оясте, Новая техника в астрономии, 5, 117, 1975.
- 5. С. С. Ветохин, И. Р. Гулаков, А. Н. Перцев, И. В. Резников, Одноэлектронные приемники, М. Атомиздат, 1979.
- 6. Н. А. Соболева, А. Е. Меламид, Фотоэлектровные приборы, М., Высшая школа, 1974.
- 7. А. Н. Перцев, А. Н. Писаревский, Одноэлектронные характеристики ФЭУ и их применение, М., Наука, 1980.
- 8. К. У. Аллен, Астрофизические величны, М., Мир. 1977.
- 9. Справочнык по лазерам, т. 1, М., Советское радно, 1978.

А. С. МЕЛКОНЯН

о точности электрофотометрических наблюдении

Введение. Точность электрофотометрических измерений зависит от множества факторов, некоторые из которых невозможно контролировать. Такими факторами являются, например, атмосферные условия, температура окружающей среды (для нетермостатированной ФЭУ), свечение ночного неба. Поэтому, наблюдательные данные, касающиеся одной звезды и полученные за весь наблюдательный сезон, являются неравноточными. Следовательно, при правильном подходе к вопросу необходимо полученные данные обрабатывать методами статистической обработки неравноточного ряда [5]. Но в этом случае возникает необходимость определения точности каждого отдельного наблюдения. В общем случае вопрос о точности электрофотометрических измерений можно сформулировать так: какова ошибка одного измерения в зависимости от яркости звезды и фонз, от соответствующих времен интегрирования и каковы ошибки, вносимые атмосферой и аппаратурой.

Ошибки электрофотометрических измерений определяются в первую очередь квантовыми флуктуациями. Поэтому мы сначала выведем общую формулу для этого, чисто статистического шума и потом, с помощью результатов специально поставленных наблюдений, оценим величину ошибки, вносимую аппаратурой и атмосферой.

Вывод формулы. Приведем вывод формулы среднеквадратичной ошибки яркости звезды (в звездных величинах), определенной по данным одного измерения вида: (звезда+фон)—фон. Имея в виду, что распределение импульсов на выходе ФЭУ пуассоновское, для односекундных измерений напишем:

$$\sigma_0^2 = (n_0^* + n_0^{\phi}) + n_0^{\phi} = n_0 + 2n_0^{\phi}, \qquad (1)$$

где σ_0^2 —дисперсия числа импульсов, n_0^* —математическое ожидание числа импульсов, регистрируемых только от звезды за одну секунду, и n_0^* —аналогичная величина для фона. Допустим, что импульсы от звезды мы накапливаем в течение τ^* секунд, а от фона— τ^{Φ} секунд. В процессе обработки полученные после накопления отсчеты $n^{*+\Phi}$ (отсчет измерения звезда+фон) и n^{Φ} делятся соответственно на τ^* и дают выборочные средние $n_0^{*+\Phi}$ и n_0^{Φ} . Соответствующие им выборочные дисперсии будут:

n

$$\sigma_{\tau+\phi}^{2} = \frac{\overline{n}_{0}^{*+\phi}}{\tau^{*}}, \quad \sigma_{\phi}^{2} = \frac{\overline{n}_{0}^{\phi}}{\tau^{\phi}}.$$
 (2)

Полезный сигнал равен разности

$$+\Phi - \overline{n}^{\Phi}_{0}$$
 (3)

н, следовательно, для его дисперсии имеем:

$$a^{2} = \frac{\overline{n_{0}^{*+\phi}}}{\tau^{*}} + \frac{\overline{n_{0}^{\phi}}}{\tau^{\phi}} = \frac{\overline{n_{0}^{\phi}}}{\tau^{*}} + \frac{\overline{n_{0}^{\phi}}}{\tau^{*}} + \frac{\overline{n_{0}^{\phi}}}{\tau^{\phi}}.$$
 (4)

Для относительной ошнбки полезного сигнала получим:

$$\hat{\sigma}_{\bullet} = \frac{\sigma_{\bullet}}{\overline{n}_{\bullet}^{\bullet}} = \sqrt{\frac{1 + \frac{\overline{n}_{\bullet}}{\overline{n}_{\bullet}} \left(1 + \frac{\tau^{*}}{\tau^{\Phi}}\right)}{\frac{\overline{n}_{\bullet}}{\overline{n}_{\bullet}^{\bullet} \tau^{*}}}}.$$
(5)

