

УДК 520.2.02/62-531.4

Новая система управления ЗТШ. Управление электромеханизмами купола

В.Г. Шитов, Н.Ф. Панков, А.В. Беляев

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
vgshytov@gmail.com

Поступила в редакцию 19 декабря 2011 г.

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания автоматизированных систем управления телескопами на примере ЗТШ. Представлен комплекс аппаратных и программных средств новой системы управления электромеханизмами купола, как подсистемы разрабатываемого автоматизированного комплекса управления ЗТШ. Сформулированы основные требования к разработанной системе и представлены наиболее важные результаты ее работы. Полугодовая безаварийная эксплуатация продемонстрировала надежность и эффективность разработанной системы.

THE NEW CONTROL SYSTEM OF ZTSH. CONTROL OF THE DOME ELECTRIC MECHANISMS, *by V.G. Shytov, N.F. Pankov, A.V. Belyaev.* Issues about creation of automated control systems for telescopes were considered through the example of ZTSH. The set of hardware and software staff for the new control system by electric mechanisms of the dome were presented as a subsystem of the automated control of ZTSH that is being developed. The basic requirements for the developed system were formulated and the most important results of its work were presented. The half-year failure-free operation demonstrated the reliability and efficiency of the developed system.

Ключевые слова: ЗТШ, телескоп, купол, цифровая система управления

1 Введение

Зеркальный телескоп имени академика Г.А. Шайна (ЗТШ) — крупнейший оптический телескоп в Украине (диаметр главного зеркала 2.6 метра) — был построен Ленинградским оптикомеханическим объединением в 1960 году (Иоаннисиани и др., 1976). ЗТШ — это универсальный инструмент для самых различных астрофизических исследований. За полувековой срок службы на ЗТШ был получен целый ряд первоклассных научных результатов. Универсальность ЗТШ определяется несколькими возможными вариантами оптических фокусов, в которых устанавливаются разные регистрирующие и анализирующие приборы.

Созданный в середине XX века, ЗТШ был третьим телескопом в мире по размеру главного зеркала и в техническом отношении инструментом на уровне своего времени. За прошедшие десятилетия силами обсерватории существенно обновлен парк регистрирующих и анализирующих приборов, установленных на телескопе. Система управления движением телескопа ЗТШ создана на основе электромеханических и электровакуумных компонентов более пятидесяти лет назад. Вследствие физического и морального старения эта система требует замены. При этом главной целью является

повышение эффективности работы телескопа и улучшение условий работы наблюдателей. Новая система управления, представляющая собой комплекс технических, программных и других средств, предназначена для автоматизации наблюдений на телескопе ЗТШ. При создании новой автоматизированной системы управления использован накопленный на сегодняшний день опыт автоматизации больших телескопов и промышленных технологических процессов. Это касается только самых общих принципов управления, так как каждый большой телескоп является уникальным объектом со своими особенностями.

Современные аппаратные и программные средства автоматизации технологических процессов предоставляют чрезвычайно широкие возможности для создания системы управления. Они включают в себя устройства и программные продукты, выпускаемые ведущими мировыми фирмами. Это компоненты для информационно-измерительной части системы — измерительные преобразователи (датчики) различных физических величин, модули сбора и передачи аналоговых и дискретных сигналов, программируемые логические контроллеры, промышленные компьютеры, терминалы и многое другое. Это компоненты исполнительных устройств силовой части системы — интеллектуальные инверторы для асинхронных электродвигателей с широким спектром выходных мощностей, экономичные электродвигатели, комплектные шаговые приводы, защитная и контактная аппаратура и прочее.

Для надежной и безаварийной работы телескопа системное, прикладное и инструментальное программное обеспечение должно обладать функциональными, скоростными и отказоустойчивыми характеристиками.

Все вышеперечисленное предназначено для повышения эффективности работы телескопа и улучшения условий работы наблюдателей. Кроме того, реализация новой системы управления дает увеличение точности наведения и ведения телескопа, сокращение времени смены наблюдаемых объектов, возможность сопровождения объектов с произвольными законами движения, повышение надежности работы, значительное сокращение энергопотребления и многое другое.

2 Автоматизированная система управления

Управление любым процессом предполагает необходимость принятия решений. Системы управления, в которых человек не участвует в процессе принятия решения, называют системами автоматического управления (САУ). Если человек участвует в процессе принятия решения по управлению, то такую систему называют автоматизированной системой управления (АСУ). В зависимости от степени автоматизации различают ручное, автоматизированное и автоматическое управление. Соответственно принято различать автоматизированные и автоматические системы управления. Автоматическое управление и автоматизированное управление преследуют разные цели. Применение автоматического управления нацелено на выполнение рутинной работы такими средствами, которые приводили бы к сокращению персонала. При автоматизированном управлении не происходит сокращения персонала, более того, появляются затраты, связанные с приобретением вычислительной техники и иного дорогостоящего оборудования. АСУ предназначена выполнить новую работу, которую без нее сделать невозможно, ее экономическая целесообразность определяется другими показателями (энергоемкость, скорость принятия решений, повышение точности системы и т. п.). АСУ должна помочь принять обоснованное решение и свести к минимуму опасность ошибочных действий персонала.

АСУ подразделяются на подсистемы (уровни), являющиеся элементами автоматизированной системы управления, выделенные по определенному функциональному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам управления. Подсистемы АСУ могут рассматриваться как самостоятельные (одноуровневые) системы. В настоящее время большинство систем так или иначе выполняются как многоуровневые системы, чаще — двухуровневые (рис. 1).

Все программируемые логические контроллеры (ПЛК) и автоматизированные рабочие места (АРМ) объединены промышленной информационной сетью, обеспечивающей непрерывный обмен данными. Такая структура позволяет распределить задачи между узлами системы, повысив надежность ее функционирования.

Основными функциями верхнего уровня является: визуализация состояния процесса управления; текущая регистрация характеристик процесса; оперативный анализ состояния оборудования и процесса; регистрация действий оператора; архивация и длительное хранение значений протоколов процесса; реализация алгоритмов “советчика”; супервизорное (многопрограммное) управление.

Таким образом, верхний уровень реализует решение стратегических вопросов функционирования, а нижний – алгоритмы управления оборудованием. Например, решение включить или выключить некий электродвигатель принимается на верхнем уровне, а подача всех необходимых управляющих сигналов выполняется на нижнем уровне.

