

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ КООРДИНАТ ФОТОНОВ. I. ИЗУЧЕНИЕ ВЕДЕНИЯ ТЕЛЕСКОПА

И. И. Балега, Ю. Ю. Балега, В. А. Васюк, В. Г. Орлов

На 6-м телескопе проведены наблюдения звезд и ядер галактик с применением телевизионной системы счета фотонов в режиме пространственно-временной записи координат фотонных событий. Перечислены основные достоинства такого способа регистрации изображений. В ходе обработки накопленного материала были выявлены периодические смещения барицентров изображений с амплитудой $0''.3-0''.4$ в диапазоне частот $0.7-0.9$ Гц, вызванные недостатками ведения телескопа.

Observations of stars and galactic nuclei were made with the 6-m telescope using a television photon counting system in a space-time photon events coordinates recording mode. The main merits of this way of imaging are enumerated. In the processing of the data accumulated we have revealed periodic displacements of image barycenters with an amplitude of $0''.3-0''.4$ in the frequency range $0.7-0.9$ Hz caused by the drawbacks in the telescope drive.

Применяемые в астрономии телевизионные приемники излучения позволяют извлекать информацию о моментах регистрации отдельных световых квантов с временным разрешением $20-40$ мс. Тем не менее в большинстве астрономических телевизионных систем осуществляется покадровое суммирование данных в цифровой памяти, в результате чего теряются сведения о временной динамике изображений. Разработке специальных систем, позволяющих накапливать координаты фотонов с сохранением временного разрешения, стало уделяться внимание только в последние годы [1]. Телевизионные счетчики фотонов с такими возможностями могут решать следующие задачи:

- изучение быстропеременных процессов в наблюдаемых источниках с временным разрешением ~ 0.1 с;
- улучшение углового разрешения накапливаемого поля за счет устранения вызванных атмосферой и механикой телескопа смещений изображений;
- повышение разрешения накапливаемого изображения путем отбора кадров, зарегистрированных в наилучших атмосферных условиях;
- возможность коррекции искажений, связанных с временной нестабильностью применяемой аппаратуры.

В дополнение к сказанному пространственно-временная регистрация фотонов имеет принципиальное значение в интерферометрии, где необходимость работы с короткими экспозициями вызвана быстрыми изменениями условий распространения светового фронта в турбулентной атмосфере. В этом случае сохранение данных об эволюции изображений позволяет анализировать их пространственно-временные корреляции.

Режим пространственно-временной регистрации изображений (покадровая запись) реализован нами на основе цифрового спекл-интерферометра 6-м телескопа [2]. В качестве приемника в аппаратуре используется обладающая квантово-предельной чувствительностью телевизионная камера с микроканальным усилением. Телевизионное изображение состоит из 256×256 элементов, а время экспонирования одного кадра равно 20 мс. 16-разрядные координаты фотонов записываются на магнитную ленту с помощью накопителя ИЗОТ-5003, обладающего быстродействием 10 Кбайт/с. Поскольку минимальный интервал времени между парой зарегистрированных фотонов составляет 0.5 мкс, для записи координат событий необходимо использовать буферное устройство.

Такой буфер выполнен нами в стандарте КАМАК и представляет собой два листа быстродействующей (цикл записи 200 нс) памяти емкостью $2K \times 16$ бит, поочередно переключаемых для записи координат фотонов или их чтения. Система контролируется с помощью микроЭВМ и позволяет без потерь данных накапливать на магнитной ленте поток до 80 квантов в кадре. Временные координаты фотонных событий выделяются в результате присвоения порядкового номера каждому телевизионному кадру в накопленном массиве.

