

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 520.24; 681.51

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ БОЛЬШОГО СОЛНЕЧНОГО ВАКУУМНОГО ТЕЛЕСКОПА

П. Г. Ковадло¹, А. А. Лубков², А. Н. Бевзов², К. И. Будников²,
С. В. Власов², А. А. Зотов², Д. Ю. Колобов¹, А. В. Курочкин²,
В. Н. Котов², С. А. Лылов², Т. В. Лях², А. С. Максимов²,
С. В. Перебейнос², А. Д. Петухов², В. С. Пещеров¹, Ю. А. Попов²,
И. В. Русских¹, В. Е. Томин¹

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126-а, а/я 291
²Институт автоматизации и электрометрии СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1
E-mail: lubkov@iae.nsk.su
kolobov@iszf.irk.ru

Рассмотрены архитектура, состав, особенности функционирования и технические характеристики автоматизированной системы управления Большим солнечным вакуумным телескопом Байкальской астрофизической обсерватории. Созданная система автоматизировала как процесс наблюдения (автоматическое наведение телескопа на Солнце, выбор участка на изображении солнечного диска, наведение по заданным координатам, гидирование, видеомониторинг основных узлов телескопа), так и вспомогательные операции (вакуумирование, разгрузка зеркала сидеростата, управление куполом).

Ключевые слова: автоматизированная система управления, телескоп, сидеростат, координатометр, модуль слежения за Солнцем, контроллер.

DOI: 10.15372/AUT20160212

Введение. Системы автоматизации астрофизических приборов во всём мире развиваются в направлении их коллективного использования и дистанционного управления. Поскольку работа любого современного солнечного телескопа невозможна без автоматизированного сопровождения объекта наблюдения — Солнца, эта часть АСУ существует на любом телескопе.

Автоматизированное измерение и архивирование результатов наблюдений развиты существенно хуже. Часть вспомогательных подсистем многих телескопов управляется вручную обслуживающим персоналом. Дистанционное управление подобными телескопами и их коллективное использование невозможны.

Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) введён в эксплуатацию в 1982 году [1]. Управление оптическими регистрирующими устройствами телескопа и вспомогательными подсистемами осуществлялось операторами с помощью кнопок включения/выключения исполнительных механизмов. Возможность оперативного контроля подсистем телескопа отсутствовала.

Перед авторами данной работы стояла задача обеспечить автоматизированное управление астрофизическими наблюдениями Солнца; получение и фиксацию результатов исследований (с высоким разрешением и за ограниченное время); коллективное использование, в том числе с управлением через сеть Интернет; улучшение качества наблюдений и упрощение процесса эксплуатации телескопа.

Объект автоматизации. Большой солнечный вакуумный телескоп, схема которого приведена на рис. 1, входит в ряд крупных солнечных телескопов [2–4] и обеспечивает пространственное разрешение $0,2''$. Он имеет ориентированную по полярной оси вакуумную трубу, в которую свет от Солнца попадает, отражаясь от плоского зеркала сидеростата диаметром 1 м, через верхний иллюминатор и объектив диаметром 760 мм с фокусным расстоянием 40 м. Монтровка зеркала поддерживается вертикальной колонной высотой 25 м. Зеркало сидеростата вращается вокруг полярной оси со скоростью $15''/с$ для компенсации земного вращения.

Участок изображения Солнца диаметром 100 мм отражается от диагонального зеркала и через боковой иллюминатор вакуумной трубы попадает на щель и щётки спектрографа, которые находятся в фокусе объектива. Отражённое от щёчек сфокусированное изображение попадает на поляризационный фильтр и далее на видеокамеру визуализации исследуемой области. Оставшаяся после вырезки диагональным зеркалом часть изображения Солнца проходит через нижний иллюминатор вакуумной трубы и фокусируется на