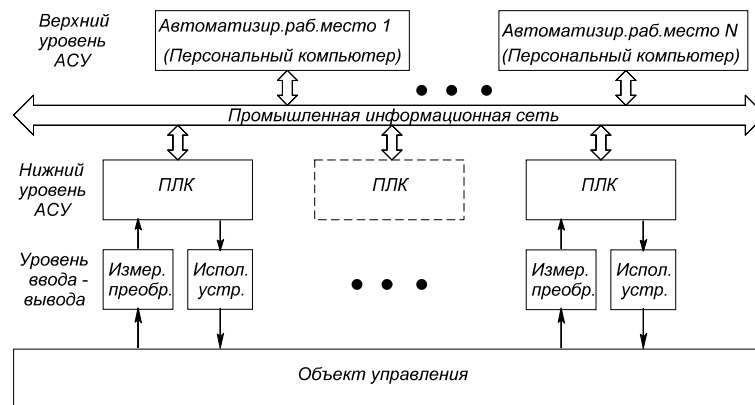


Рис. 1. Двухуровневая АСУ

Иерархическая структура АСУ подразумевает, что поток команд направлен от верхнего уровня к нижнему, который отвечает верхнему уровню по его запросам. Это обеспечивает предсказуемое поведение ПЛК при выходе из строя верхнего уровня или промышленной сети, поскольку такие неисправности воспринимаются нижним уровнем как отсутствие новых команд и запросов. При конфигурации ПЛК устанавливается время (тайм-аут), по истечении которого ПЛК переходит в режим аварии, при отсутствии запроса от верхнего уровня.

К основным функциям ПЛК относятся: прием дискретных сигналов от преобразователей; обработка принятых данных по программе функционирования; передача управляющих сигналов на исполнительные устройства; защита от потери работоспособности из-за зависания процессора; сохранение работоспособности при отключении электропитания или безаварийное завершение работы; контроль работоспособности датчиков и достоверности измеренных величин; индикация текущих и интегральных значений измеряемых величин; возможность конфигурирования через компьютер.

Измерительные преобразователи предназначены для преобразования значений измеряемой величины в аналоговый, цифровой или импульсный сигнал. Исполнительные устройства предназначены для преобразования управляющих сигналов в механическое перемещение исполнительных механизмов, электронное управление током в силовых цепях, открывание/закрывание клапанов и т. д. Устройство согласования предназначено для гальванической или другого вида развязки между ПЛК и преобразователями и/или исполнительными устройствами. Кроме того, оно выполняет согласование допустимых значений входных/выходных сигналов ПЛК с выходными/входными сигналами измерительных преобразователей и исполнительных устройств.

В соответствии с вышесказанным и предложена структура новой автоматизированной системы управления телескопом ЗТШ. Она содержит большое число взаимосвязанных элементов, которые условно могут быть объединены в следующие одноуровневые подсистемы (рис. 2): управления рефлексором, управления положением диагонального зеркала, управления электромеханизмами купола, фокусировки, фотогидирования.

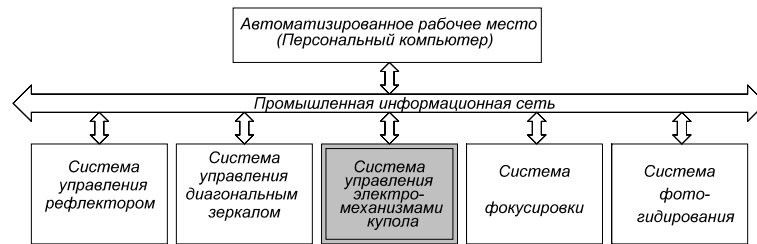


Рис. 2. Автоматизированная система управления телескопом ЗТШ

3 Система управления электромеханизмами купола

К настоящему времени разработана, изготовлена и внедрена система управления электромеханизмами купола (СУЭК), описанию которой и посвящена статья. Система предназначена для управления положением купола по произвольному закону в режиме регламентных работ, а также для управления положениями забрала и створок (закрыто, приоткрыто, открыто). В режиме синхронизации система ориентирует центр щели купола в направлении оптической оси трубы телескопа, при этом она превращается в систему автоматического управления.

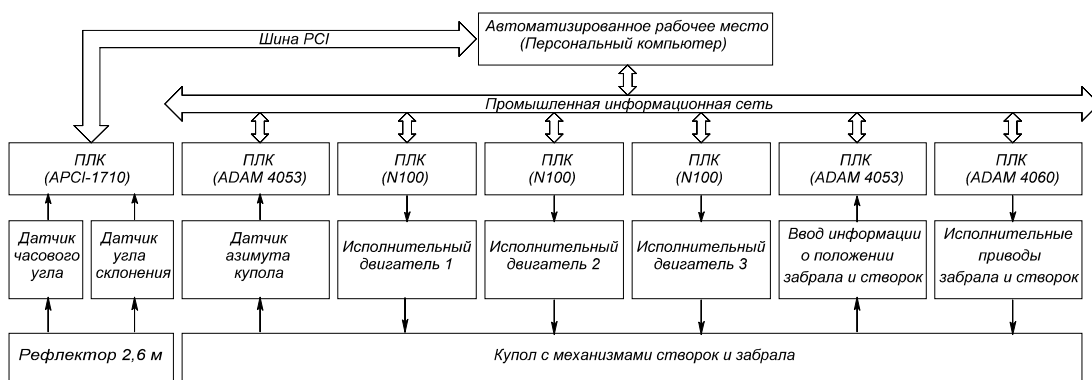


Рис. 3. Автоматизированная система управления электромеханизмами купола

Структурная схема АСУ электромеханизмами купола приведена на рис. 3. С точки зрения теории автоматического регулирования в этой структуре можно выделить три основных контура управления. Эти контуры образуются программным путем. АСУ положением купола при полуавтоматическом управлении образует первый контур управления (рис. 4а). Оператор получает информацию о положении объекта управления (купола) с помощью датчика азимута купола, сигнал которого с помощью компьютера преобразуется в доступную для восприятия оператором форму. На основании этой информации оператор принимает решение и вводит в компьютер данные желаемого азимута купола. Таким образом, замыкание контура системы управления осуществляется через оператора, что и является характерной особенностью полуавтоматического управления. В режиме синхронизации купола с рефлектором используется информация с датчиков углового положения осей рефлектора. В этом случае образуется второй контур управления, представляющий собой уже САУ (рис. 4б). Управление забралом и створками составляют третий контур (рис. 4в). Он может рассматриваться как многоканальный, состоящий из контура управления забралом и контуров управления створками.