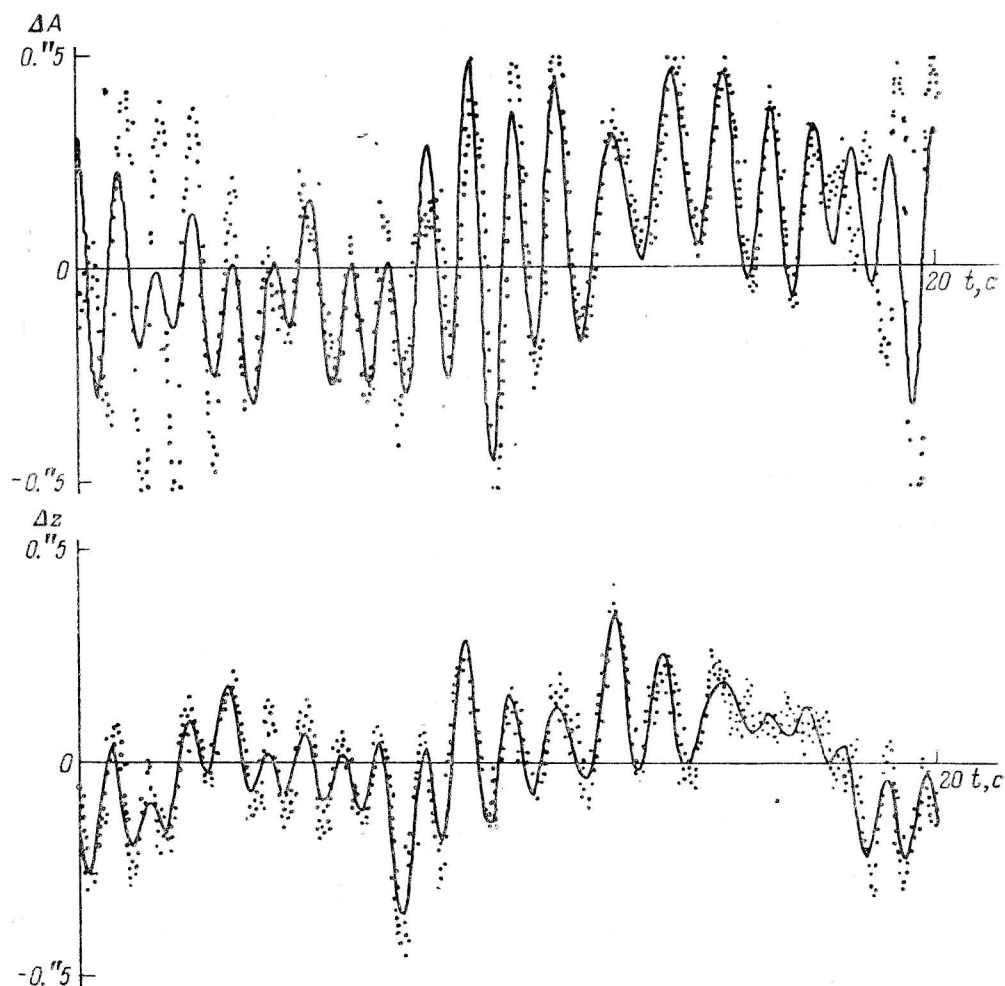
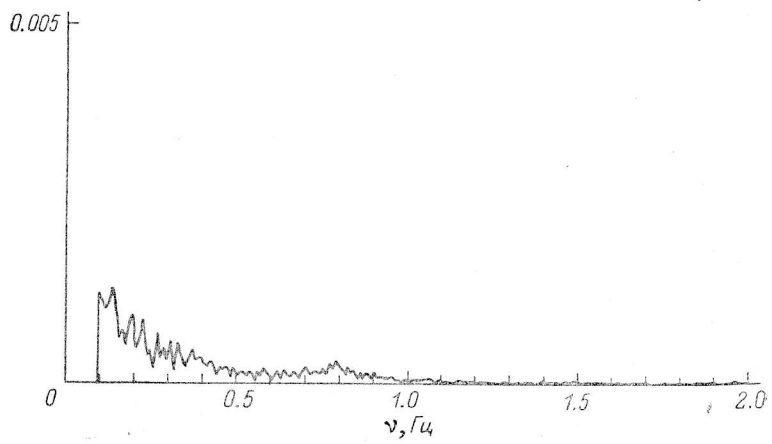
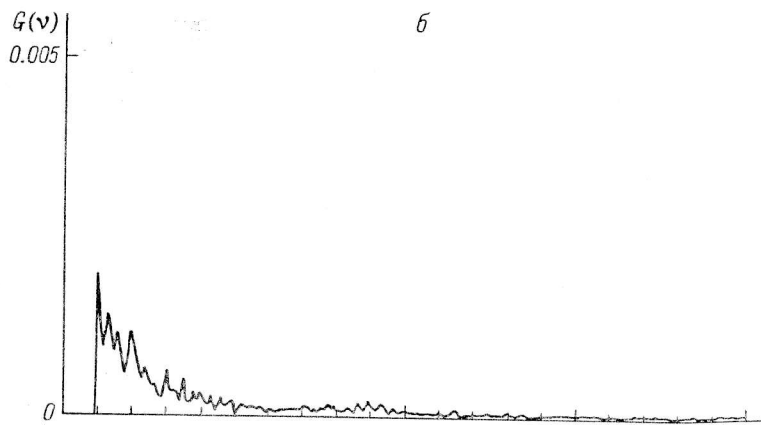