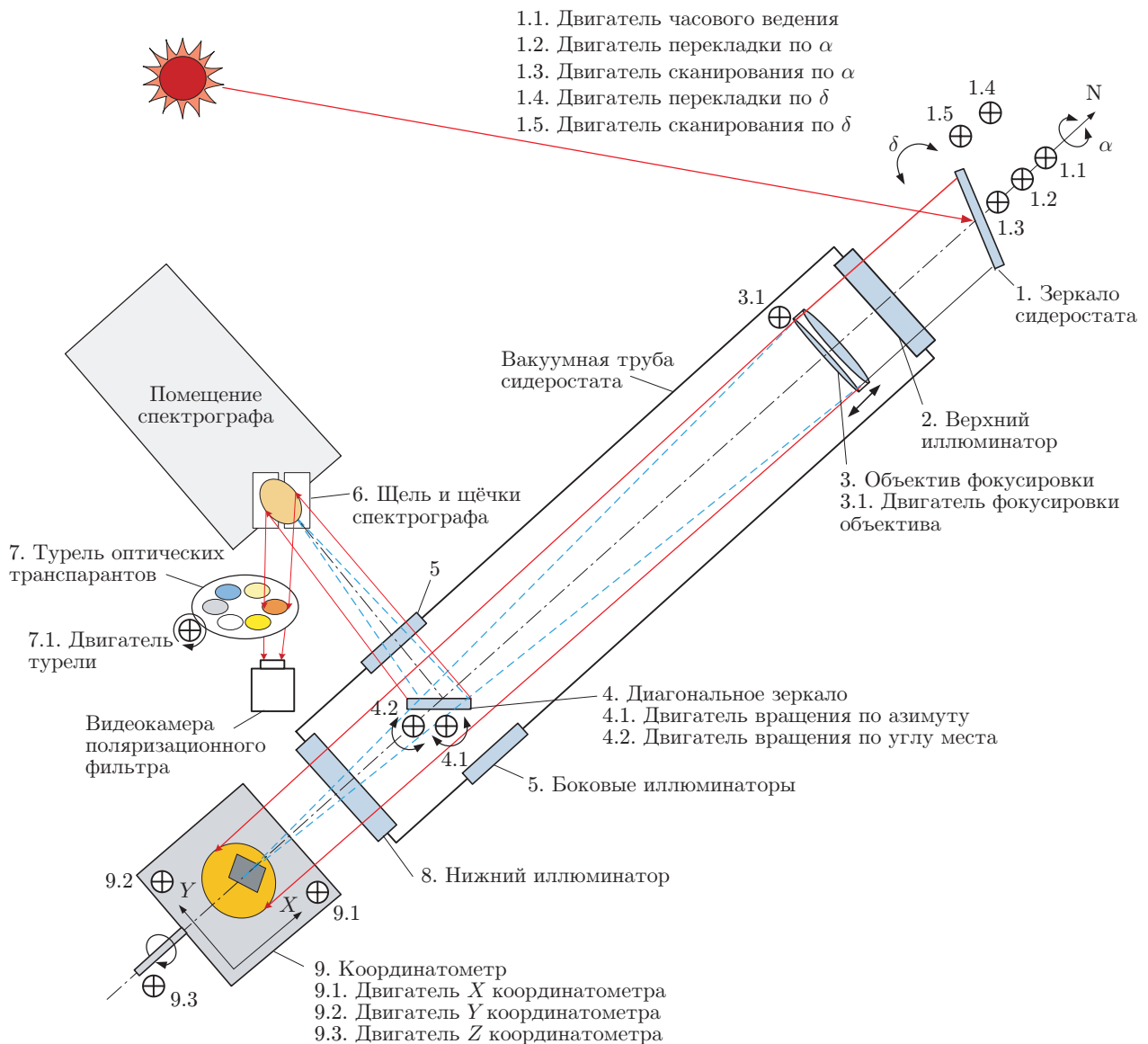


Рис. 1. Схема оптических устройств БСВТ и управляющих ими двигателей АСУ

палетке координатометра, плоскость которой нормально ориентирована к плоскости земного меридиана и юстирована с оптической осью телескопа. Это изображение диаметром 38 см применяется для работы подсистемы гидрирования.

Свет, прошедший через щель спектрографа, используется для получения спектров, регистрируемых на ПЗС-камерах. Данные об экспериментально полученных спектрах сохраняются в компьютерных архивах АСУ.

Структурные особенности АСУ БСВТ. На архитектуру АСУ БСВТ повлияли следующие особенности автоматизируемого объекта:

— большое количество подсистем, обеспечивающих процесс наблюдения Солнца (сидеростата, фокусировки объектива, диагонального зеркала, координатометра, гидрирования) и выполняющих вспомогательные операции (вакуумирования, разгрузки зеркала сидеростата, термокомпенсации верхнего иллюминатора);

— значительные размеры телескопа и большие расстояния между его подсистемами;

— группировка подсистем в нескольких разнесённых друг от друга местах;

— необходимость контроля состояния подсистем и управления ими как с компьютера оператора, так и с помощью переносного пульта управления (ППУ).

В результате анализа существующих систем автоматизации телескопов [5, 6] и с учётом опыта разработки систем управления телескопами АСТ [7] и СТОП [8] для АСУ БСВТ [9] была выбрана двухуровневая архитектура с топологией связей в виде двух звёзд (Ethernet-коммутаторы на рис. 2), соединённых друг с другом каналом GBE.

