

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ**

ПРЕПРИНТ 212

В. Е. Панчук, М. В. Юшкин, Э. В. Емельянов

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И ПОЗИЦИОННЫЙ
МОНИТОРИНГ СПЕКТРОГРАФОВ
ФОКУСА НЭСМИТ-2 БТА**

**Нижний Архыз
2006**

УДК 520.353-13

Температурный и позиционный мониторинг спектрографов фокуса Нэсмит-2 БТА

В.Е.Панчук¹, М.В.Юшкин¹, Э.В.Емельянов²

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167, Россия

²Ставропольский государственный университет

Аннотация. С целью изучения причин нестабильности проведен температурный и позиционный мониторинг кварцевого эшелле спектрографа НЭС, расположенного на платформе фокуса Нэсмит-2 6-метрового телескопа БТА. На протяжении чуть более двух суток получено три серии экспозиций лампы спектра сравнения. В каждой серии экспозиций с интервалом в 15 минут регистрировался спектр ThAg-лампы и записывались показания температурных датчиков, установленных на металлоконструкциях спектрографа НЭС, в различных помещениях опоры телескопа, в подкупольном пространстве и за пределами башни телескопа. Проведен корреляционный анализ полученных данных. По совокупности результатов сделаны выводы, что основной причиной нестабильности спектрографа НЭС является тепловая деформация предщелевой части спектрографа и тепловые потоки с нижних этажей опоры телескопа, проходящие через оптический тракт спектрографа ОЗСП. Обнаружены колебания температуры в подкупольном пространстве и помещениях опоры телескопа, связанные с тепловыми потоками внутри башни телескопа, через открытые двери между помещениями с различной температурой, при работающей вентиляции подкупольного пространства.

1. Введение

Эксплуатация аппаратуры высокого спектрального разрешения на БТА всегда проходила под знаком борьбы с температурными нестабильностями. Однако связь изменений температуры и сдвигов спектральных линий в большинстве случаев декларировалась. В данной работе впервые на БТА проведены исследования, где регистрация спектра и температуры выполнена автоматически, без присутствия посторонних источников теплового излучения. Прежде чем изложить результаты, напомним результаты предыдущих исследований.

2. Исследования температуры и позиционных характеристик Основного звездного спектрографа БТА

Регистрация смещений спектральных линий и попытки связать эти смещения с температурными вариациями выполнялись как в фотографическую эпоху, так и при наблюдениях с матрицами ПЗС. Период регистрации звездных спектров с двумерными счетчиками фотонов (1986-1991, подробнее см. [1]), характерен тем, что основной причиной позиционных нестабильностей являлась неустойчивая работа фокусирующих систем многокаскадных ЭОПов, и жесткость оптико-механических систем спектрографов отошла на второй план.

Основной звездный спектрограф (ОЗСП [2]), занимающий практически весь объем опоры платформы фокуса Нэсмит-2, создавался как инструмент, узлы которого заведомо помещены в разные “климатические зоны”. Коллиматор спектрографа и объектив длиннофокусной камеры (№1) находятся на 1-м этаже опоры, пол которой принимает поток тепла снизу, из объема опорно-поворотной части (ОПЧ) альтазимутальной конструкции. На 2-м этаже находится фокальная часть камеры (№1) и соответствующий диспергирующий узел, на 3-м этаже – светосильные камеры (№2,3) и соответствующий дисперги-

рующий узел. На 4-м этаже находится щелевая часть спектрографа, защищенная от объема подкупольного пространства изначально только металлическим кожухом. Объем опоры, в которой размещена конструкция спектрографа, был обшит металлом, не обеспечивающим хорошую теплоизоляцию. Маслопровод системы подшипника оси "z" (зенитного расстояния) проходит через объем спектрографа. Аналогии такого технического решения в астроспектроскопии нам не известны.

Первые исследования температурного режима ОЗСП были выполнены под руководством В.С.Рылова в 1975-1976 гг. [3]. Измерения выполнялись при помощи ртутных термометров, а затем термодатчиков. Было показано, что: 1) взаимосвязь температуры подкупольного пространства и объема ОЗСП высокая (что указывает на низкую степень теплоизоляции спектрографа); 2) изменение температуры внутри ОЗСП в течение суток может превышать 1 градус; 3) при работающем телескопе в объеме спектрографа возникали перепады температур до 1.5 градуса как с положительным, так и с отрицательным градиентами в вертикальном направлении. Температура вблизи щелевой части не измерялась, а принималась равной температуре подкупольного пространства (т.к. 4-й этаж ОЗСП являлся открытой площадкой). Основным механизмом, обеспечивающим сдвиги (или размытие при длинных экспозициях) спектральных линий, была принята конвекция (т.к. пол спектрографа чаще всего оказывался теплее). В результате исследований были приняты рекомендации по дополнительной теплоизоляции обшивки спектрографа, что было сделано только к 1980 г.