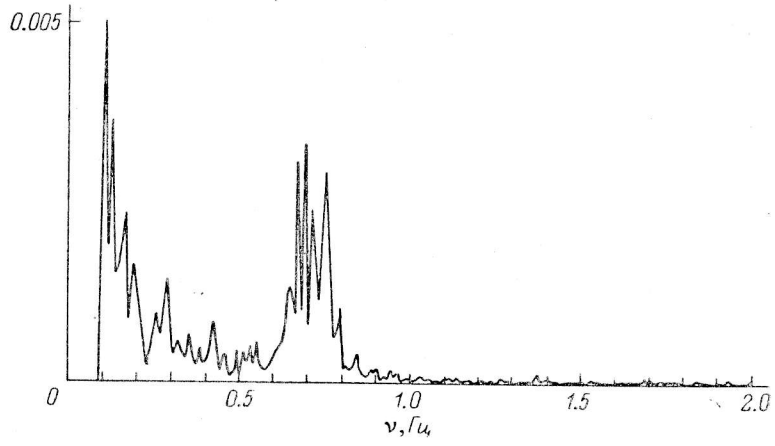
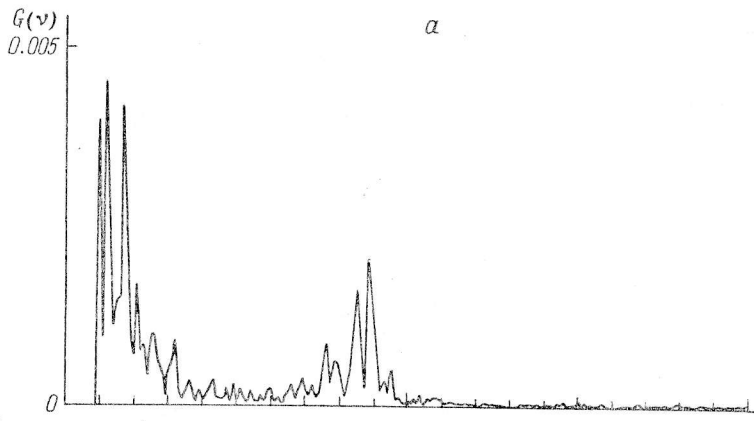
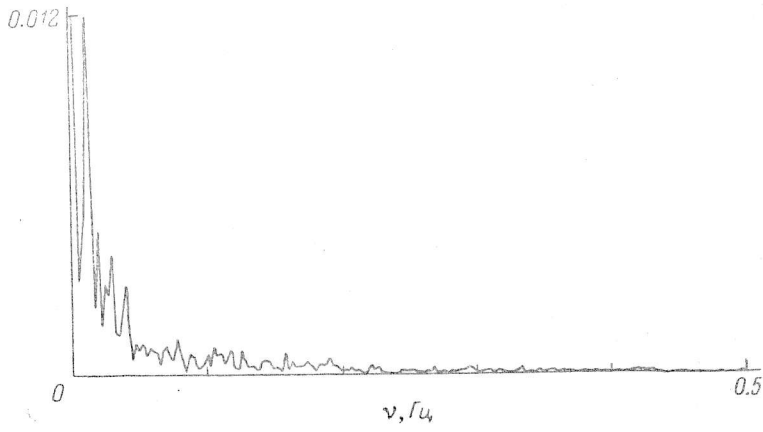