В состав верхнего уровня АСУ БСВТ входят:

— персональный компьютер оператора, предназначенный для выполнения экспериментов по наблюдению Солнца, контроля и управления подсистемами телескопа, визуализации значений цифровых и аналоговых сигналов и изображений видеокамер;

— компьютер подсистемы SABRE [10], обеспечивающий регистрацию и хранение спектров;

— переносной пульт управления, предназначенный для удалённого управления подсистемами телескопа оператором.

Компьютеры оператора и подсистемы SABRE присоединены к коммутатору шкафа оператора, ППУ — к сети Wi-Fi стандарта 802.11n, покрытие которой охватывает весь телескоп.

Нижний уровень АСУ БСВТ составляют расположенные в шкафах контроллеры и подключённые к ним контрольные и исполнительные механизмы телескопа, а также измерительные и наблюдательные видеокамеры.

Контроллеры и видеокамеры АСУ объединены Ethernet-коммутаторами в две территориально удалённые друг от друга группы, соединённые каналом GBE. Первая расположена на площадке сидеростата, вторая — на площадках оператора и координатометра.

Подсистемы АСУ БСВТ.

1. Подсистема сидеростата, обеспечивающая наведение и удержание заданного участка изображения Солнца на регистрирующих инструментах телескопа с помощью двигателей перекладки и сканирования по осям α и δ , а также двигателя часового ведения. Подсистема формирует изображение Солнца с использованием одного зеркала, при этом получаемое изображение вращается относительно оптической оси телескопа.

2. Подсистема фокусировки, перемещающая объектив вдоль оптической оси телескопа.

3. Подсистема управления диагональным зеркалом, направляющим изображение Солнца через боковые окна вакуумной трубы на входную щель спектрографа либо в оптическую лабораторию.

4. Подсистема координатометра, используемая для наведения и удержания изображения Солнца на оптических приборах телескопа. Палетка координатометра перемещается двигателями X и Y по взаимно перпендикулярным осям. Из-за вращения изображения

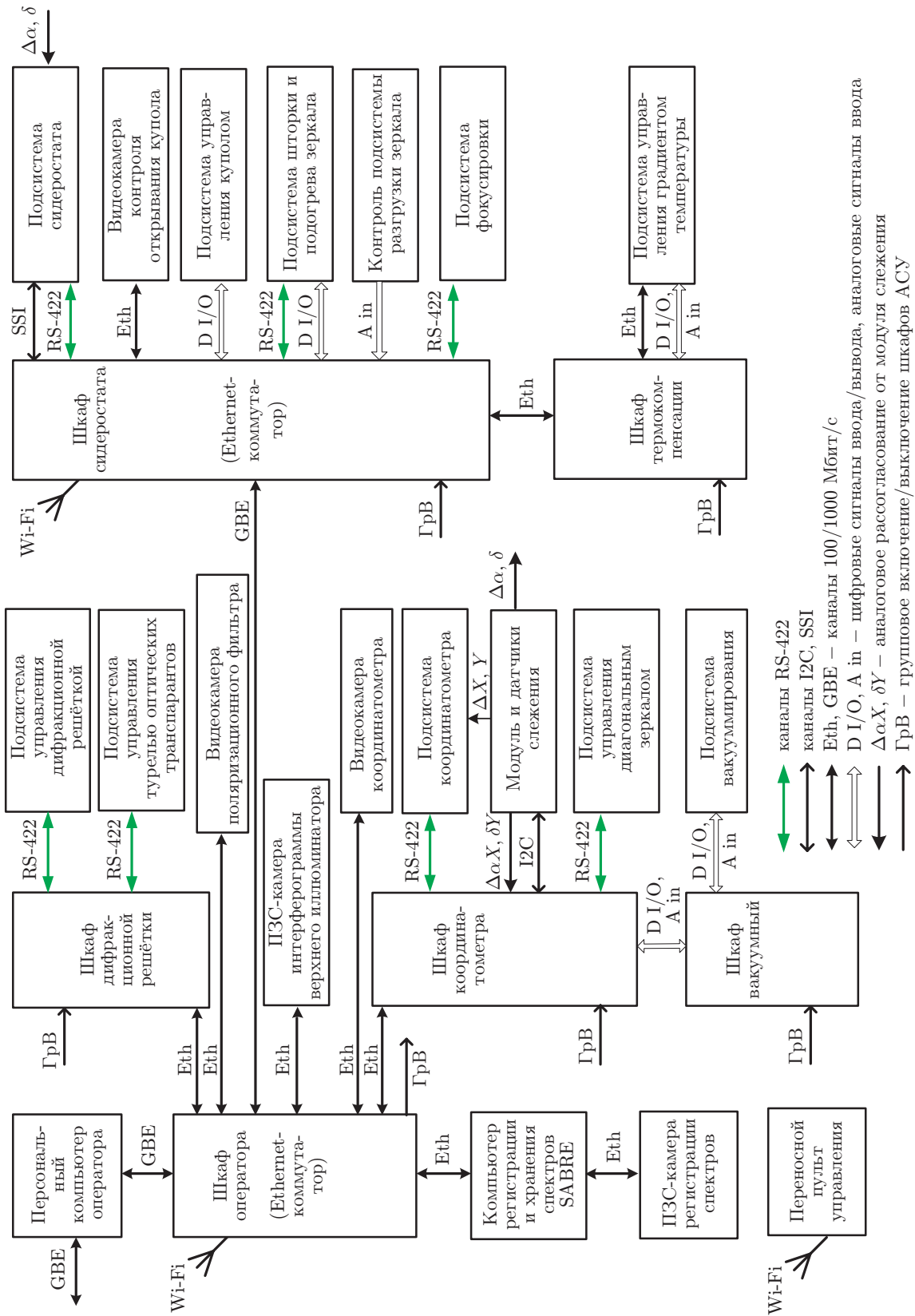


Рис. 2. Архитектура АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа

Солнца его участки на координатометре вне центральной точки во время наблюдения будут смещаться. Станина координатометра вращается двигателем часового ведения Z синхронно с сидеростатом относительно оси, совпадающей с оптической осью телескопа. Точка изображения наблюдаемого участка Солнца помещается в центр вращения координатометра. В данном случае сканирование локальной области изображения вблизи этой точки в направлениях X и Y декартовой системы координат, вращающейся вместе с координатометром, будет осуществляться в фиксированных направлениях относительно исследуемого фрагмента изображения Солнца. Такой процесс предложен и реализован в АСУ БСВТ, в результате стало возможным получать серии спектрограмм для заданной области изображения Солнца в течение продолжительного времени.

5. Подсистема гидирования в совокупности с сидеростатом и координатометром обеспечивает возможность наведения и удержания изображения Солнца на щели спектрографа. В её состав входит модуль слежения (разработан в Институте автоматики и электрометрии (ИАиЭ СО РАН)), преобразующий сигналы фотодатчиков, расположенных на палетке координатометра, в сигналы рассогласования, используемые для управления двигателями сидеростата или координатометра. Пара датчиков вдоль оси X формирует сигналы для двигателей X и α , пара вдоль оси Y — для двигателей Y и δ . В связи с этим в режиме гидирования ось Y координатометра должна соответствовать оси δ сидеростата, для чего выполняется калибровка положения координатометра. Изображение Солнца наводится на палетку, контроллеры двигателей координатометра переводятся в режим гидирования. Фиксируются начальные значения координат x и y . Изображение перемещается по оси δ двигателями сканирования сидеростата. Если координата x точки изображения изменяется, то по смещению X определяется угол, на который поворачивается координатометр.

После калибровки координатометра изображение Солнца наводится на палетку, и контроллер двигателей сканирования сидеростата переводится в режим гидирования, теперь при перемещении палетки координатометра изображение следует за ней. Благодаря этому становится возможным наведение телескопа по координатам и удержание на щели любого участка изображения Солнца в течение всего времени наблюдения. Для контроля положения координатометра, палетки и изображения Солнца используется видеокамера.

6. Подсистема управления дифракционной решёткой, применяемая для установки нужного участка спектра на фотоприёмнике.

7. Подсистема управления турелью оптических транспарантов, предназначенная для автоматического ввода калибровочных пластинок и фильтров в оптический тракт наблюдения изображения, отражённого от щёчек щели спектрографа.

8. Подсистема управления градиентом температуры верхнего иллюминатора, поддерживающая заданную разность температур между центром и краем защитной стеклянной пластины верхнего иллюминатора вакуумной трубы телескопа.

9. Подсистема разгрузки зеркала сидеростата, обеспечивающая устранение деформации зеркала от собственного веса из-за изменения ориентации зеркала в пространстве.

10. Подсистема, предназначенная для создания в трубе телескопа вакуума, равного 20 ± 10 мм рт. ст.

11. Подсистема управления куполом, позволяющая открывать и закрывать забрало купола в автоматическом и ручном режимах.

Устройства нижнего уровня АСУ БСВТ. В составе АСУ используются контроллеры ОРМА16, разработанные в ИАиЭ СО РАН в соответствии с Open Platform Management Architecture [11], контроллеры МОХА серий ioLogik E1200-T и NPortIA 5450AI-T.

Контроллеры ОРМА16 применяются в тех случаях, когда требуется не только получить или передать данные, но и выполнить специализированный протокол или алгоритм управления, например протокол SSI для подключения энкодеров α и δ абсолютного положения зеркала сидеростата или протокол I2C для взаимодействия с модулем слежения.

Блок-схема контроллера OPMA16 показана на рис. 3. В контроллере используется микропроцессор Sitara AM3358 фирмы "Texas Instruments".

Аппаратные ресурсы контроллера: ядро — Cortex A8, 720 МГц (до 1 ГГц); PRUss — 2 ядра, 200 МГц; DRAM — 256 Мбайт; Flash NAND SSD — 512 Мбайт; сеть — Ethernet 10/100; UART — 6; I2C — 3; GPIO — 46; USB 2.0 — 2OTG; аналоговые входы — 8.

Контроллер работает под управлением оперативной системы Linux 3.2.0-psp 4.6.11, файловая система — UBIFS, обмен с сетью осуществляется по протоколу IPMI2.0/RMCP+ [12] с аутентификацией RAKP-НМАС-SHA1 и шифрованием AES-CBC-128. Регистратор событий SEL позволяет анализировать причины возникающих нештатных ситуаций.

Доступ к среде IPMI контроллера возможен как с применением локального терминала, так и удалённо — через соединение Serial Over LAN (SOL), независимое от основного управляющего потока сообщений (традиционные средства Linux обмена с сетью для обеспечения безопасности отключены).

Контроллеры MOXA серии ioLogik E1200-T предназначены для ввода/вывода цифровых и аналоговых сигналов, используемых для контроля и управления устройствами АСУ. Они подключены к сети Ethernet по протоколу Modbus/TCP.

Контроллеры MOXA NPortIA 5450AI-T поддерживают работу каналов RS-422 для управления шаговыми двигателями MDrive-17, MDrive-23, MDrive-34 Plus. Эти двигатели имеют встроенный контроллер, который обеспечивает их вращение с заданной скоростью или перемещение в указанную координату, позволяет управлять двигателем при срабатывании концевых выключателей, выполнять предварительно загруженную пользовательскую программу. Например, такая программа изменяет скорость и направление вращения двигателей сканирования α и δ зеркала сидеростата и двигателей перемещения X и Y координатометра в зависимости от величины и знака входного аналогового сигнала.

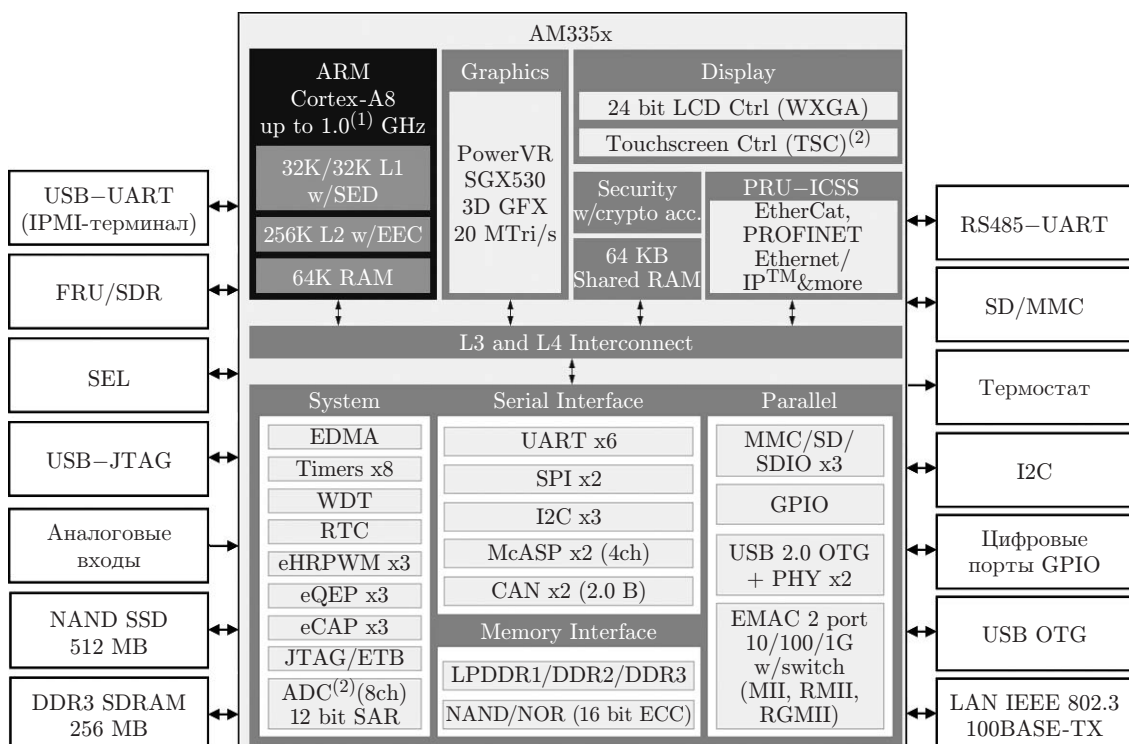


Рис. 3. Контроллер OPMA16

Для автоматического наведения телескопа на Солнце на осях α и δ зеркала сидеростата установлены абсолютные оптические энкодеры G2M2H-SSI, обеспечивающие 8192 отсчёта на оборот, что эквивалентно угловому разрешению $2,64'$.

Особенности реализации АСУ БСВТ. При создании АСУ БСВТ был решён ряд задач, позволяющих существенно улучшить качество наблюдений и облегчить процесс эксплуатации телескопа.

1. Разработан и реализован алгоритм автоматического наведения телескопа на Солнце, предназначенный для установки центра изображения Солнца на щель спектрографа, при этом после наведения редукторы двигателей сканирования сидеростата по α и δ должны быть в среднем положении диапазонов, а оси X и Y координатометра соответствовать осям α и δ сидеростата. До начала автоматического наблюдения телескоп юстируется так, чтобы точка изображения Солнца, попадающая в центр щели спектрографа, совпадала с осью вращения координатометра.

Редукторы сканирования по α и δ имеют ограниченный ход, поэтому при наведении телескопа с помощью координатометра может возникнуть ситуация, когда будет использован весь диапазон редукторов и наблюдение участка Солнца вне диапазона станет невозможным. Чтобы избежать этого, АСУ устанавливает в центральное положение палетку координатометра и редукторы сканирования сидеростата. По эфемеридам рассчитывается значение позиции энкодеров координатометра и сидеростата для текущих значений времени и даты. Время определяет положение координатометра по оси X и зеркала сидеростата по α , а дата — положение зеркала по δ . Когда целевые значения энкодеров вычислены, включается быстрая установка сидеростата (двигателями переключки) и координатометра в расчётные положения. Окончанием установки сидеростата считается появление изображения Солнца на датчиках системы гидирования.

Для установки координатометра в положение, соответствующее текущей дате, включается режим гидирования, при котором палетка следует за изображением Солнца. В этом режиме двигатели X и Y получают от датчиков модуля слежения аналоговые сигналы рассогласования, которые устанавливают центр изображения Солнца в центр палетки. Изменяя положение зеркала по оси δ , по смещению палетки можно определить угол, на который необходимо повернуть координатометр для совмещения осей Y и δ , затем режим гидирования в контроллерах двигателей координатометра отключается.

После корректировки угла поворота координатометра положение палетки отличается от среднего, при этом центр изображения Солнца совпадает с центром палетки, а оси координатометра X, Y соответствуют осям сидеростата α, δ . Чтобы вернуть палетку вместе с изображением Солнца в центр вращения координатометра, контроллеры двигателей сканирования сидеростата переводятся в режим гидирования. Затем двигателями X и Y осуществляется перемещение палетки в центр вращения координатометра. После окончания перемещения изображения Солнца относительно фотодатчиков модуля слежения автоматическое наведение телескопа на центр изображения Солнца завершено.

2. Для улучшения оптических характеристик телескопа разработаны и реализованы алгоритм и аппаратура управления градиентом температуры, которые обеспечивают поддержание заданной разности температур между центром и краем защитной стеклянной пластины верхнего иллиuminатора вакуумной трубы телескопа. Градиент измеряется с помощью термопар и поддерживается изменением температуры тосола в теплообменнике, заложенном в оправу края оптической пластины иллиuminатора. В зависимости от знака градиента теплоноситель либо охлаждает, либо подогревает оправу. Оператор имеет возможность вносить поправку в градиент температуры на основании визуального наблюдения интерферограммы верхнего иллиuminатора. Для её получения используется лазер, установленный в помещении координатометра, который направляет световой пучок снизу вверх внутри вакуумной трубы. Луч проходит через нижний иллиuminатор, линзы

объектива телескопа, отражается от поверхностей верхнего иллиминатора, представляющего собой оптический клин, вновь проходит линзы объектива, нижний иллиминатор и формирует изображение интерференционных полос на уровне «зрочка» лазера. Интерферограмма регистрируется видеокамерой и доступна для наблюдения на персональном компьютере оператора или ППУ.