Планетный спектрограф СП-124 и эшелный спектрограф СП-161, поочередно устанавливаемые в фокусе Нэсмит-1, были исполнены в виде закрытых конструкций, имеющих механизмы термокомпенсации положения фокуса камеры, поэтому продолжительные исследования термостабильности на этих спектрографах не проводились.

Следующий этап исследований терморегима ОЗСП проведен в 1980 г. [4], после работ по дополнительной теплоизоляции спектрографа. Было показано, что: 1) основной объем спектрографа (1-3 этажи) приобрел хорошую тепловую инерционность (около 3-х часов); 2) амплитуда изменения температуры в объеме ОЗСП понизилась вдвое; 3) средняя разность температур основного объема спектрографа и щелевой части составляет 3 градуса; 4) щелевая часть на 0.5-1 градуса теплее подкупольного пространства; 5) максимальная скорость охлаждения воздуха в объеме ОЗСП составляет 0.8 градуса/час (при среднестатистической 0.2 градуса/час). Теперь доминирующим эффектом, определяющим вариации температуры в основном объеме ОЗСП, оказался прогрев от системы маслопитания, тогда как раньше преобладало воздействие температуры подкупольного пространства. Влияние подкупольного пространства на температуру щелевой части было затем снижено путем установки павильона, защищающего площадку 4-го этажа, где находится щелевая часть ОЗСП.

Что касается конвекции, то был проведен эксперимент, исключаяющий ее влияние [5]. В режиме слежения телескопа за объектом спектр сравнения поочередно регистрировался на длиннофокусной ($F=310\text{см}$) камере No.1, имеющей открытую конструкцию, и светосильной ($F=60\text{см}$) камере No.2, закрытой конструкции. С учетом масштабирующего фактора дрейф положений спектральных линий оказался одинаковым, таким образом, причина дрейфа находится вне каждой из камер. Попытки оценить влияние температуры воздуха предпринимались при неподвижном телескопе, обнаружены смещения линий с характерной скоростью 10 мкм/час. В целом, можно было утверждать, что для ОЗСП основным фактором, определяющим нестабильность спектра, оказалась жесткость механической конструкции опоры платформы фокуса Нэсмит-2, а температура воздуха оказалась второстепенным фактором.

Положительным результатом этих исследований явилась разработка концепции развития звездной спектральной аппаратуры БТА [6], основу которой составляла идея создания набора инструментов, более компактных, чем ОЗСП.

В конце 90-х на БТА был выполнен комплекс работ, результатом которых явилось резкое снижение рабочей температуры масла (прогревающего, в частности, и объем ОЗСП), а также обрезание высокочастотной составляющей спектра колебаний, вызываемых работой маслостанции подшипников оси "z". Кроме того, была проведена доработка конструкции тепловой защиты 4-го этажа. После этого был проведен годичный мониторинг температуры в объеме ОЗСП [7]. Были получены следующие результаты.

А. Теплоизоляция спектрографа демпфирует колебания температуры в два-три раза.

Б. Запаздывание хода температуры ОЗСП от температуры подкупольного пространства составляет около 18-20 часов.

В. В теплое время года (июнь-сентябрь) среднесуточные значения температуры в подкупольном объеме и в объеме ОЗСП совпадают. Это означает, что поступление тепла в объем ОЗСП от системы маслопитания (при телескопе, работающем в среднем 4-5 часов в сутки), теперь несущественно.

Г. В холодное время года среднесуточные значения температуры в подкупольном объеме на 2-4 градуса ниже таковых в объеме ОЗСП. Это означает, что в объем ОЗСП снизу, со стороны ОПЧ, посту-

пает дополнительное количество тепла из отапливаемых помещений башни. В целом, можно сделать вывод, что теперь прогрев спектрографа от маслосистемы является второстепенным фактором. С 1993 г. ОЗСП используется, в основном, в режиме регистрации на матрицах ПЗС, которыми последовательно оснащалась камера N2 [8]. Внедрение систем скрещенной дисперсии на БТА сделало ОЗСП второстепенным прибором (в плане позиционной спектроскопии), поэтому дальнейшие исследования позиционной стабильности спектрографа не проводились.