Известно [2], что среднеквадратичное отклонение звездной величины звезды выражается формулой:

$$\sigma_m = 1.086 \frac{\sigma_*}{n_0}.$$
 (6)

Подставляя (5) в (6) получим:

$$\sigma_m = 1.086 \sqrt{\frac{1 + \frac{\overline{n}_0^{\phi}}{\overline{n}_0} \left(1 + \frac{\tau^*}{\tau_f}\right)}{\frac{\overline{n}_0^* \tau^*}{\overline{n}_0^* \tau^*}}}.$$
 (7)

Используя формулу (7), мы можем найти зависимость от т при различных значениях параметров по то п то. Темновой ток для нашей аппаратуры за год изменяется от I до 600 импульсов в секунду. Если иметь в виду, что фотоэлектрические наблюдения возможны и в полнолуние, очевидно, что пределы изменения no за один наблюдательный сезон будут весьма широкие (от нескольких десятков до нескольких тысяч). Кроме этого, в зависимости от условий наблюдений, в течение одного сезона для одной и той же звезды могут быть выбраны различные времена интегрирования. По этим причинам точность определения звездной величины одной и той же звезды изменяется в течение одного наблюдательного сезона. В качестве примера на рис. 1 приведены две пары кривых зависимости от т. Одна пара (нижняя) при л^ф == 8, т^{*} == 60 с, т^ф == 60 и 15 с и другая — при л^ф == 512, т[•]=60 с, т^ф= 60 и 15 с. Как видно из рисунка, различие между крайними кривыми так велико, что эти данные, хоть и полученные за один наблюдательный сезон и касающиеся одной и той же звезды, нельзя считать равноточными.

Для практического использования формулы (7) необходимо оценить ошибки, вносимые в результаты измерений аппаратурой и атмосферой. Эти оценки можно получить только из наблюдений.

Наблюдения. Наблюдения проводились на телескопе АЗТ—14А Бюраканской обсерватории, на котором установлен одноканальный электрофотометр с ФЭУ-79, работающий в режиме счета фотонов. Использовались пять фильтров — u, b, v, r, H, где u, b и v это джонсоновские полосы, H—интерференционный H_«фильтр с полушириной 12 A, а r—широкий H_«-фильтр с полушириной 270 A. Угловой диаметр использованной диафрагмы поля был 27". Основная часть наблюдений проводилась в фильтрах u, r и H_«. Наблюдательная информация записывалась на перфоленту и обрабатывалась на ЭВМ «Наири»-2.

* Эта формула выведена также в работе [1], о чем мы узнали после околчания настоящей работы.



Рис. 1. Сплошные лянии поклазавают зависимость та от *m* при n_0^{Φ} =512 имп/с, τ^* = =60 с, τ^{Φ} =60 с (нижияя) и τ^{Φ} =15 с (верхияя): пунктирные линии — при n_0^{Φ} =8 имп/с τ^* =60 с, τ^{Φ} =60 и 15 с

Порядок наблюдений был таков: одна и та же звезда при определенных значениях параметров, входящих в формулу (7), наблюдалась вблизи меридиана подряд несколько раз (один цикл). По определенным из этих наблюдений видимым величинам определялась σ_H наблюденная среднеквадратичная ошибка одного измерения. По тем же значениям параметров с помощью формулы (7) вычислялась σ_B вычисленная ожидаемая ошибка. С целью обеспечения однородности данных мы стремились к тому, чтобы продолжительность одного цикла не превышала 20 мин, поэтому число измерений в одном цикле было от 6 до 18 в зависимости от яркости наблюдаемой звезды. Во время обработки, если были сомнения по поводу постоянства экстинкции, σ вычислялась по разности двух последовательных оценок видимой величины звезды. Почти всегда значения σ , определенные таким образом, не отличались от значений σ_H .