При создании алгоритма работы подсистемы термокомпенсации проведено моделирование процесса теплопереноса в верхнем иллиминаторе. Было принято, что он имеет вид цилиндра с диаметром D и высотой H . Так как в осевом центральном сечении это прямоугольник, то его модель была представлена прямоугольной стеклянной пластиной. На рис. 4 показано расчётное температурное поле в сечении иллиминатора через указанные интервалы времени, начиная от момента включения нагревателя. Синий цвет соответствует температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, красный — $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Распределение температуры рассчитано при следующих условиях. Начальная температура пластины равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В момент времени $t = 0$ на границе слева и справа прикладывается тепловой поток величиной 2000 Вт/м^2 . Нижняя плоскость иллиминатора (является адиабатической) граничит с вакуумом, а верхняя контактирует с внешней средой с температурой $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, приведённая степень черноты на границе составляет $0,8$, коэффициент теплообмена на границе равен $50\text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Моделирование показывает, что тепловые потоки, приложенные слева и справа, воздействуют только на периферийную область пластины, а температура центральной области пластины практически от них не зависит. Поведение модели совпадает с результатами физического эксперимента [13]. Моделирование позволило провести отладку подсистемы термокомпенсации в лабораторных условиях.

Аппаратура для точного измерения градиента температуры создана на основе модуля MOXA ioLogik E1262. Для обеспечения необходимой точности разработан дополнительный измерительный усилитель и использовано дифференциальное подключение термопар, установленных в центре стекла и на его оправе. Такое решение позволило исключить необходимость калибровки термопар и учёта их нелинейности. Для термопар Т-типа (медь-константан) абсолютная погрешность измерения не превышает $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при коэффициенте усиления 200.

3. Разработан и введён в эксплуатацию алгоритм вакуумирования трубы телескопа. Вакуум создаётся поршневым насосом с водяным охлаждением, для которого необходимо обеспечить плавный запуск, водяное нагревание/охлаждение, защиту от попадания масляных паров в объём вакуумной трубы, например, при возможных сбоях электропитания.

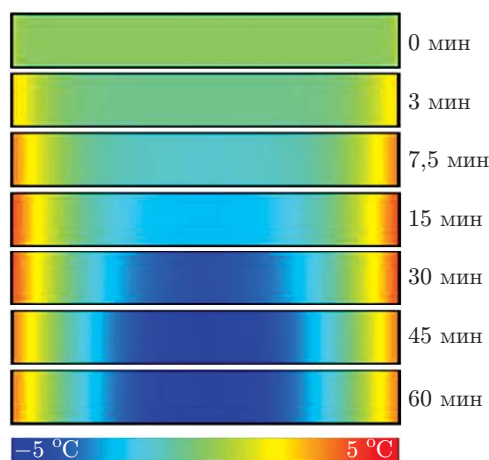


Рис. 4. Расчётное распределение температуры в сечении иллиминатора

Для этого «чистый» объём трубы телескопа отделяется механическим затвором, который при аварии закрывается автоматически.

При создании алгоритма управления вакуумной подсистемой особое внимание было уделено не только логике её работы, но и предварительной отладке. Тестирование управляющих алгоритмов в большинстве случаев начинается только во время пусконаладочных работ. Такая практика чревата возникновением нештатных ситуаций или даже аварий, поэтому была использована концепция виртуальных объектов управления — программных имитаторов технических процессов [14]. С помощью виртуальных объектов алгоритмы управления вакуумной подсистемой создавались в лабораторных условиях в итерационном режиме. Была проверена реакция АСУ на следующие ситуации: самопроизвольное открытие вакуумного затвора; потеря связи с контроллерами вакуумной подсистемы; невыполнение оборудованием команд оператора; самопроизвольное включение/выключение оборудования; отсутствие показаний датчика температуры или недопустимая температура воды в баке охлаждения и др. Это позволило минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций и существенно упростило запуск подсистемы вакуумирования в эксплуатацию.

Заключение. В результате проведённых исследований создана АСУ и осуществлена экспериментальная проверка работы телескопа. Показано, что оборудование АСУ обеспечивает эксплуатацию БСВТ при относительной влажности окружающего воздуха 40–80 % и температуре от -30 до $+30$ °С. Погрешность позиционирования зеркала сидеростата по азимуту и углу места с использованием подсистемы гидрирования составляет $0,5''$. Максимальная угловая скорость сканирования зеркалом сидеростата по осям α и δ $64''/с$, максимальная линейная скорость перемещения палетки координатометра по осям X и Y $12,66$ мм/с, что эквивалентно угловой скорости $64''/с$ на диске Солнца. Время сканирования зеркалом сидеростата диаметра Солнца равно времени перемещения палетки координатометра на величину диаметра его изображения и составляет 30 с. Максимальная скорость перекладки зеркала сидеростата по α и δ $20'/с$. Частота передачи видеок кадров по сети Ethernet равна 25 кадр/с с максимальным разрешением 1920×1080 пикселей.