3. Исследования позиционной стабильности спектрографов скрещенной дисперсии

Период создания и эксплуатации первых эшелле-спектрографов (с диаметрами коллимированного пучка до 100мм), оснащенных матрицами ПЗС 530x580 элементов, показал, что позиционные точности, обеспечиваемые на ОЗСП с этой же матрицей, превзойдены. Создание и ввод в эксплуатацию кварцевого спектрографа с большим диаметром коллимированного пучка [9] проходило в атмосфере априорного скепсиса, основными доводами которого являлись: 1) невозможность эксплуатации мозаичной эшелле на подвижном спектрографе, 2) высокая роль механических и температурных нестабильностей. Поэтому сразу после ввода спектрографа НЭС в опытную эксплуатацию были выполнены исследования позиционной стабильности [10]. Спектры регистрировались в различных состояниях и при различной ориентации телескопа. В итоге оказалось, что основной источник позиционной нестабильности сосредоточен в модуле светоприемника, матрицы ПЗС форматом 1140x1060 элементов. Вывод был подтвержден исследованиями данного светоприемника на других спектрографах, включая высокостабилизированный лабораторный ДФС-8. Этот тип нестабильностей оказался неожиданным, он определяется особенностями конструкции модуля светоприемника, охлаждаемого жидким азотом, т.е., по-видимому, имеет температурный характер. Только при исследовании подвесного эшелле-спектрографа первичного фокуса [11] удалось обнаружить нестабильности, связанные с деформациями механической конструкции, отделив их от нестабильностей собственно светоприемника. После ввода в эксплуатацию на НЭС матрицы 2048x2048 элементов, модуль которой не имеет системы подогрева входного окна, исследования нестабильности были повторены, амплитуда сдвигов линий уменьшилась втрое. Удалось зафиксировать эффект теплового удара: при резком понижении температуры подкупольного пространства (на 3 градуса в течение часа) линии сдвинулись на 14-16мкм, но корреляции сдвигов с меньшими вариациями температуры не обнаружено [12]. Опыт наблюдений и обработки спектров показал, что попиксельное сложение спектров одного и того же объекта, последовательно полученных в течение одной ночи на шкале несколько часов, приводит к потере спектрального разрешения. Поэтому были разработаны алгоритмы редукции изображений спектров, учитывающие дрейф двумерной картины эшелле-спектра по элементам матрицы ПЗС [13]. В 2005 г. было завершено изготовление системы температурного мониторинга спектрографа НЭС и объема ОЗСП [14]. Ниже приведем некоторые результаты испытаний.

4. Схема температурного и позиционного мониторинга

Для дальнейшего изучения причин нестабильностей разработана методика температурного мониторинга и усовершенствованы алгоритмы анализа спектров. На кварцевом эшелле-спектрографе НЭС и в его окрестностях установлено 7 датчиков температуры (3 датчика измеряют температуру воздуха, а 4 закреплены на металлоконструкции спектрографа). Каждые 15 минут выполняется опрос этих датчиков, соответствующий компьютер сбора имеет возможность сетевого доступа к накапливаемой информации [14]. Кроме того, используется информация о температуре под куполом телескопа БТА и вне купола. Было проведено несколько серий экспозиций спектра сравнения (лампа с ториевым катодом и аргоновым наполнением) как при неподвижном телескопе, так и в процессе работы телескопа с другой спектральной аппаратурой. Двумерные изображения спектров были обработаны при помощи оригинальных программ выделения одномерных спектральных порядков [13]. Для выявления относительных сдвигов спектра совместная обработка этих порядков выполнена методом кросс-корреляции. Кроме того, проведены сопоставления значений температур, измеренных в разных точках спектрографа и окружающего пространства. Анализ результатов измерений сгруппируем следующим образом.

5. Температуры в объеме опоры фокуса Нэсмит-2

На рис.1 на верхней панели приведены значения температуры воздуха, измеренной в двух точках объема опоры фокуса Нэсмит-2 и в районе щелевой части спектрографа НЭС в течение трех серий. Черной, синей и красной линиями изображены соответственно показания температурных датчиков на первом этаже опоры (датчик Т7), на третьем этаже (датчик Т6) и внутри спектрографа НЭС за входной щелью (датчик Т5). Время по оси X отсчитывается в минутах относительно начала первой экспозиции в первой серии в 17:43 московского зимнего времени 19.01.2006 г. Коричневой и желтой линиями показаны соответственно записи температуры в подкупольном пространстве телескопа и наружной температуры в течение всего сеанса исследования позиционной стабильности НЭС. Между первой и второй серией экспозиций прошло около восьми часов, за это время температура в подкупольном пространстве большую часть времени оставалась постоянной, наружная температура падала со средней скоростью 0.8 градуса за час. Между второй и третьей сериями экспозиций прошло около часа. В этот период была включена система вентиляции подкупольного пространства, что привело к резкому падению температуры со скоростью 2 градуса за час, в то же время внешняя температура оставалась постоянной на уровне -15.5 градусов.