Анализ полученных данных. По полученным данным построена диаграмма $\sigma_n - \sigma_e$, которая приведена на рис. 2. Регрессионный анализ зависимости σ_n от τ_a дает:

$$\sigma_{\mu} = \beta \cdot \sigma_{\mu} + \alpha = 0.948\sigma_{\mu} + 0.006. \tag{8}$$





Как видно из формулы (8), коэффициент регрессии β между величинами σ_H и σ_B близок к единице ($\beta = 0.948 \pm 0.054$). Это свидетельствует о том, что наблюдаемые ошибки хорошо описываются формулой (7) и что ошибки, вносимые мерцанием и аппаратурой, сравнительно невелики. Тот факт, что значение $\beta = 1$ лежит в пределах доверительного интервала для β указывает на случайность отклонения значения β от единицы.

Таким образом, ошибки наших измерений, если только яркость звезд не слишком велика, в основном определяются квантовыми флуктуациями. Это можно было ожидать, так как, согласно [3, 4], при наблюдениях с большим телескопом на малых зенитных расстояниях и с большим временем интегрирования (у нас от 20 до 99 с) все эффекты мерцания, в том числе и хроматические, незначительны. Заключение. Настоящая работа показывает, что ошибку одного

Заключение. Настоящая работа показывает, что ошибку одного электрофотометрического измерения можно оценить по данным одного наблюдения яркости звезды, если предварительно выполнить специальные наблюдения, позволяющие определить значения а и β для местной фотометрической системы. Автор выражает искреннюю признательность В. С. Осканяну за детальное обсуждение настоящей работы и сделанные им замечания.

30 июля 1984 г.

U. U. UDLANUSUL

ԷԼԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱՉԱՓԱԿԱՆ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Առաջարկված է մի հղանակ, որը Թույլ է տալիս մեկ չափումից որոշել աստղի էլեկտրայուսաչափական մեկ դիտման սխալը։

A. S. MELKONIAN

ON THE ACCURRACY OF THE ELECTROPHOTOMETRIC OBSERVATIONS

A method, permitting to determine the error of an electrophotometric observation of a star from a single measurement, is presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ю. Теребиж, Труды ГАИШ, 53 188, 1983,

2. В. Б. Никонов, В кн.: Курс астрофизики и звездной астрономии, отв. ред. акад. А. А. Михайлов, т. 1, изд. 3-е, М., Наука, с. 134, 1973.

3. Л. Н. Жукова, Изв. Главной астрон. обс., 162, 12, 1958.

4. W. M. Protheroe, Contr. Perkins Obs., Delaware, Ohio Ne 11-4, 1955.

5. Т. А. Агекян, Основы теории ошибок для астрономов и физиков, М., Наука, 1968.
24844445 002 4580563055565 44445074 АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

РЕПРЕИНИТ ПОВАТИРАТИТЕ ТОВАТОРИИ СООБЩЕНИЯ БЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ФСИЧ LVI ВЫПУСК

- СИСТЕМА НАВЕДЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ТЕ-ЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «АСТРОН» А. А. Боярчук, Ю. М. Ходжаянц, Г. М. Товмасян, М. Н. Крмоян, Л. В. Границкий, Э. А. Арутюнян, А. З. Захарян, О. Н. Гаспарян, А. Л. Кашин, Э. А. Налбандян.
- ЗВЕЗДНЫЕ ДАТЧИКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТО-ВОГО ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН» С. А. Арутюнян, Р. О. Векилян, К. Г. Григорян, А. З. Захарян, М. Н. Крмоян. А. Р. Тагианосян.
- АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН» О. Н. Гаспарян, А. З. Захарян, Г. Г. Егиазарян.
- МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАНЦИИ «АСТРОН» О. Н. Гаспарян, А. З. Захарян, В. А. Хачатрян, А. С. Казарян, Г. Г. Егиазарян.
- АНАЛИЗ АВТОКОЛЕБАНИЙ И ЧАСТОТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕЛЕСКОПА СТАН-ЦИИ «АСТРОН» О. Н. Гаспарян.
- УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ СТАБИЛИЗА-ЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОЙ СТАН-ЦИИ «АСТРОН» Ш. М. Арутюнян, А. З. Захарян, Е. Б. Белыа. С. К. Аколян, А. Л. Кашин.
- КАМЕРА ОПОЗНАВАНИЯ ПОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА «АСТ-РОН» Э. А. Налбандян, Д. Югенен, Э. Г. Какосян, Ю. М. Симонянц, С. К. Мнацаканян.
- МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ЕЮРАКАНСКОЙ ОБСЕРВА-ТОРИИ. Р. А. Варданян.
- АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ НА ЭВМ. М. Ш. Карапетян, Р. А. Саркисян.
- ОБ ОБНАРУЖЕНИИ ИНДУЦИРОВАННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ИЗЛУ-ЧЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ А. Н. Фрадкин
- О ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ А. С. Мелконян.