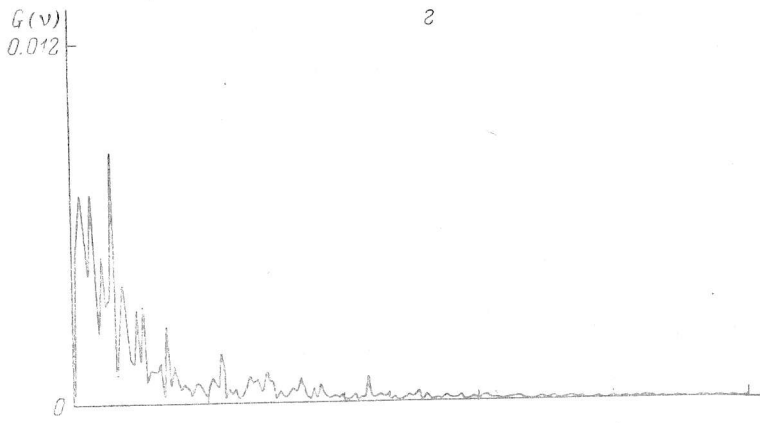
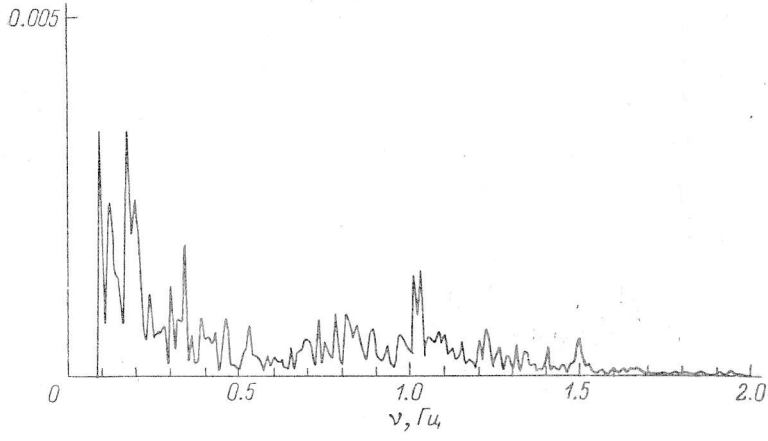
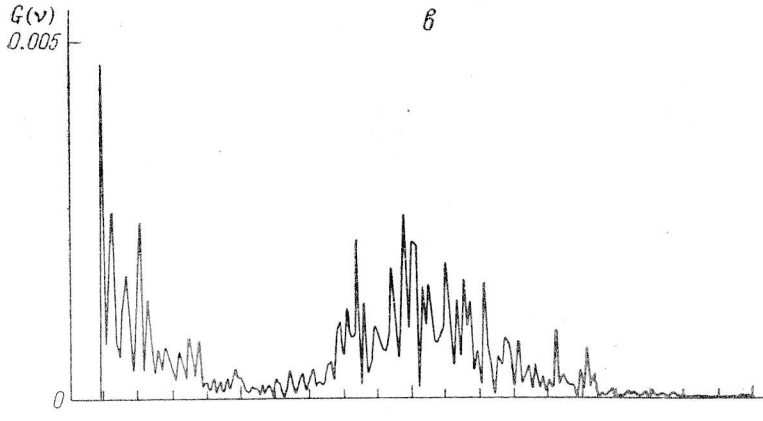