Данные первой серии экспозиций получены в условиях неподвижного телескопа, с отключенной маслосистемой, купол закрыт, при сильном ветре с порывами до 25 м/сек, причем характерное время изменения скорости ветра сравнимо с характерным временем колебаний температуры (черная линия). На рис.1 на отдельной панели приведена синхронная запись среднего значения скорости ветра, интервал усреднения около 15 минут. Температура вне купола БТА при этом оставалась практически постоянной на уровне -6 градусов, в конце первой серии экспозиций внешняя температура повысилась примерно на 2 градуса и затем стала резко падать. Амплитуда колебаний температуры в нижней части объема опоры (черная линия) выше, чем в верхней части ОЗСП (синяя линия), объем этой части опоры втрое превосходит объем нижней части. Приходим к выводу, что в таком режиме основной причиной изменения температуры ОЗСП является продув теплым воздухом, поступающим из отапливаемых помещений башни БТА. Величина вертикального градиента температуры в объеме ОЗСП сохраняется на протяжении всего времени исследования стабильности НЭС. Атмосферное давление (нижняя панель рис.1) за период первой серии экспозиций упало на 8 мм.рт.ст.

Данные второй серии экспозиций получены на неподвижном телескопе (дневные работы с перемещениями телескопа завершены за час до начала эксперимента). Ветер в порывах до 15 м/сек, купол закрыт, температура “за бортом” понижается со скоростью 0.7 градуса в час.

Данные третьей серии экспозиций получены при неподвижном телескопе, ветер 10-15 м/сек, купол закрыт, внешняя температура до -17, температура зеркала -5, температура подкупольного пространства в течение последнего эксперимента резко снизилась на 7 градусов, причем снижение температуры проходило скачкообразно. Видно более крутое падение температуры Т5 (красная линия) и увеличение разности температур Т6-Т5 (расстояние между синей и красной линиями). Приходим к выводу, что тепловой баланс ОЗСП определяется теперь быстрым охлаждением объема 4-го этажа, а не прогревом снизу. В ходе второй и третьей серии атмосферное давление плавно повышалось до начального уровня.

6. Температура металлических частей конструкции НЭС

Перейдем к анализу измерений температуры разных точек металлоконструкции НЭС. Показания температурных датчиков также изображены на рис.1 цветными линиями: зеленая линия – температура входной щели спектрографа (датчик Т3), оранжевая – температура оправы главного зеркала коллиматора (датчик Т4), фиолетовая – температура оправы мозаичной эшелле-решетки (датчик Т2), бирюзовая – температура камеры спектрографа (датчик Т1).

Из рисунка видно, что металлоконструкция входа в НЭС (зеленая линия) на 0.3-0.4 градуса теплее других элементов. Затем выделяется кривая температуры камеры (бирюзовая линия), в течение третьей серии при остывании всей конструкции спектрографа падение температуры камеры запаздывало примерно на 2 часа. В целом разброс температуры в различных точках спектрографа невелик и может быть еще понижен при доработке конструкции теплозащиты. Температура внутри спектрографа за двое суток изменилась примерно на 2.5 градуса, в то время как температура в подкупольном пространстве изменилась на 9 градусов. В объеме ОЗСП наблюдается устойчивый отрицательный температурный градиент.