BURNERS ALTA RATE

24

31

41

48

55

61

64

69

5

11

18

ዞበዺԱՆԴԱԿበՒԹՑՈՒՆ

5

11

18

31

41

48

u.	. Pajurini, Sat. V. Ingujulig, 2. V. Padduajul, V. L. Prinjul, I. 4. 9.	- 10
	spgip, t. U. Zuraipjaisjus, U. g. gufurius, C. b. 9mumurjus, U. l. 4mg	16,
	է. Ա. Նաթանդյան-«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵՉԵՐԱՆԱՎԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՑՆ Ա	IS-
	ՂԱԳԻՏԱԿԻ ԿՈՂԾՆՈՐՈՇԾԱՆ ԵՎ ԿԱՑՈՒՆԱՑԾԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԸ	

- Ս. Ա. Հարությունյան, Ռ. Հ. Վեքելյան, Կ. Գ. Գրիգույան, Ա. Զ. Զաքարյան, Մ. Ն. Գրմոյան, Ա. Ռ. Բաղիանոսյան—«ԱՍՏՐՈՆ» ԿԱՅԱՆԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԿՈՒՑՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԴԻ ԱՍՏՂԱՅԻՆ ՏՎԻՉՆԵՐԸ
- 0. Ն. Գատատույան, Ա. Չ. Ջաքարյան, Գ. Գ. Եղիազարյան «ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵՋԵՐԱԿԱՆ ԿԱՏԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱՏՈՒՆԱԾՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԻՆԱՄԻ– ԿԱՏԻ ՎԵՐՂՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ
- 0. Ն. Գասպարյան, Ա. Ձ. Ջաքարյան, Վ. Ա. Խաչատրյան, Ա. Ս. Ղազարյան, Գ. Գ. Խղիազարյան—«ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵՋԵՐԱԿԱՆ ԿԱՑԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱ– ՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ . . . 24
- Չ. Ն. Դասպաբյան—«ԱՍՏՐՈՆ» ԿԱՑԱՆԻ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱՑՈՒՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԻՆՔՆԱՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՈՐԱԿԻ ՀԱՃԱԽԱ– ԿԱՆԱՑԻՆ ՅՈՒՅԱՆԻՇՆԵՐԸ
- Շ. Մ. Հարությունյան, Ա. Զ. Զաքարյան, Ե. Բ. Բելի, Ս. Ք. Հակորյան, Ա. Լ. Կաջին «ԱՍՏՐՈՆ» ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ԳԵՐՃՇԳՐԻՏ ԿԱՅՈՒՆԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՍՏՈՒԳՈՒՄԸ .
- է. Ա. Նալթանդյան, Դ. Հյուգենեն, է. Ղ. կակոսյան, Յու Մ. Օիմոնյանց, Ս. Կ. Մնացականյան—«ԱՍՑՐՈՆ» ՏԻԵՋԵՐԱԿԱՆ ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿԻ ՏԵՍԱԴԱՇՏԻ ՃԱՆԱՉՄԱՆ ԽՅԻԿ
- Մ. Շ. Կառապետյան, Ռ. Հ. Սարգոյան—ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՀՄ-ՈՎ
- Ա. Ն. Տոադկին....ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ ՕԲՑԵԿՏՆԵՐԻ ՃԱՌԱԳԱՑԹՄԱՆ ՄԱԿԱՑՎԱԾ ԲԱՂԱԴՐԻՉԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ 64
- Ա. Ս. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ--ԷԼԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱՉԱՓԱԿԱՆ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ . 69