Автоматизированная система управления БСВТ обеспечивает автоматическое наведение телескопа на Солнце, наведение по инструментальным и гелиографическим координатам на выбранный участок изображения солнечного диска и удержание его в центре входной щели спектрографа, сканирование области изображения с регистрацией спектров излучения. Благодаря этому достигнуто увеличение времени, используемого непосредственно для проведения наблюдательного эксперимента; появилась возможность решения новых задач, в которых требуется получать длительные серии спектрограмм для заданной области изображения Солнца. Автоматизированная система управления создала условия для работы вспомогательных подсистем телескопа: вакуумирования, управления градиентом температуры верхнего иллюминатора, разгрузки зеркала сидеростата, управления куполом.

Решения, заложенные в архитектуру и программное обеспечение АСУ, создают условия для автоматизированной работы телескопа, в том числе с управлением через сеть Интернет, и при её дальнейшем развитии смогут обеспечить эксплуатацию БСВТ в режиме коллективного использования и дистанционного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Степанов В. Е., Банин В. Г., Круглов В. И. и др.** Экспериментальный макет Большого солнечного вакуумного телескопа (ЭМ БСВТ) СибИЗМИР // Новая техника в астрономии. Л.: Наука, 1979. С. 42–51.
2. **GREGOR.** A New Telescope for Solar Physics. URL: <http://www.aip.de/groups/gregor/> (дата обращения: 6.02.2014).

3. **Vacuum** Tower Telescope. URL: <http://www.kis.uni-freiburg.de/index.php?id=575&L=1&cHash=6a51be4e8697858c4950e30efa7f7ad8> (дата обращения: 6.02.2014).
4. **Башенный** солнечный телескоп (БСТ-1). URL: <http://www.crao.crimea.ua/ru/instrumenty/164-bashennyj-solnechnyj-teleskop-1-bst-1> (дата обращения: 04.02.2016).
5. **Телескопы** САО РАН 2006–2010. URL: <http://www.sao.ru/hq/zhe/II-Telescopes.pdf> (дата обращения: 26.11.2013).
6. **Gajadhar S., Burdullis T., Cruise W., Vermeulen T.** Application of systems engineering concepts in the Canada — France — Hawaii Telescope Observatory automation project // Proc. SPIE. 2010. **7738**. 773816.
7. **Зотов А. А., Котов В. Н., Лубков А. А., Лылов С. А.** Автоматическое управление солнечным телескопом // Датчики и системы. 2008. № 10. С. 8–12.
8. **Пещеров В. С., Григорьев В. М., Свидский П. М. и др.** Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения // Автометрия. 2013. **49**, № 6. С. 62–69.
9. **Коваadlo П. Г., Лубков А. А., Бевзов А. Н. и др.** Проект автоматизированной системы управления БСВТ // Тр. Всеросс. конф. по солнечно-земной физике, посвящённой 100-летию со дня рождения чл.-корр. РАН В. Е. Степанова. Иркутск, 16–21 сентября 2013. С. 260–263.
10. **Томин В. Е., Колобов Д. Ю.** SABRE — среда для получения, просмотра и обработки спектров // Тр. Междунар. Байкальской молодёжной науч. шк. по фундаментальной физике; XII конф. молодых учёных «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 19–24 сентября 2011. С. 111–113.
11. **Open** Platform Management Architecture Specification // Advanced Micro Devices. URL: <http://developer.amd.com/wordpress/media/2012/10/32200.pdf> (дата обращения: 28.08.2015).
12. **Intelligent** Platform Management Interface // Intel Corp. URL: <http://www.intel.com/content/www/us/en/servers/ipmi/ipmi-intelligent-platform-mgt-interface-spec-2nd-gen-v2-0-spec-update.html> (дата обращения: 04.02.2016).
13. **Скоморовский В. И., Губин А. В., Коваadlo П. Г.** Исследование влияния температурных режимов оптики БСВТ на волновой фронт // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике солнца. 1989. № 87. С. 206–214.
14. **Зюбин В. Е.** Итерационная разработка управляющих алгоритмов на основе имитационного моделирования объекта управления // Автоматизация в промышленности. 2010. № 11. С. 43–48.

Поступила в редакцию 6 апреля 2015 г.