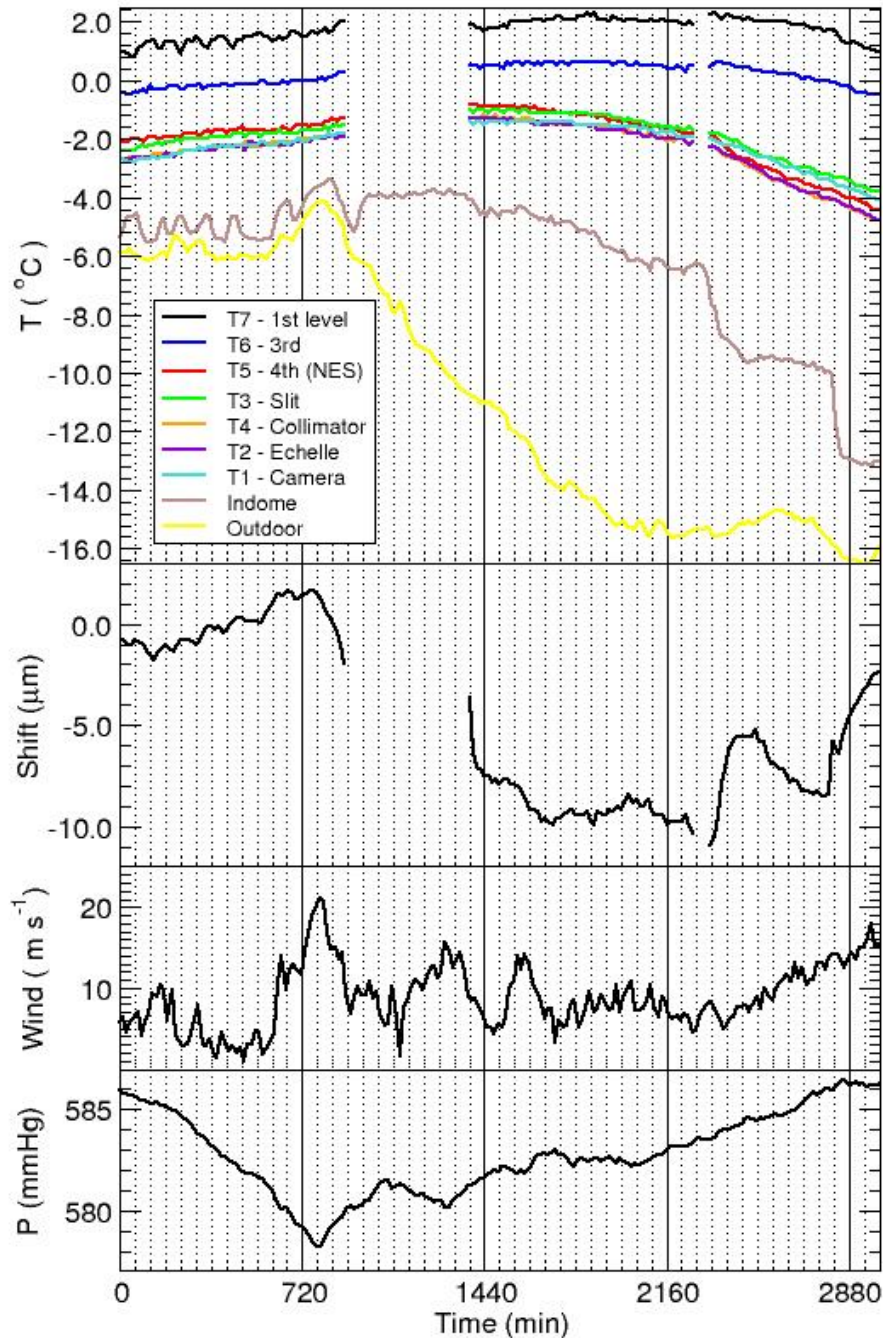


Рис.1. Показания температурных датчиков в разных помещениях опоры телескопа в подкупольном пространстве, за пределами башии телескопа и на различных элементах металлоконструкции спектрографа НЭС; смещение спектральных линий относительно первого изображения спектра в первой серии экспозиций; скорость ветра за пределами башии; изменение атмосферного давления с течением времени.

7. Смещения спектра

Результаты измерений смещений спектра (в микронах) приведены на отдельной панели рис.1. Размер элемента матрицы ПЗС составляет 15 мкм.

Приходим к выводу, что амплитуда смещений спектра уменьшилась по сравнению с экспериментами [12], проведенными с этим же светоприемником до реконструкции шелевой части НЭС. Амплитуда смещения спектральных линий на протяжении всего эксперимента была сравнима со смещениями, вызываемыми нестабильностью модуля светоприемника. На рис.1 видно, что в первом эксперименте величина сдвига спектральных линий варьировалась синхронно с изменениями температуры в подку-

полном пространстве, в третьем эксперименте наиболее резкие смещения эмиссионного спектра калибровочной лампы примерно совпадают по времени с периодами быстрого падения температуры в подкупольном пространстве.

8. Анализ зависимостей сдвига спектра от температур

Для выяснения причины обнаруженной в данном эксперименте нестабильности спектрографа НЭС мы провели корреляционный анализ показаний температурных датчиков и величин смещения спектральных линий.

Изучение корреляции показаний электронных термометров, расположенных в различных точках опоры Нэсмит-2 показали, что:

- внутри спектрографа температура довольно высоко скоррелирована (датчики T1-T5);
- показания датчиков воздушного (T5) и расположенного на металле (T3) в щелевом отсеке спектрографа НЭС также имеют довольно высокую корреляцию, хотя и наблюдается небольшое запаздывание T3 относительно T5 (около 1 часа);
- корреляция температур на первом и третьем этажах опоры фокуса Нэсмит-2 с температурами внутри спектрографа НЭС несколько ниже, что может объясняться подогревом первого этажа опоры гидравлической системой азимутальной опоры и азимутального привода телескопа (это, видимо, и отражается на скачках температуры на первом этаже опоры);
- наблюдается запаздывание температуры на первом этаже опоры относительно температуры третьего этажа (около трех часов). По-видимому, фиксируем эффект последовательного остывания объема опоры, сверху вниз.

По значениям коэффициента корреляции сдвига спектральных линий и показаний датчиков T1-T7 можно сделать следующие выводы:

- внутри каждой серии измерений коэффициенты корреляции сдвигов спектра с показаниями температурных датчиков, расположенных внутри спектрографа, довольно близки;
- средние коэффициенты корреляции сильно меняются от серии к серии, что говорит об отсутствии однозначной зависимости величины сдвига линий от температуры внутри спектрографа.