CONTENTS

A. A. Boyarchuk, Yu. M. Khodzhayanst, H. M. Toumassian, M. N. Krmoyan,	
L. V. Granitskij, E. A. Harutyunian, A. Z. Zakharian, O. N. Gasparian,	
A. L. Kashin, E. A. Nalbandian - The orientation and stabilization sys-	
tem of the "Astron" spaceship ultraviolet telescope · · · · ·	5
S. A. Harutyunian, R. H. Vekillan, K. G. Grigorian, A. Z. Zakharian, M. N.	
Krmoyan, A. R. Tagianossian-The star sensors of the "Astron" ultra-	
violet telescope stabilization system • • • • • • • • • • •	11
O. N. Gasparlan, A. Z. Zakharian. G. G. Yeglazarlan-, Astron' space station	
telescope image fine stabilization system dynamic analysis · · · ·	18
O. N. Gasparian, A. Z. Zakharian, W. A. Khachatrian, A. S. Kazarian, G. G.	
Yegiazarian-Digital simulation of the Astron space station telescope	
fine stabilization system • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	24
O. N. Gasparian-Analysis of self-oscillations and frequensy response quality	
indices of the "Astron" space telescope image fine stabilization system .	31
Sh. M. Harutyunian, A. Z. Zakharian, E. B. Belly, C. K. Hakopian, A. L. Ka-	
shin,Guidance and control of the high precision stabilization system of	
the space ultraviolet telescope "Astron, · · · · · · · ·	41
E. A. Nalbandian, D. Huguenen, E. G. Kakossian, Yu. M. Simonian, S. K.	
MnalsakanianField camera of the .Astron" space telescope · · ·	48
R. A. Vardanian. Electropolarimetric and photometric observational methods,	
worked out at the Byurakan observatory • • • • • • • •	55
M. Sh. Karapetlan, R. A. SarkissianAutomatic data processing of the spectra	61
A. N. Fradkin-On the detection of the induced component in the radiation	
of the selestiel objects · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	64
A. S. Melkonian-On the accurracy of the electrophotometric observations .	69

УДК 520.3/.8; 520.2.

Система наведения и стабилизации ультрафиолетового телескопа космической станции «Астрон». Боярчук А. А., Ходжаянц Ю. М., Товмасян Г. М., Крмоян М. Н., Границкий Л. В., Арутюнян Э. А., Захарян А. З., Гаспарян О. Н., Кашин А. Л., Налбандян Э. А. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI, стр. 5-10.

Дано краткое описание системы наведения и стабилизации космического телескопа в направлении наблюдаемого объекта в режиме автосопровождения и офсегного гидирования.

Рисунков 2. библнография 1.

УДК 681. 782. 473.

Звездные датчики системы стабилизации ультрафиолетового телескопа станции «Астрон». Арутюнян С. А., Векилян Р. О., Григорян К. Г., Захарян А. З., Крмоян М. Н. Тагианосян А. Р. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI. стр. 11-17.

Рассматриваются звездные датчики системы стабилизации ультрафиолетового телескопа космической станции «Астрон» в двух режимах стабилизации. Приводятся некоторые конструктивные особенности датчиков. Представлены результаты анализа телеметрической информации, полученной во время эксплуатации. Описываются оптические и функциональные схемы.

Рисунков 7, библиография 2.

УДК 629. 78.

Акализ динамики системы прецизионной стабилизации телескопа станции «Астрон». Гаспарян О. Н., Захарян А. З., Егиазарян Г. Г. «Сообщения Бюраканской обсерваторин», 1985 г., вып. LVI, стр. 18-23.

Рассматриваются кинематические и структурные особенности системы прецизнонной стабилизации положения изображения наблюдаемых объектов в ультрафиолетовом телескопе станции «Астрон». Произведен анализ динамической точности и устойчнвости системы в режимах автосопровождения и офсетного гидирования.

Рисунков 4, библиографий 5.

УДК 629. 78.

Математическое моделирование системы прецизионной стабилизации телескопа станции «Астрон». Гаспарян О. Н., Захарян А. З., Хачатрян В. А., Казарян А. С., Егиазарян Г. Г. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI, стр. 24-30.

Описывается математическая модель системы прецизионной стабилизации телескопа космической станции «Астрон» в режимах автосопровождения и офсетного гидирования с учетом взаимных связей между каналами и основных нелинейностей.

Приведены результаты моделярования системы на ЦВМ. Рисунков 6.

УДК 629.78.

Анализ автоколебаний и частотные показатели качества системы прецизионной стабилизации телескопа станции «Астрон». Гаспарян О. Н. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., LVI, стр. 31—40.

Проведено исследование динамики системы прецизновной стабилизации положения изображения звезд в фокальной плоскости телескопа станции «Астрон» с учеточ нелинейности статических характеристик астродатчиков. Дается описание методики анализа автоколебаний в системе стабилизации, приводятся результаты расчета автоколебаний, определен показатель колебательности системы.

Рисунков 6, библнографий 3.

УДК 629.78.

Управление и контроль системы прецизионной стабилизации ульграфиолетового телескопа космической станции «Астрон». Арутюнян Ш. М., Захарян А. З., Белый Е. Б., Аколян С. К., Кашин А. Л. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI, стр. 41—47.

Описывается принцип работы блока автоматики системы прецизионной стабилизации телескопа космической станции «Астрон» в режимах центрального и офсетного гидирования. Рассматривается логика работы системы фокусировки и механизма уставок. Приводятся описания функциональной схемы блока автоматики и контрольно-проверочной аппаратуры.

Рисунков З, библиографий З.

УДК. 681.772.7:529.785

Камера опознавания поля космического телескопа «Астрон». Налбандян Э. А., Югенен Д., Какосян Э. Г., Симонянц Ю. М., Мнацаканян С. К. «Сообщения Бюраканской обсерваторни», 1985 г., вып. LVI, стр. 48—54.

В статье приводится краткое описание камеры опознавания поля (КОП) внеатмосферного ультрафиолетового телескопа.

Чувствительность камеры—7 звездвая величина спектрального класса АО. Угол обзора—1°. Угловое разрешение≈2′.

Видеоконтрольное устройство камеры позволяет определять блеск наблюдаемых звезд грубо с точностью±1 звездная величина, а также точно с погрешностью, не превышающей±0,05 звездной величины.

В камере в качестве фотоприемника использован диссектор, работающий в режиме счета фотонов.

Камера КОП установлена и прошла испытания на астрофизическом спутнике «Астрои», запущенном в марте 1983 г.

Рисунков 7.

УДК 520. 25: 529. 7

Методы электрополяриметрических и фотометрических наблюдений, разработанные в Бюраканской обсерватории. Варданян Р. А. «Сообщення Бюраканской обсерватории». 1985 г., вып. LVI, 55—60.

Enstantistin arustan

В работе приводится описание трех новых методов электрополяриметрических и фотометрических наблюдений. Приводится также блок-схема фотометра с компенсацией фона ночного неба.

Рисунков 4, библнографий 3.

УДК 522.62

Автоматическая обработка спектров на ЭВМ. Каралетян М. Ш., Саркисян Р. А. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI, стр. 61-63.

Создана программа автоматической обработки спектров, что позволяет определить абсолютные распределенные энергии по длинам воли. Программа написана на языке Фортран-4.

Рисунков З, библиография 8.

УДК 520.82

Об обнаружении индуцированной составляющей в излучении космических объектов. Фрадкин А. Н. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI, спр. 64—68.

Предлагается метод обнаружения индуцированной составляющей в излучении космических объектов при помощи амплитудного анализа фотоотклика ФЭУ. Рисунок 1, таблица 1, библиографий 9.

УДК 520.82/87+520.3/6.

О точности электрофотометрических наблюдений. Мелконян А. С. «Сообщения Бюраканской обсерватории», 1985 г., вып. LVI, стр. 69—73.

Предложен метод, который позволяет определить точность одного электрофотометрического наблюдения по данным одного измерения. Рисунков 2, библиографий 5.

South at supportunities A CONSIDULED BRANDERN BRANDERN DBY 898960,081 Constanting of the + accor inderessant JANGE CALL