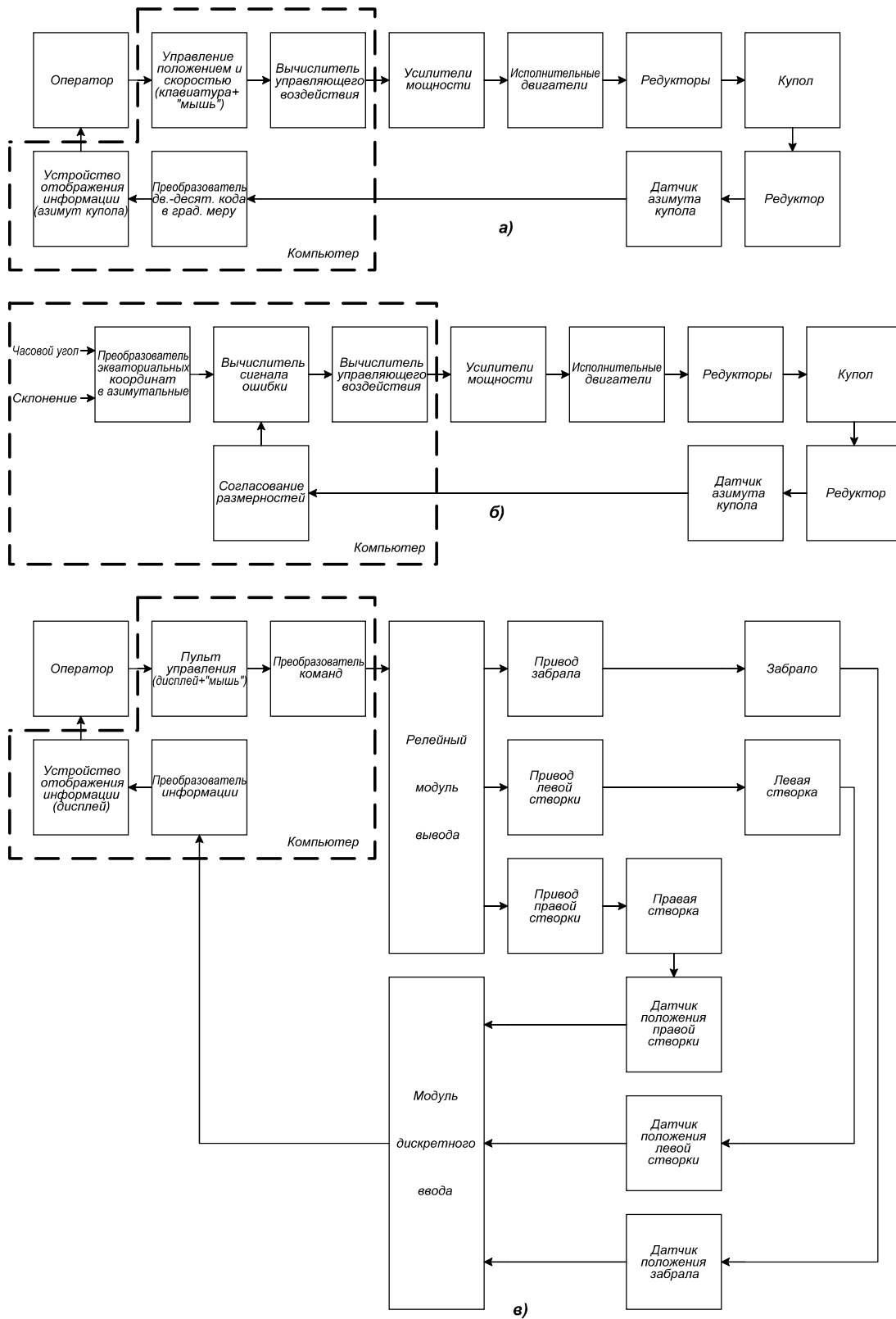


Рис. 4. Контурь управления: а) — полуавтоматического, б) — синхронизации, в) — забралом и створками

4 Элементы системы управления электромеханизмами купола

Положение рефлектора измеряется с помощью датчиков часового угла и угла склонения. Поскольку рефлектор не имеет как таковых осей часового угла и склонения, многооборотные абсолютные датчики установлены на осях червяков механизмов главного привода (коэффициент редукции 720). Приведенный к оси рефлектора дискрет датчика составляет $0.22''$ (точность старой системы управления в лучшем случае составляет $10''$). В качестве датчиков использованы поворотные шифраторы AVM58 (Жданкин, 2004; Pepperl+Fuchs GmbH. Абсолютные шифраторы с интерфейсом SSI), работающие совместно с многофункциональной платой APC1-1710 (ADDI-DATA GmbH. Multifunction counter board APC1-1710), установленной на шине PCI управляющего компьютера. Информация о предельных положениях рефлектора вводится через модуль дискретного ввода ADAM-4053 (Локотов, 1997а; Advantech Co. 16-ch Digital Input Module ADAM-4053).

Объект управления в нашем случае представляет собой купол телескопа ЗТШ с расположенными на нем раздвижными створками и забралом. Масса купола – 240 тонн, диаметр – 22 м. Угол поворота купола в азимутальной плоскости ограничен конструкцией в пределах от -235° до $+315^\circ$. Привод купола производится тремя исполнительными двигателями, расположенными по окружности через 120° для равномерности распределения нагрузки и уменьшения мощности одного электродвигателя (Иоаннисиани и др., 1976; Техническое описание электроприводов механизмов купола, 1960). Передача вращения от каждого из трех электродвигателей к поверхности катания купола осуществляется через силовой редуктор, заканчивающийся ведущим катком, обеспечивающим фрикционное соединение с поверхностью катания. Таким образом, двигатели установлены неподвижно на башне, а привод купола осуществляется тремя ведущими катками (рис. 5а). В качестве двигателей применены асинхронные электродвигатели общепромышленного типа АИР-112, управляемые интеллектуальными инверторами Hyundai N100 (максимальная скорость вращения купола $2.4^\circ/\text{сек.}$). ПЛК инвертора защищает двигатель от всех аварийных режимов, механических и электрических перегрузок. Для учета инерционных свойств объекта управления в память ПЛК заносятся времена разгона и торможения двигателей.

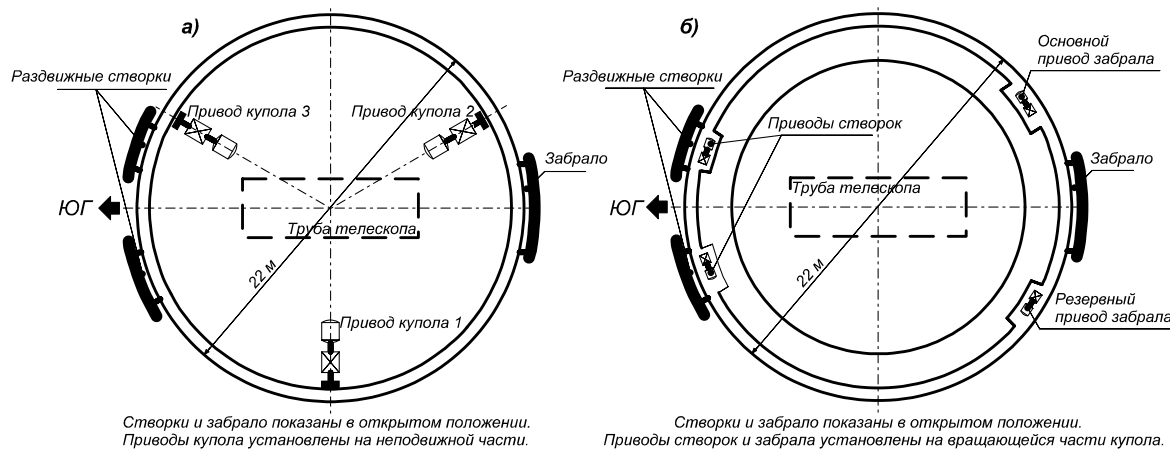


Рис. 5. Расположение электроприводов: а) – привод купола, б) – привод забрала и створок

Привод забрала предназначен для открывания забрала перед началом наблюдений или регламентных работ и, соответственно, его закрывания, в том числе и из-за выпадения осадков. Условие обязательного закрывания забрала при выпадении осадков вызвало необходимость дублирования электродвигателя. При выходе из строя основного электродвигателя закрывание забрала происходит от резервного (Техническое описание электроприводов механизмов купола, 1960).