Рис. 1. Изменения относительного положения фотоцентра спекл-изображения звезды HR 7365 по наблюдениям на $z=14^\circ$ в течение 20 с.

a — смещения вдоль азимута; b — смещения по высоте.

Покадровый ввод фотонов применялся в спекл-интерферометрических наблюдениях звезд и ядер галактик на БТА в мае 1987 г. Угловой размер элемента телевизионного раstra составлял $0''.0143$, что соответствовало общему размеру $3''.7 \times 3''.7$. Первичная редукция материала выполнялась на ЭВМ ЕС-1035 и заключалась в «распаковке» событий по отдельным кадрам, устранении следов повторных считываний фотонных вспышек, вызванных инерционностью мишени телевизионной трубки, и отбраковке зашумленных кадров. Для каждого кадра вычислялось положение центра тяжести изображения, состоящего из отдельных фотонных событий. В качестве примера на рис. 1 показаны характерные смещения центроида спекл-изображения звезды HR 7365 по азимуту и высоте в течение 20 с. Звезда наблюдалась на зенитном расстоянии $z=14^\circ$ при слабом южном ветре 1 м/с и среднем качестве изображений $\beta=1''.5$. Изменения положения барицентра, которые видны на графике, имеют атмосферное





и инструментальное происхождение. Ошибка определения центра тяжести изображения составляет 2—3 канала, или $0''03$ — $0''04$. Ранее в ходе исследований оптической нестабильности атмосферы по следам дрожаний звезд в 6-м телескопе было установлено, что среднеквадратичная амплитуда флуктуаций фотоцентра изображения в хороших условиях близка к $0''05$, а максимум спектральной мощности флуктуаций приходится на частоте ≤ 0.1 Гц [3]. В то же время колебания, показанные на рис. 1, происходят с амплитудой $0''4$ — $0''5$ по азимуту и $0''2$ — $0''3$ по высоте. Хорошо заметно, как на низкочастотные тренды барицентра налагаются волны более высокой доминирующей частоты. Из сказанного можно сделать вывод о преобладающем инструментальном происхождении смещений. Простые оценки показывают, что при $\beta = 1''$ вследствие постоянных качаний трубы телескопа с характерной амплитудой $0''3$ по обеим осям проникающая сила при накоплении изображения с длинной экспозицией снижается на 0.5 звездной величины.

Для изучения частотных характеристик колебаний накопленные на разных z массивы разбивались на фрагменты по 200 с; суммарный спектр мощности определялся сложением спектров отдельных участков. Приводимый на рис. 2, а спектр мощности флуктуаций характерен для наблюдений на $z \geq 40^\circ$. Заметно выделяются гармоники 0.85 Гц для отклонений по азимуту и 0.70 Гц — по высоте. Отсутствие выраженной доминирующей частоты в отклонениях центра тяжести наблюдается на рис. 2, б, в то время как на рис. 2, в показана ситуация, когда смещения телескопа происходят преимущественно по азимуту в широкой полосе 0.6—1.5 Гц.

Анализ низкочастотной составляющей спектра мощности выполнен по 30-минутному ряду спекл-изображений ядра галактики NGC 4151. За такой промежуток времени зенитное расстояние объекта увеличилось с 38 до 43° . Как видно из показанных на рис. 2, г спектров мощности, в полосе до 0.5 Гц выделенных частот в колебаниях трубы телескопа в период наблюдений не существовало.

Полученный результат говорит о необходимости тщательного изучения возможных причин нестабильности ведения БТА. В то же время при наблюдениях с большими экспозициями качество накапливаемых изображений может быть улучшено с помощью компенсатора, отслеживающего блуждания фотоцентров звезд на частоте около 1 Гц.

Авторы выражают благодарность ответственному астроному БТА Л. И. Снежко за содействие в работе и В. П. Рядченко за помощь в создании системы.

Литература

1. Nieto J.-L., Llebaria A., di Serego Alighieri S. Photon-counting detectors in time-resolved imaging mode: image recentering and selection algorithms // *Astrophys.* 1987. 178. P. 301—306.
2. Балегга Ю. Ю., Рядченко В. П. Цифровая спекл-интерферометрия двойных звезд // *Письма в АЖ.* 1984. 10. С. 229—234.
3. Балегга Ю. Ю., Ерохин В. Н., Плахотниченко В. Л. Изучение свойств изображений в 6-м телескопе по следам звезд // *Новая техника в астрономии.* Л.: Наука, 1979. 6. С. 108—114.

Поступила в редакцию 30 декабря 1987 г.

Рис. 2. Нормированные спектры мощности $G(\nu)$ колебаний изображений по азимуту (верхние кривые) и высоте (нижние кривые). Для оптимального выбора масштаба спектров на рис. 2, а—в область частот $\nu = 0$ — 0.1 Гц маскировалась.

а — ядро галактики NGC 4151 на $z = 38^\circ$, экспозиция 7 мин, средний световой поток 30 фотонов в кадре (18.05.87); б — ядро галактики NGC 4151 на $z = 22^\circ$, экспозиция 23 мин (19.05.87); в — звезда HR 7365 на $z = 14^\circ$, экспозиция 7 мин (18.05.87); г — низкочастотная часть спектра мощности смещений фотоцентра по наблюдениям ядра галактики NGC 4151, экспозиция 30 мин, зенитное расстояние 38° — 43° .