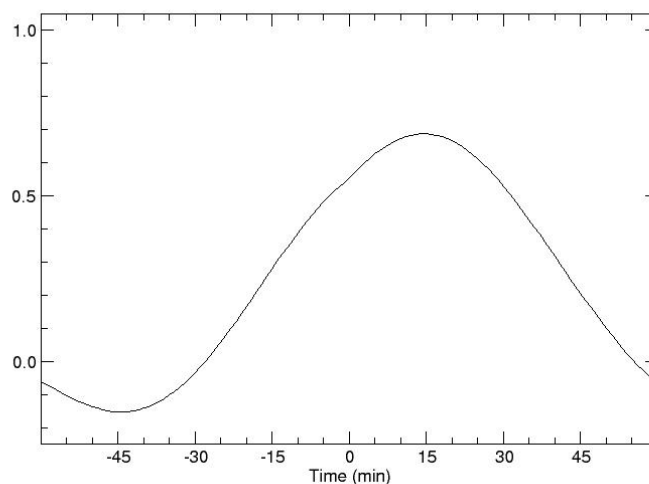


Рис. 2. Кросс-корреляционная функция величины смещения спектральных линий и показаний датчика температуры воздуха в подкупольном пространстве.

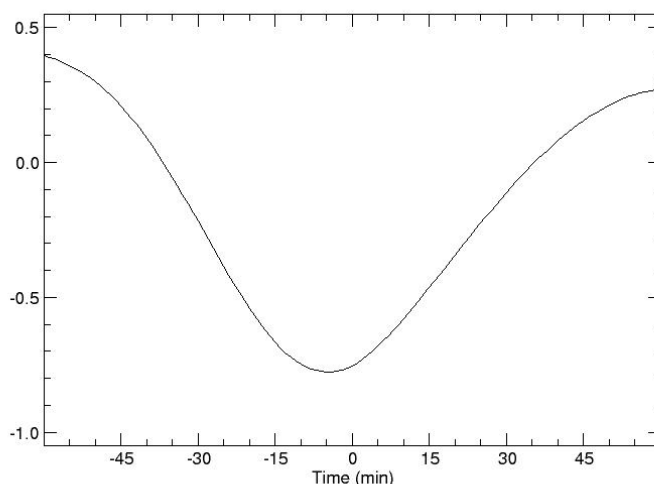


Рис. 3. Кросс-корреляционная функция показаний датчика температуры на первом этаже опоры телескопа (помещение коллиматора ОЗСП и зеркала камеры №1 ОЗСП) и показаний датчика температуры в подкупольном пространстве.

На рис. 2 показана кросс-корреляционная функция (вблизи максимума) смещений линий и показаний датчика температуры воздуха в подкупольном пространстве для первой серии экспозиций. Наблюдается довольно сильная корреляция между этими двумя величинами. Максимальный коэффициент корреляции 0.7 смещен по времени на 15 минут. Таким образом, смещение спектральных линий в фокальной плоскости камеры довольно сильно коррелирует с изменением температуры в подкупольном пространстве, но происходит с запаздыванием на 15 минут. В двух других сериях экспозиций не наблюдается значимой корреляции между сдвигом линий и температурой в подкупольном пространстве. Также не наблюдается значимой корреляции сдвигов линий и показаний других температурных датчиков ни в какой из серий экспозиций.

В первой серии экспозиций наблюдаются резкие скачки температуры в подкупольном пространстве и практически синхронное падение температуры на первом этаже опоры телескопа. Корреляционный анализ действительно выявил антикорреляцию температуры на первом этаже опоры телескопа и в подкупольном пространстве. На рис. 3 показана кросс-корреляционная функция температуры на первом этаже опоры телескопа, минимальное значение функции -0.8 смещено на 5 мин. Такое запаздывание изменения температуры в подкупольном пространстве, по-видимому, связано с разными объемами помещений. Первая серия экспозиций получена в рабочий день и обнаруженные колебания температур, скорее всего, связаны с воздушными потоками через открытые двери между различными помещениями башни телескопа при работающей вентиляции подкупольного пространства. В последующие два выходных дня аналогичные колебания температур обнаружены не были. Вентиляция подкупольного пространства в эти дни, как видно из графиков температур, также включалась эпизодически.

На рис. 4 представлена зависимость скорости дрейфа спектральных линий от скорости изменения температуры воздуха вблизи щелевой части спектрографа НЭС. Сплошной линией показан результат аппроксимации зависимости полиномом третьей степени. Видно, что при скорости изменения температуры по модулю меньше 0.3 градуса за час дрейф спектральных линий не зависит от колебаний температуры. Однако при более быстром изменении температуры такая зависимость появляется.