Приводы нижних раздвижных створок предназначены для открывания и закрывания створок. Каждая из створок имеет индивидуальный привод. Приводы забрала и створок со своими редукторами расположены на подвижной части купола (рис. 5б). Электрическая связь с неподвижной частью осуществляется через кабельную галерею. Информация о положении и состоянии механизмов купола от датчиков через устройство гальванической развязки поступает на модуль ввода ADAM-4053. Управление электроприводами осуществляется через модуль дискретного вывода ADAM-4060. Для согласования и гальванической развязки выходных сигналов модуля со схемой управления приводами служит плата реле.

Измерение углового положения купола производится с помощью датчика азимута купола. Вследствие невысоких требований к точности использован абсолютный энкодер EP50S8 (Autonics Corp. EP50S Series). Информация об угле поворота вала энкодера представляет собой 10-разрядный двоично-десятичный код. Вес младшего разряда равен $360^\circ/1024 = 0.35^\circ$. Связь датчика с компьютером осуществляется через модуль ADAM-4053. В связи с тем, что полный угол поворота купола составляет 550° (см. выше), а датчик однооборотный, необходим промежуточный редуктор с передаточным числом не менее чем $550^\circ/360^\circ = 1.53$. Связь энкодера с куполом (рис. 6) осуществляется через цевочное зацепление с коэффициентом редукции $i = 14/1825 = 1/130.36$ и дополнительный понижающий редуктор с передаточным отношением $i = 222.75$. Таким образом, общее передаточное отношение будет равно $i = 222.75/130.36 \approx 1.71$, что вполне удовлетворяет вышеуказанному условию. При этом вес младшего разряда датчика, приведенный к оси поворота купола, будет составлять $0.35^\circ \cdot 1.71 = 0.6^\circ$. Этого вполне достаточно для уверенной синхронизации купола с рефлектором.

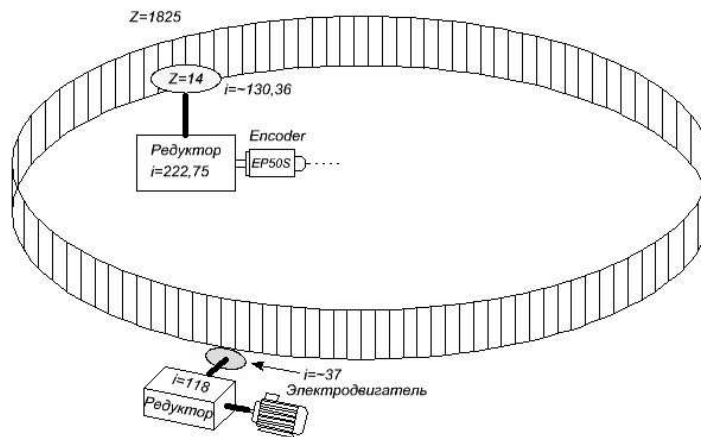


Рис. 6. Датчик азимута купола. Здесь же указан один из трех приводов купола

Для объединения компонентов системы управления в единую схему на основе промышленной информационной сети использован наиболее распространенный тип сетевой топологии — общая шина (Гусев, 2000; Локотков, 19976). Ее основное преимущество — простота и дешевизна, легкость переконфигурирования. Применение такого интерфейса позволило увеличить помехоустойчивость системы и значительно упростить кабельную сеть. Общая шина хорошо подходит для сильно распределенных объектов (трассы, соединяющие компоненты системы в башне телескопа, достигают 100 метров, а общая длина сети приближается к 1 километру). Она легко модифицируется в топологию “звезда” и обеспечивает простое добавление новых устройств. С “электрической” точки зрения этот интерфейс выполнен по стандарту RS-485 (Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network). В качестве среды передачи данных и подводки питания применен кабель фирмы Belden (Multi-Conductor — Computer Cable for EIA RS-232 Applications).

5 Конструкция системы управления электромеханизмами купола

Элементы системы управления по конструктивным и функциональным соображениям расположены в шести территориально разнесенных шкафах. Информационная сеть системы последовательно обходит все программно-управляемые компоненты системы. Топология сети показана на рис. 7.

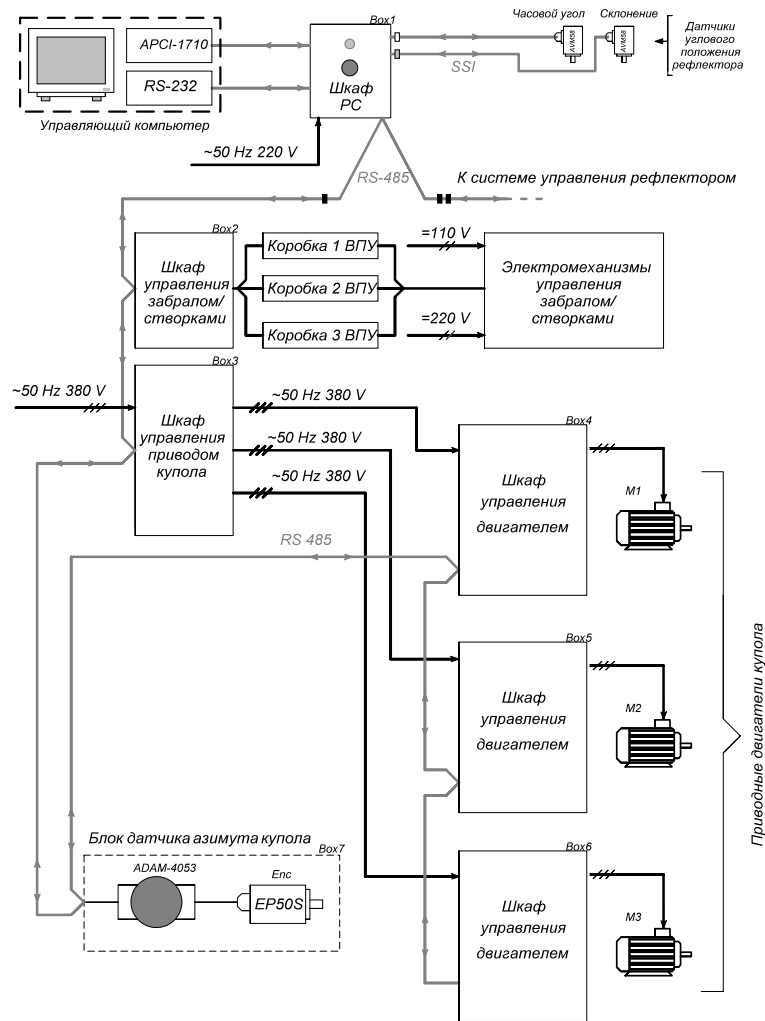


Рис. 7. Топология схемы управления механизмами купола

Управляющий компьютер вместе с дисплеем, клавиатурой и ручным манипулятором (“мышь”) образуют автоматизированное рабочее место в помещении ЦПУ. В шкафу РС (Вход 1), расположенном в непосредственной близости от компьютера, размещены преобразователь интерфейса RS-232–RS-485, модуль питания периферийных элементов, информационная шина SSI датчиков (AVM58) углового положения рефлексора и кнопки включения и выключения всей системы. От этого шкафа информационная сеть образует два луча – к системе управления рефлексором и к системе управления электромеханизмами купола. Первым сетевым устройством на пути является шкаф управления забралом и створками (Вход 2), расположенный тоже в помещении ЦПУ. Размещенные в нем компоненты через коммутационные коробки ВПУ управляют приводами забрала и створок.

Шкаф управления приводом купола (Вох3) расположен в подкупольном помещении башни. Его назначение — контроль перегрузок и управление подачей силового питания к шкафам управления двигателями. Эти шкафы (Вох4, Вох5, Вох6) с установленными в них инверторами и тормозными устройствами размещены каждый непосредственно около своего двигателя (М1, М2, М3). Там же установлен блок датчика азимута купола (Вох7), содержащий энкодер, модуль ADAM-4053 и дополнительный редуктор.

6 Особенности взаимодействия рефлектора и купола

Направления осей вращения купола и рефлектора ЗТШ совпадают с направлениями осей в горизонтальной (азимутальной) и экваториальной системах координат соответственно. Для управления куполом важна только одна значимая координата — азимут. В связи с этим для решения задачи синхронизации купола с рефлектором необходим перевод координат рефлектора из экваториальной системы координат в азимутальную. Этот переход совершается в соответствии со следующими известными уравнениями (Меес, 1991; Михельсон, 1976):

$$\tan A = \frac{\sin t}{\cos t \sin \varphi - \tan \delta \cos \varphi}, \quad (1)$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \quad (2)$$

где A, z — азимут и зенитное расстояние; t, δ — часовой угол и склонение; φ — широта места установки телескопа.

По этим уравнениям построены зависимости азимута от часового угла (рис. 8) для объектов с различными склонениями для широты Крымской астрофизической обсерватории (44.728°). Теоретически азимут может изменяться в пределах от -180° до $+270^\circ$, что укладывается в физические пределы угла поворота купола. Кроме того, для отрицательных значений t при $\delta > \varphi$ возможно два варианта решения — $A > 0$ или $A < 0$.

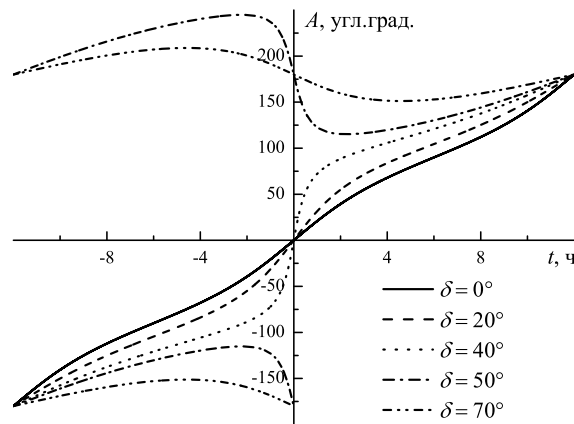


Рис. 8. Зависимость азимута A от часового угла t для объектов с разными склонениями δ

Требования к погрешности ориентации щели купола относительно трубы рефлектора можно сформулировать из рис. 9. При указанных диаметрах купола и трубы, и при максимальной ширине щели, центр щели может отклоняться от продольной оси трубы примерно на 5° . Отсюда можно сформулировать требования к точности системы управления положением купола и, в частности, к разрешающей способности датчика азимута — обычно на порядок меньше допустимой погрешности, что вполне соответствует весу младшего разряда использованного датчика в 0.6° .

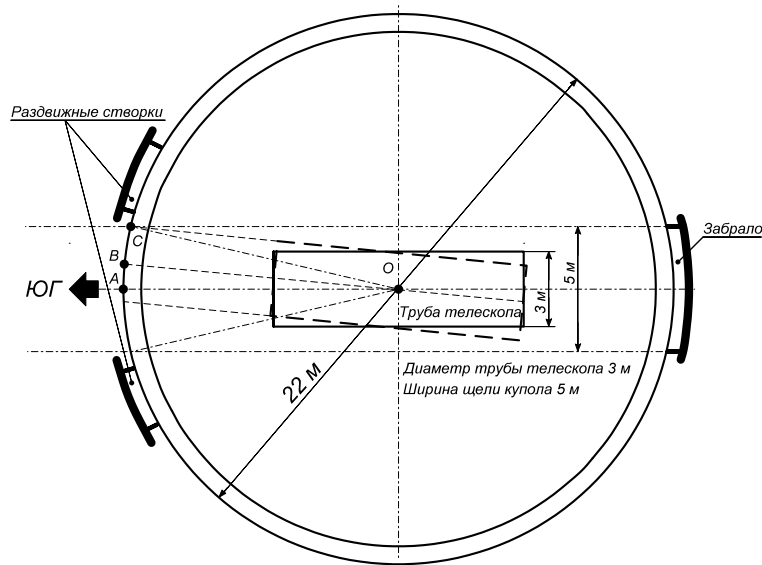


Рис. 9. Оценка погрешности положения купола относительно трубы рефлектора. АО – ось щели купола, ВО – ось трубы телескопа в крайнем положении

В плоскости горизонта интересующая нас погрешность будет равна разности азимутов рефлектора A_R и купола A_D (рис. 10, здесь O – точка расположения наблюдателя, OZ – направление на зенит). В общем случае она является углом между оптической осью рефлектора OR и плоскостью середины щели купола ($OZDA_D$). Назовем этот угол x ошибкой по направлению.

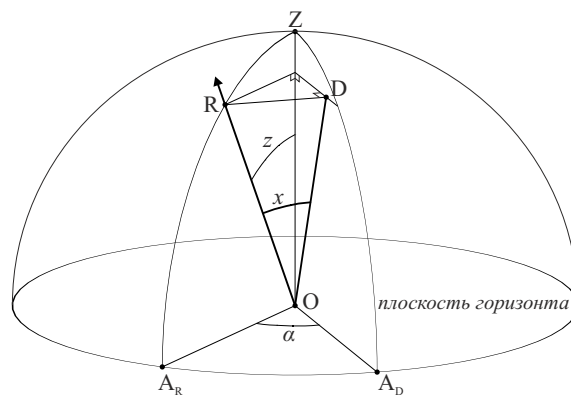


Рис. 10. Взаимное расположение оптической оси рефлектора и щели купола

Из рис. 10 видно, что ошибка по направлению является более информативной, т. к. фактически указывает на отклонение купола от оптической оси рефлектора, а не от ее проекции на горизонт, причем:

$$\sin x = \sin z \sin \alpha, \tag{3}$$

где x – ошибка по направлению ($\angle ROD$), z – зенитное расстояние рефлектора, α – разность азимутов рефлектора и купола.

7 Программный комплекс системы управления

Электрическое соединение программно-управляемых компонентов еще не образует систему управления. Система управления со всеми присущими ей свойствами возникает на этапе объединения компонентов с помощью специально созданного программного обеспечения (ПО), реализующего тот или иной алгоритм функционирования. Созданию ПО предшествовал всесторонний анализ потребностей наблюдателей и операторов. В результате проведенного предварительного исследования, учитывая необходимость обеспечить высокую надежность и отказоустойчивость системы управления, перед программным комплексом были поставлены следующие задачи:

1. Возможность работы в полностью автоматическом режиме. Это означает, что оператор дает команду только начала и завершения работы, а программа выполняет ряд определенных действий (открывает/закрывает забрало и створки, синхронизирует середину щели купола с оптической осью рефлектора и т. д.).
2. Независимый доступ к управлению купола, забрала, створок. Причем для купола необходимо реализовать несколько режимов управления – синхронизацию с рефлектором, поворот на заданный угол относительно меридиана и возможность задания скорости поворота.
3. Предоставление оператору всей необходимой информации как для наведения рефлектора, так и для контроля состояния системы в целом и отдельных ее составляющих. Информирование оператора о предполагаемых нештатных ситуациях и способах разрешения в случае их возникновения.
4. Исключение действий оператора, которые могли бы привести к аварийной ситуации, а в некоторых случаях предотвращение подобных ситуаций.
5. Автоматическое восстановление программы в последнее рабочее состояние в ряде непредвиденных ситуаций, таких как, например, отключение электропитания.
6. Доступ к программе управления через иерархическую систему пользователей с индивидуальными логинами и паролями. Администратор – полный доступ ко всем возможностям программы, таким как диагностика состояния элементов контура управления, изменение рабочих установок элементов и настроек самой программы. Пользователь (оператор) – предоставление всех необходимых возможностей для повседневной работы.
7. Запись в журнал всех действий оператора (отдельно для каждого оператора, зарегистрированного в системе). Сбор статистики при эксплуатации системы для выявления возможных скрытых программных ошибок, неверных действий оператора, отказов системы при авариях.
8. Программа должна обладать графическим интерфейсом пользователя с эргономичным и интуитивно понятным расположением элементов.

Для реализации ПО системы управления была использована технология Microsoft .Net Framework 4.0, в совокупности с языком программирования C# 4.0, а для построения графического интерфейса использовался Windows Presentation Foundation. В целом это дало возможность за сравнительно короткие сроки создать отказоустойчивую и одновременно достаточно быструю программную среду с легко осваиваемым интерфейсом пользователя. К тому же это решение позволяет переносить созданный программный комплекс на PC с различными аппаратными характеристиками (в том числе и дисплея). Единственное ограничение применимости разработанного ПО – использование операционной системы Microsoft Windows (начиная с XP). Снимок экрана дисплея после запуска ПО представлен на рис. 11.

Как видно, рабочая область разделена на несколько функциональных частей. Сверху расположены элементы управления самой программой и информационные поля:

1. Кнопка “Закреть” – закрытие графической оболочки, что приводит к завершению работы. Эта кнопка доступна только при не работающем алгоритме управления.
2. Переключатель “Автомат/Ручной” – переключение режима работы. Фактически, в первом случае система управления становится автоматической (САУ), а во втором – автоматизированной (АСУ). Переключатель также доступен только при отключенном алгоритме управления.

3. Кнопка “ПУСК” – собственно запуск алгоритма управления системой. После запуска алгоритма кнопка превращается в кнопку “ОСТАНОВ”. Данная кнопка, как и переключатель “Автомат/Ручной” может быть не доступна, если программная среда не обнаружила необходимого для работы оборудования.
4. Области для вывода информации о текущей дате/времени, юлианскому дню, местному звездному времени (Меёс, 1991), о произошедших нештатных ситуациях, и для отображения контекстной справочной информации. Дата/время – это системное время ПК, юлианский день и местное звездное время рассчитываются на основе даты/времени и долготы расположения ЗТШ. Эта информация доступна в любой ситуации.

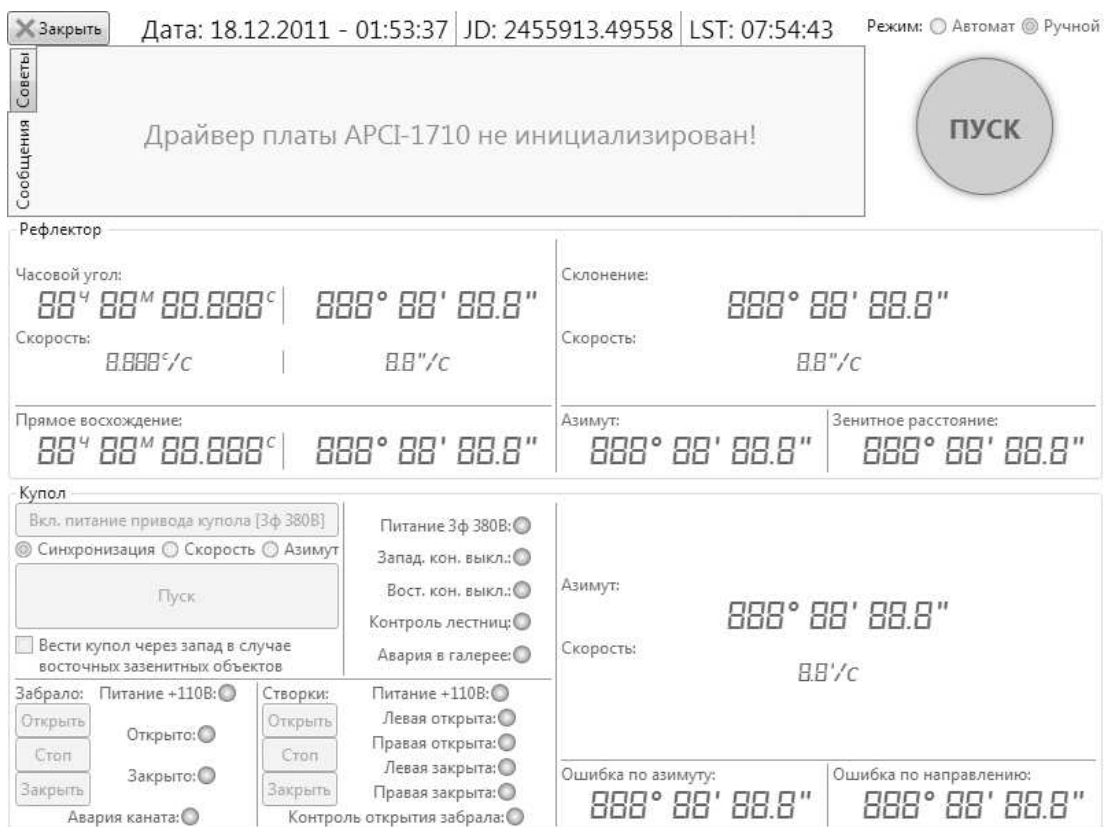


Рис. 11. Графический интерфейс пользователя программного комплекса системы управления куполом

При нажатии кнопки “ПУСК” программа проводит инициализацию всего оборудования, а в случае автоматической работы открывает забрало и створки, после чего начинает синхронизировать купол с рефлектором. После нажатия кнопки “ОСТАНОВ”, на все элементы системы подается команда останова, а в автоматическом режиме сначала закрываются створки и забрало. На каждом этапе ведется проверка на возникновение ошибочных или аварийных состояний и в случае таковых проводится экстренное завершение всех процессов и отмена запуска алгоритма управления.

Ниже расположены области, доступные только после успешного запуска алгоритма управления. Первая из них предназначена для вывода информации о текущем положении и скорости рефлектора. Информация представлена в трех сферических системах координат – первой и второй экваториальной и горизонтальной топоцентрической. При этом часовой угол, соответствующая скорость и прямое восхождение отображаются как в градусной, так и в часовой мере.

Вторая область содержит органы управления куполом, забралом и створками, которые доступны только в ручном режиме алгоритма. Там же находятся индикаторы питания и индикаторы состояний системы, в том числе и аварийных. Справа выводится информация о величине угла поворота купола и об ошибке управления в двух вариантах – по азимуту и по направлению.

Для забрала и створок органы управления позволяют задавать направление движения и останов в любом положении. Для купола предусмотрено три варианта работы, которые становятся доступными только после подачи питания на его приводы. Первый режим, “Синхронизация”, предназначен для совмещения середины щели купола с оптической осью рефлектора, что соответствует автоматическому режиму алгоритма управления. Второй режим, “Скорость”, служит для поворота купола на неопределенный угол, но с заданной скоростью. И третий режим – “Азимут”, используется для поворота купола на заданный угол с максимально возможной скоростью.

Переключатель “Вести купол через запад...” доступен в любом режиме работы алгоритма управления. В режиме синхронизации купола и рефлектора предназначен для устранения разрыва в зависимости азимута купола от часового угла рефлектора при переходе через меридиан (рис. 8). Данная функция при невыбранном переключателе служит для ускорения синхронизации купола с рефлектором в том случае, когда рефлектор наводится на объект с отрицательным часовым углом и склонением, превышающим широту места установки телескопа (при условии, что необходимый интервал времени наблюдений данного объекта таков, что часовой угол рефлектора не достигнет нуля). Если же за время сеанса купол пересекает меридиан, данная функция должна быть выбрана для обеспечения непрерывности наблюдений.

Собственно алгоритм управления является основной частью программного комплекса. На рис. 12 представлена принципиальная схема алгоритма управления в режиме синхронизации купола и рефлектора, как наиболее важный, т. к. обеспечивает основную функцию системы управления куполом ЗТШ – наблюдения.

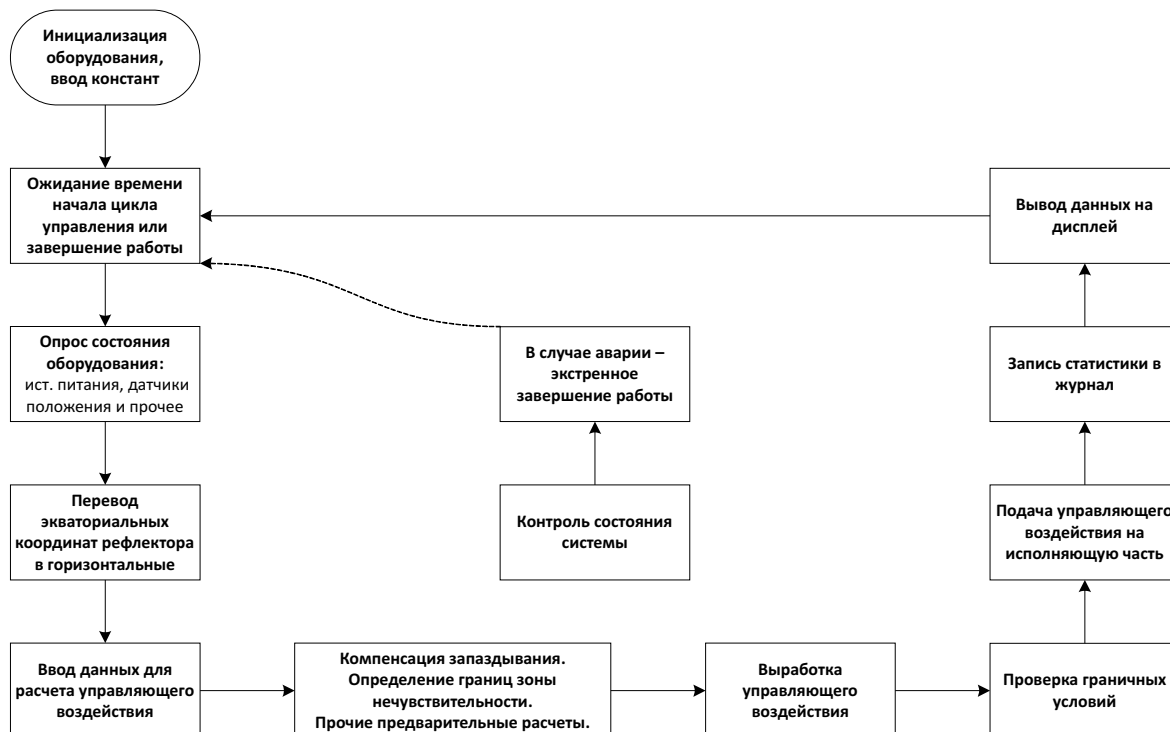


Рис. 12. Алгоритм управления в режиме синхронизации

Перед началом выполнения непосредственно алгоритма управления, программа проводит инициализацию всего оборудования – определяется наличие необходимых аппаратных средств в контуре управления, и в случае удачного обнаружения производится считывание или запись необходимых настроек. Здесь же определяются константы, такие как, например, граничные условия для углов поворота, скоростей, значения коэффициентов редукции и т. д.

Как и в любой другой цифровой системе, алгоритм выполняется не непрерывно, а через некоторые заданные промежутки времени, называемые временем цикла. Если цикл выполняется быстрее, чем время цикла, то программа ожидает момент начала следующего цикла или же происходит прерывание цикла в случае завершения работы.

В начале выполнения алгоритма проводится опрос состояния оборудования, т. е. фактически определяется текущее положение и состояние элементов системы управления. После чего координаты рефлектора переводятся из экваториальной системы координат в азимутальную.

Перед расчетом управляющего воздействия выполняется ряд действий: ввод дополнительных данных, корректировка данных с учетом временных задержек в контуре управления, определения зоны нечувствительности, исходя из дискретных и динамических свойств системы, и др. Далее производится выработка управляющего воздействия – в данном случае скорости купола. После чего оно проверяется на граничные условия (предельные значения скорости и угла поворота купола).

На завершающем этапе алгоритма производится передача управляющего воздействия на исполняющую часть системы управления, а также вывод на экран всей необходимой информации и ее запись в журнал.

8 Экспериментальное исследование свойств системы управления

На рис. 13 приведены результаты измерений переходных характеристик системы. Измерялась реакция системы на различные величины (от 1° до 30°) ступенчатых входных возмущений. По оси ординат отложена величина выходного сигнала в условных единицах (нормированная относительно входного воздействия). Время отработки системой ступенчатого возмущения зависит от величины возмущения. Это свойство указывает на нелинейность системы. Экспоненциальная форма переходных процессов говорит об устойчивости системы в целом. Анализ статических и динамических свойств цифровой нелинейной системы, каковой является рассматриваемая система управления, достаточно сложен и выходит за рамки данной работы.

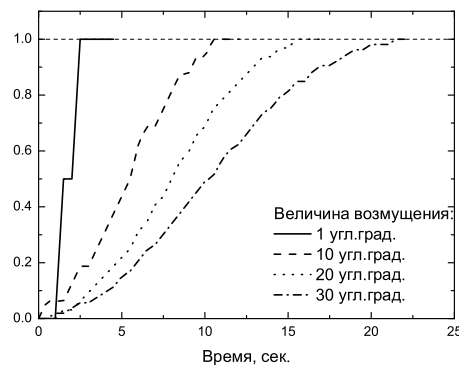


Рис. 13. Переходные процессы в нелинейной системе управления

Ошибки управления (рис. 14) измерены при наблюдениях виртуальных объектов в окрестностях зенита, т. е. там, где азимутальная скорость рефлектора превышает максимальную скорость купола. Очевидно, что ошибка всегда меньше допустимой погрешности. Это позволяет иметь непрерывный ряд наблюдений для любых объектов.

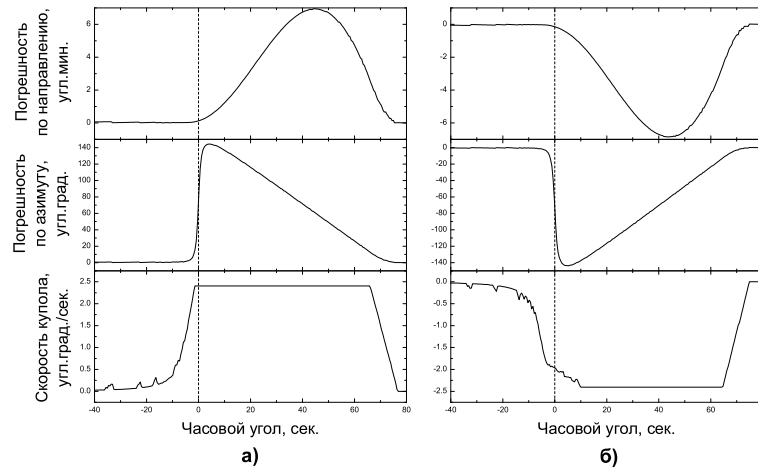


Рис. 14. Погрешности системы управления положением купола в режиме синхронизации при наблюдениях в области зенита – в момент кульминации, зенитное расстояние не превышало $9''$: а) – $\delta < \varphi$, б) – $\delta > \varphi$, где δ – склонение объекта, φ – широта места установки телескопа

Широкий спектр возможностей новой системы позволяет контролировать и фиксировать различные параметры в процессе эксплуатации телескопа, в том числе и не связанные напрямую с наблюдениями. Сюда можно отнести учет времени работы, контроль питающих напряжений, перемены в энергоснабжении, температурные режимы работы и многое другое.

В качестве примера на рис. 15 приведены диаграммы моментов нагрузки электродвигателей привода купола во всем диапазоне углов поворота. Характер этих диаграмм позволяет оценить состояние конструкции поворотного устройства, качество его регулировки и изменения во время эксплуатации.

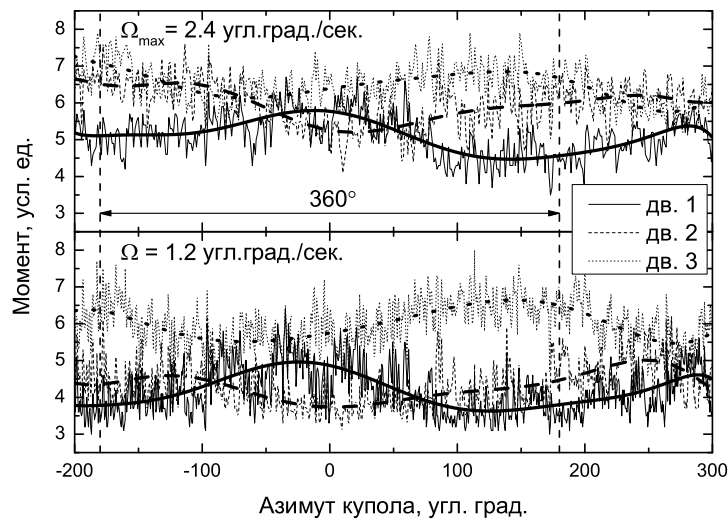


Рис. 15. Изменение моментов нагрузки приводных двигателей при полном повороте купола

9 Заключение

Предложенная структура автоматизированной системы управления телескопом ЗТШ позволяет провести работы по замене старой системы поэтапно, практически без потерь наблюдательного времени. Разработанная, изготовленная, внедренная и испытанная система управления электромеханизмами купола, являясь первой из подсистем АСУ ЗТШ, позволила проверить правильность принципов, заложенных в ее основу. Система управления обеспечивает выполнение всех поставленных перед ней задач управления: увеличивает точность синхронизации купола с рефлектором, сокращает время смены объектов, значительно уменьшает энергопотребление и сводит к минимуму опасность ошибочных действий операторов. В автоматическом режиме роль оператора сводится лишь к указаниям начала/конца работы. Полугодовая эксплуатация системы показала ее надежность и эффективность. Опыт создания данной системы управления позволяет надеяться превратить телескоп в автоматический, путем создания АСУ ЗТШ после автоматизации всех подсистем телескопа.

Авторы благодарны Р.Е. Гершбергу и С.И. Плачинде за постоянное внимание и поддержку данной работы.

Литература

- Гусев С. // СТА. 2000. Т. 4. С. 78.
Жданкин В. // СТА. 2004. Т. 1. С. 48.
Иоаннисиани Б.К., Тамбовский Г.А., Коншин В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1976. Т. 55. С. 208.
Локотков А. // СТА. 1997а. Т. 2. С. 32.
Локотков А. // СТА. 1997б. Т. 3. С. 110.
Меёс (Meeus J.) // *Astronomical Algorithms*. Richmond.: Willmann-Bell, Inc. 1991.
Михельсон Н.Н. // *Оптические телескопы. Теория и конструкция*. М.: Наука. 1976.
Техническое описание электроприводов механизмов купола. // ВНИИЭМ. 1960.
Multi-Conductor – Computer Cable for EIA RS-232 Applications. // <http://www.belden.com/techdatas/metric/9504.pdf>.
Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network. // <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN763.pdf>.
Pepperl+Fuchs GmbH. Абсолютные шифраторы с интерфейсом SSI. // <http://pepperl-fuchs.ru/fa/docs/catalog/rotary/AVS58AVM58.pdf>.
ADDI-DATA GmbH. Multifunction counter board APCI-1710. // http://www.addi-data.com/wEnglisch/datenblatt/pc-messtechnik/zaehler/apci1710_DS.pdf?navid=200.
Advantech Co. 16-ch Digital Input Module ADAM-4053. // <http://www.advantech.ru/products/ADAM-4053/modA182A318-9A09-40B9-9F3C-9A21717F074B.aspx>.
Autonics Corp. EP50S Series. // http://autonics.com/upload/data/EP50S8_eng_110822.pdf.