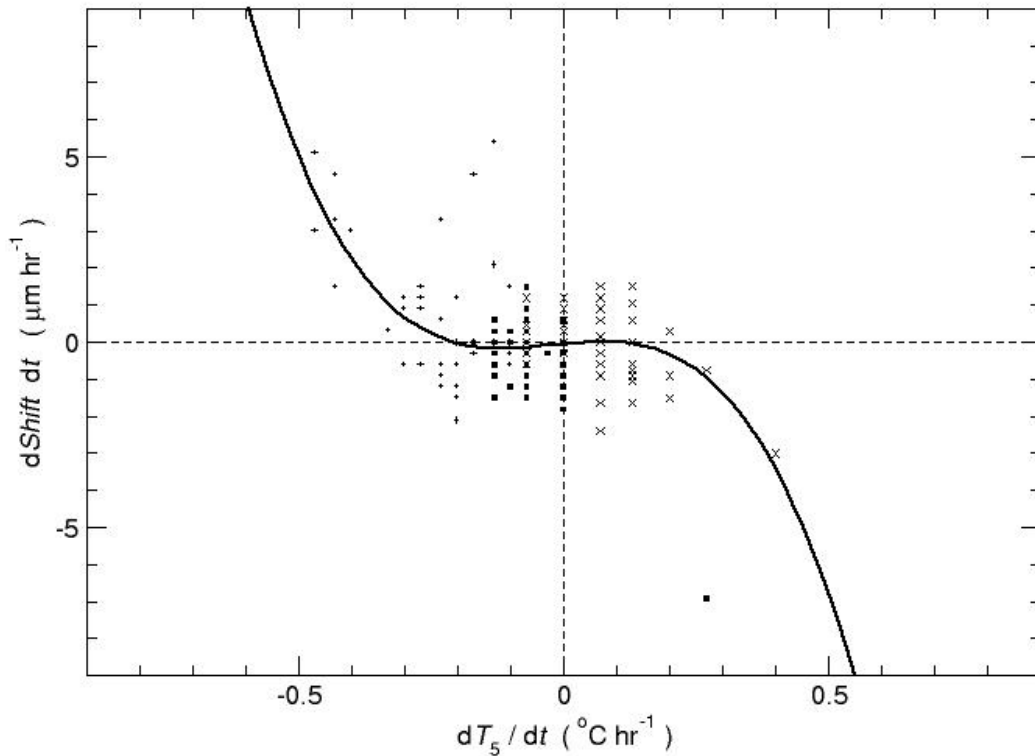


Рис. 4. Зависимость скорости дрейфа спектральных линий от скорости изменения температуры воздуха в объеме спектрографа НЭС. Разными символами изображены значения, полученные в разных сериях экспозиций, Сплошной линией показан результат аппроксимации данной зависимости полиномом третьей степени.

Выводы

Для изучения причин нестабильности спектрографа НЭС проведен температурный и позиционный мониторинг. В течение около двух суток получено три серии экспозиций спектра сравнения. В каждой серии экспозиций с интервалом в 15 минут регистрировался спектр ThAg-лампы и записывались показания термодатчиков, установленных на металлоконструкциях спектрографа НЭС, в различных помещениях опоры телескопа, в подкупольном пространстве и за пределами башни телескопа. Проведен корреляционный анализ полученных данных. По совокупности результатов можно сделать следующие выводы:

1. При минимальной теплоизоляции (спектрограф НЭС закрыт металлическим кожухом) температура различных узлов спектрографа, а также температура воздуха внутри спектрографа хорошо скоррелирована, имеет небольшой разброс и изменяется плавно даже при резких скачках температуры в подкупольном пространстве. За время эксперимента температура узлов спектрографа изменилась на 2.5 градуса, в то время как температура в подкупольном пространстве изменилась на 9 градусов. Максимальная обнаруженная скорость изменения температуры внутри спектрографа составляет 0.5 градуса за час, при максимальной скорости изменения температуры в подкупольном пространстве 6 градусов за час.
2. Температура входной щели спектрографа НЭС всегда выше (на 0.3-0.4 градуса) температуры остальных оптико-механических элементов спектрографа. По-видимому, это связано с притоком тепла с нижних этажей опоры телескопа через оптический тракт спектрографа ОЗСП. В течение всего эксперимента наблюдался отрицательный градиент температуры в объеме спектрографа ОЗСП (нижние этажи теплее).

3. Амплитуда смещений спектральных линий в течение всего эксперимента не превышает 10 мкм, что резко отличается от результатов, полученных в работе [12]. Заметное улучшение позиционной стабильности спектрографа НЭС (в 3-4 раза) связано с усовершенствованием конструкции целевой части спектрографа.
4. Не обнаружено явной зависимости величины смещения спектральных линий от температуры элементов спектрографа или воздуха внутри спектрографа и в подкупольном пространстве. Показано, что заметное влияние колебаний температуры на позиционные характеристики спектрографа НЭС проявляется при скорости изменения температуры более 0.3 градуса за час.
5. В первой серии экспозиций обнаружены колебания температуры в подкупольном пространстве и на первом этаже опоры телескопа, обнаружена антикорреляция этих температур с коэффициентом -0.8. Изменение температуры на первом этаже опоры телескопа опережает на 5 минут подкупольное пространство, что связано с различием объемов этих двух помещений. Подобное поведение температуры, по-видимому, связано с тепловыми потоками внутри башни телескопа через открытые двери между помещениями с различной температурой, при работающей вентиляции подкупольного пространства. Отметим, что подобные колебания наблюдались в рабочее время. В выходные дни колебания температуры в подкупольном пространстве не наблюдалось, вентиляция большую часть времени была выключена.
6. Также в первой серии экспозиций обнаружена корреляция смещений спектральных линий и температуры в подкупольном пространстве. Коэффициент корреляции 0.7, смещение линий запаздывает на 15 минут. Принимая во внимание предыдущий пункт, можно сделать вывод, что основной причиной нестабильности спектрографа, по-видимому, является предщелевая часть, наиболее подверженная воздействию выносимого с нижних этажей опоры телескопа тепла.
7. Учитывая величину смещения спектральных линий, можно сделать вывод, что основной причиной нестабильности спектрографа НЭС является блуждание пучка света от лампы спектра сравнения из-за тепловой деформации предщелевой части спектрографа.

Численные оценки показывают [15], что основным источником нестабильностей дифракционного спектрографа должны быть температурные изменения постоянной решетки (т.е. изменения расстояния между штрихами). Однако переход от этих оценок к результатам измерений, выполненных на реальной оптико-механической конструкции, представляется сегодня затруднительным. Полученные выводы могут быть использованы как для совершенствования конструкций существующих спектрографов БТА, так и при разработке концепции спектрографа нового поколения [16].

Благодарности

Работа поддержана РФФИ (проект 04-02-17564-а).

Литература

1. Panchuk V.E. 1998, Bull. Spec. Astrophys. Obs., v.44, p.65.
2. Васильев А.С., Евзеров А.М., Лобачев М.В., Пейсахсон И.В., 1977, Оптико-механическая промышленность, вып.2, с.31.
3. Рылов В.С., Глаголевский Ю.В., Сухарев Ю.В., Ченцов Е.Л. Отчет об исследовании Основного звездного спектрографа БТА. Часть II. Научно-технический отчет САО, No.12, 1976.
4. В.Е.Панчук, Исследование температурной нестабильности в помещении Основного звездного спектрографа. Научно-технический отчет САО, No.174, 1980.
5. И.Ф.Бикмаев, В.Е. Панчук. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1986, т.23, с.111.
6. В.Г.Клочкова, В.Е. Панчук. Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1991, т.33, с.3.
7. В.Е.Панчук, В.П.Романенко. Мониторинг температуры в объеме Основного звездного спектрографа БТА. Научно-технический отчет САО, No.308, 2006.
8. В.Е. Панчук. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. VII. Основной звездный спектрограф. Препринт САО, No.154, 2001.
9. В.Е. Панчук, И.Д.Найденов, В.Г. Клочкова. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. I. Эшелле-спектрограф с большим диаметром коллимированного пучка. Препринт САО, No.135, 1999.

10. В.Г. Клочкова, С.В. Ермаков, В.Е. Панчук, Н.С. Таволжанская, М.В. Юшкин. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. II. Позиционные и фотометрические характеристики эшелле-спектрографа с большим диаметром коллимированного пучка. Препринт САО, No.137, 1999.
11. Панчук В.Е., Клочкова В.Г., Юшкин М.В., Романенко В.П., Найденов И.Д., Ермаков С.В. Эшелле-спектрополяриметр первичного фокуса БТА. Препринт САО, No.159. 2001.
12. Панчук В.Е., Пискунов Н.Е., Клочкова В.Г., Юшкин М.В., Ермаков С.В. Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА. X. Позиционные и фотометрические характеристики кварцевого эшелле-спектрографа НЭС с крупноформатной матрицей "Уппсала ПЗС". Препринт САО, No.169. 2002.
13. Юшкин М.В., Клочкова В.Г. Комплекс программ обработки эшелле спектров. Препринт САО, No.206, 2004.
14. Кравченко В.М. Система температурного мониторинга фокуса Нэсмита-2 БТА. Научно-технический отчет САО, No.307, 2006.
15. Панчук В.Е., Алиев А.Н., Клочкова В.Г., Юшкин М.В. Методы определения лучевых скоростей звезд. Препринт САО, No.192, 2004.
16. Панчук В.Е., Клочкова В.Г., Юшкин М.В. Спектроскопия звезд на БТА: проблемы развития. В сб. "Методы спектроскопии в современной астрофизике", Под редакцией Л. Машонкиной и М. Сачкова. Янус-К, Москва, 2007.

**Температурный и позиционный мониторинг спектрографов
фокуса Нэсмит-2 БТА**

В.Е.Панчук, М.В.Юшкин, Э.В.Емельянов

Работа поступила в печать 8 июня 2006 г.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН