

УДК 520.27; 520.874

К.С. Куратов, Ж.М. Молдабеков

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

### Синхронизация перемещения купола с направлением трубы 1-М телескопа ТШАО ДТОО АФИФ

**Аннотация.** В данной статье описывается система синхронизации перемещения купола 1-метрового телескопа ТШАО, ДТОО АФИФ от положения телескопа. Представлены блок-схема и основные блоки-системы.

**Ключевые слова:** телескоп, дистанционное управление, синхронизация.

#### Введение

В связи с автоматизацией 1-метрового телескопа Тянь-Шанской астрономической обсерватории (ТШАО) ДТОО Астрофизического института имени Фесенкова возникла задача синхронизации движения телескопа и купола с целью вложенности дистанционного управления и работы на телескопе. Также купол решает задачу защиты от внешних воздействий [1,2]. В этом есть определенный смысл – отсутствуют турбулентность и воздушные потоки под купольным пространством, которые искажают изображения небесных объектов. Однако при этом возникают серьезные трудности в эксплуатации – атмосферные осадки, ветер и пыль могут серьезно повредить и сам телескоп, и установленное на нем астрофизическое оборудование. Поэтому телескопы устанавливаются в павильонах, закрытых сферическими куполами, имеющими проем, который открывается на время наблюдений [3]. В то же время купольная конструкция требует постоянного синхронного движения купола вместе с телескопом во время наблюдений, для того чтобы труба телескопа всегда была направлена в этот проем.

Автоматическое управление куполом особенно важно при выполнении астрофизических наблюдений, выполняемых дистанционно и для уменьшения потерь времени наблюдений. Например, когда происходят частые перенаведения не только с одного объекта на другой, но и между объектами, точками фона и фотометрическими стандартами, на ручное перемещение купола уходит излишне много времени. При этом снижается КПД телескопа, возникает возможность

случайного виньетирования главного зеркала, что может привести к уменьшению светового потока и искажению результатов наблюдений. Поэтому разработка системы автоматической синхронизации купола является важной составляющей частью автоматизации астрофизического комплекса телескоп купола.

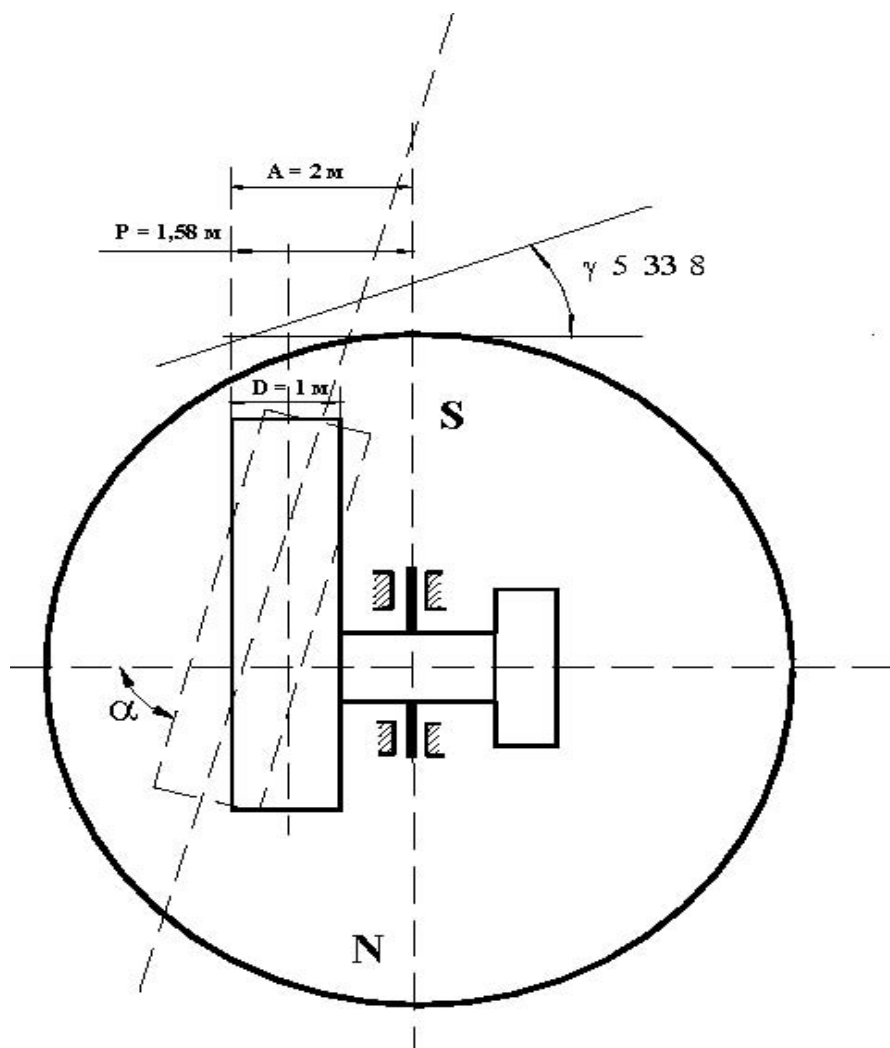
#### Необходимая точность работы привода

При диаметре зеркала  $D = 1$  м ширина проема А купола однометрового телескопа ТШАО составляет 2 метра. Такой запас не случаен – дело в том, что ось трубы телескопа при английской монтажке сдвинута относительно часовой оси на величину  $p = 1,58$  метра [3], и при наблюдениях возникает параллакс, от того что труба смотрит в проем купола под некоторым углом  $\gamma$ , величина которого зависит от часового угла  $T$  и склонения  $\delta$  (рис. 1).

Угол параллакса, при котором может возникнуть виньетирование –  $5 \cdot \gamma_{\max} \arccos(D \cdot 4A) = \arccos(1/25608)$ .

С другой стороны, измерения, проведенные на телескопе, с данным куполом показали, что реальный угол параллакса трубы телескопа и проема купола (при положении трубы «горизонт») не может превышать  $\gamma < 338$ . Другими словами, возможный угол параллакса  $\gamma$  значительно меньше, чем предельно допустимый  $\gamma_{\max}$ . При этом наименьшая величина проекции ширины щели купола на плоскость зеркала  $A' = A \cdot \cos 338 = 1,66$  м. Таким образом, линейная величина допуска на точность положения проем относительно оси трубы телескопа составляет

$$\Delta A = 0,5 (A' - D) = 60,33 \text{ м.} \quad (1)$$



$A$  – ширина люка (щели купола),  $D$  – входной диаметр трубы телескопа,  $P$  – линейный параллакс трубы телескопа,  $\gamma$  – угол параллакса трубы телескопа относительно щели купола. Сплошные линии – труба в положении «горизонт», прерывистые в рабочем положении под уг-лом  $\gamma = 1$ .

**Рисунок 1** – Максимально возможный угол параллакса трубы телескопа относительно щели купола  $\gamma$

Однако такой допуск следует считать предельно допустимым, так как именно на краях забрала и вблизи от них формируются градиенты температур и воздушные турбулентности, которые заметно ухудшают изображение объекта, если световой поток от него проходит через зоны (1). Поэтому для эффективной работы всего комплекса необходимо уменьшить величину  $\Delta A$  минимум в три раза и определить ее равной 60,1 м. При этом допустим и дискретный режим подслеживания, когда коррекция положения купола происходит при накоплении предельно допустимой величины  $\Delta A$ .

### Рассмотрение вариантов решения задачи

Движение купола управляется тем же компьютером что и телескоп (рис.2) через микроконтроллер AtMega 162. Блок реле производит управление движением купола: это открытие (верхней и нижней частей) и закрытие забрала, поворот купола вправо, влево, и его остановка. Азимутальное положение купола с точностью 1 градуса определяется от датчика положения купола. Положение купола определяется тремя датчиками, работающими на основе эффекта Холла. Применение трех датчиков обусловлено следую-

щими факторами: один определяет нуль пункт, который ориентирован строго на юг. Два других считают положение купола с учетом направления движения (справо и влево). Компьютер управления телескопа выдает на управляющее приводом устройство сигнал рассогласования по азимуту между телескопом и куполом, соответствующий величине и направлению. Преимуществом такой системы является возможность точного и однозначного контроля положения купола.

Перед началом наблюдений производится согласование положения купола и телескопа в компьютере. Далее управляющий компьютер выдает сигналы управления в управляющее устройство всякий раз, когда азимутальное положение телескопа изменяется на 1,58, что соответствует линейной ошибке положения купола  $\sim 0,1$  м. Учи-

тывая, что скорость движения купола постоянна и составляет  $\sim 208/\text{мин}$  ( $0,38/\text{сек}$ ), для компенсации ошибки производится включение привода купола на 5 с. Связь с управляющим компьютером осуществляется через микроконтроллер Pic 18F252. Управление двигателем постоянного тока осуществляется драйвером, который в свою очередь управляется широкой импульсной модуляцией, поступающей с микроконтроллера. Обратная связь или угловые координаты телескопа поступает от абсолютного магнитного энкодера и через тот же микроконтроллер передается в управляющим компьютер. В свою очередь микроконтроллер AtMega 162 управляет блок реле, и включает движение купола по и против часовой стрелки, также управляет открытием забрала в двух координата «горизонта» и «зенит».

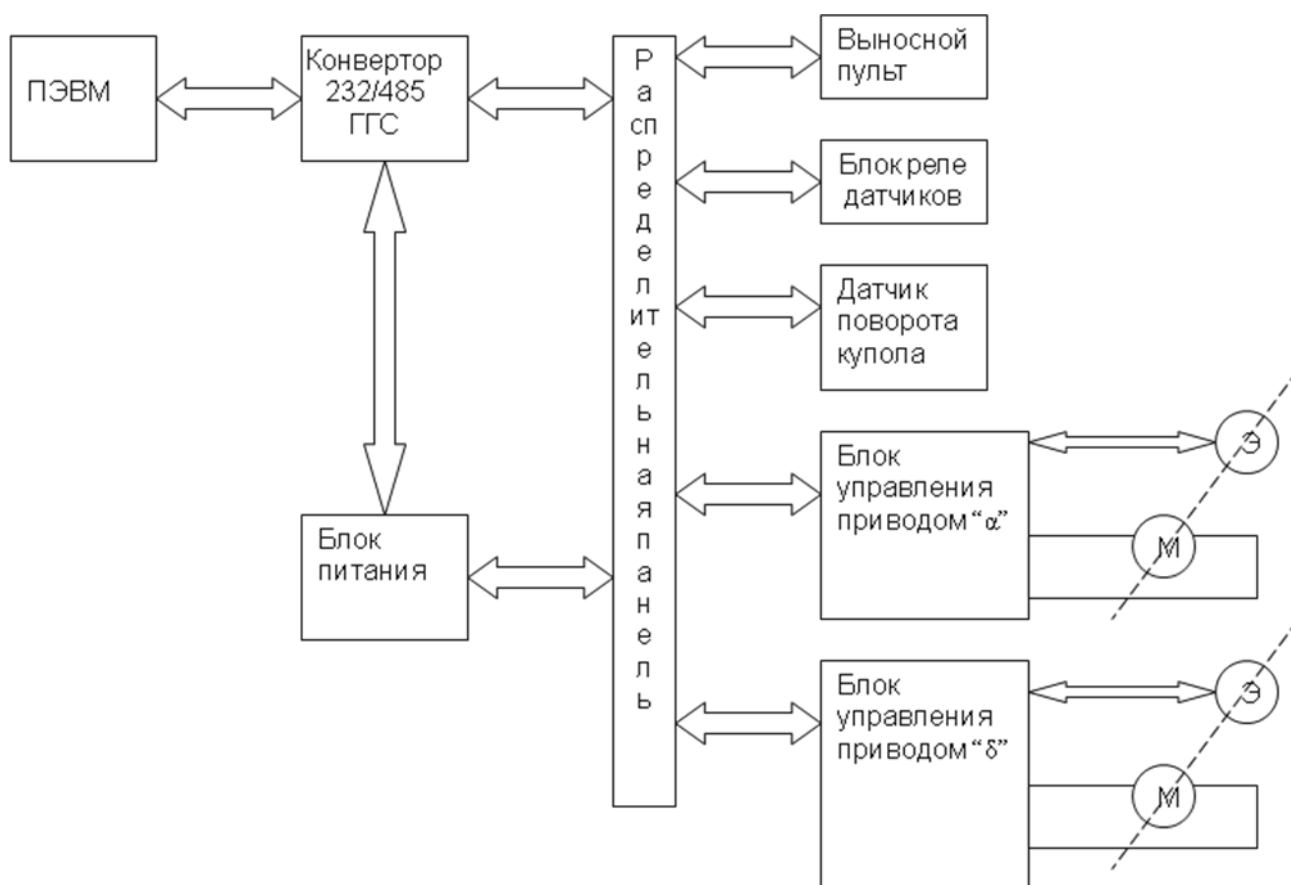


Рисунок 2 – Блок-схема управления телескопом

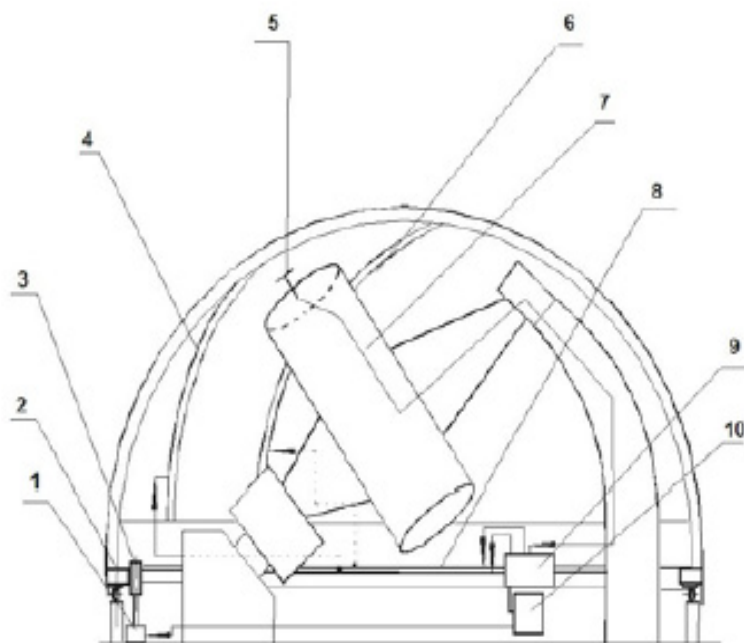
### Структурная схема и размещение аппаратуры системы синхронизации купола

Конструктивно анализирующее устройство выполнено в виде двух небольших блоков, закрепленных на стене под купольного зала. Напряжение ГОН подается на излучатели через троллеи. Эти излучатели закреплены вдоль противоположных сторон проема купола (рис.3).

Движение телескопа в режиме часового ведения вокруг часовой оси происходит довольно медленно – со скоростью  $\sim 1$  оборот в сутки.

Сопровождать такое медленное движение нет практической необходимости. Это становится очевидным, если провести анализ некоторых динамических характеристик привода купола.

Для обеспечения движения с такой скоростью массивного купола (масса купола – около 10 тонн) при помощи маломощного двигателя постоянного тока (300 Вт) применяется понижающий редуктор. Шестерня на выходном валу редуктора сцеплена с круговой зубчатой рейкой, установленной на нижней кромке купола.



1 – двигатель и редуктор вращения купола; 2 – круговая зубчатая рейка купола; 3 – шестерня привода купола; 4 – излучающая антенна SIN; 5 – приемная антенна; 6 – антенна COS; 7 – труба телескопа; 8 – троллейное устройство; 9 – устройство синхронизации и контроля; 10 – блок питания.

**Рисунок 3** – Размещение элементов системы управления куполом

### Синхронизация вращения купола

Существует несколько способов синхронизации купола при вращении и движении. Если двигатель должен активироваться с помощью программного обеспечения необходимо получить алгоритм, основанный на тригонометрических уравнениях, определяющие геометрические отношения между склонением и часовым

углом телескопа с азимутом положением шель купола. Основная система координат:  $X', Y', Z'$ , при этом телескоп, на пересечении склонения и оптических осей. Вторичные системы координат:  $X, Y, Z$ , если телескоп - точно сбалансирован относительно всех трех осей, то есть механический трубки оси, оси склонения и полярной оси, тогда телескоп будет лежать именно на пересечении полярных и склонения осей. Третичной

системы координат: x, y, z, координат купола; z определяет верти-кальное вращающие ось, y меридианный ось, x ось восток-запад.

По окружности можно определить направление купола по зениту Y' и югу Z'.

$$\frac{(X - X')^2}{r^2} + \frac{(Y - Y')^2}{(r \sin \phi)^2} = 1, \quad \frac{(X - X')^2}{r^2} + \frac{(Z - Z')^2}{(r \cos \phi)^2} = 1 \quad (2)$$

Все эти уравнения нам необходимо для установления начальной координаты X', Y', Z'.

$$\begin{aligned} X' &= X + r \sin H & X' &= X \\ Y' &= Y - r \sin \phi \cos H & Y' &= Y \\ Z' &= Z + r \cos \phi \cos H & Z' &= Z \end{aligned} \quad (3)$$

Синхронизированное вращение купол – это скорость изменения купол-щель. Скорость вращения купола является производным от:

$$\frac{dA_0}{dH} = -15(\sin \phi - \cot z \cos A_0 \cos \phi) \quad (4)$$

где A<sub>0</sub> и H выражаются в arcsecs и секундах, соответственно

$$\begin{aligned} 0 \leq A \leq 180^0 &\Leftrightarrow 0 \leq H \leq 12^h \\ 0 \geq A \geq -180^0 &\Leftrightarrow 12^h \leq 24^h \end{aligned} \quad (5)$$

Ниже в таблице приведён алгоритм определения азимута купола щели.

**Таблица 1** – Алгоритм определения азимута купола щели

Line	operation
10	Enter $\varphi$ (constant)
20	Enter $\delta$ & H ( )
30	Enter r, X, Y, Z, & R
40	Determine $X' = X + r \sin H$
50	determine $Y' = Y - r \sin \phi \cos H$
60	determine $Z' = Z + r \cos \phi \cos H$
70	determine $I' = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2}$
80	determine coefficient $L = X' \cos \epsilon \sin Az - Y' \cos \epsilon \cos Az + Z' \sin \epsilon$

Продолжение таблицы 1

90	determine coefficient $M = I'^2 - R^2$
100	determine coefficient $d = (\sqrt{L^2 - M}) - L$
110	determine $dx = d \operatorname{cosec} Az + X'$
120	determine $dy = d \operatorname{cosec} \cos Az - Y'$
130	determine $dz = d \sin e + Z'$
140	determine $A_0 = \arctan \frac{dx}{dy}$
150	determine $\frac{dA_0}{dH} = -15(\sin \phi - \cot z \cos A_0 \cos \phi)$

Синхронизированное вращение купола подчиняется правилам четырех квадрантов:

Квадрант 1

$$Az = a \cos \left\{ \frac{\cos \delta \cdot \sin H}{\sin z} \right\} - \frac{\pi}{2}$$

$$X'_{east} = X + r \sin \left( H + \frac{3}{2} \pi \right)$$

$$X'_{west} = X + r \sin \left( H + \frac{\pi}{2} \right)$$

Квадрант 2

$$Az = \frac{3}{2} \pi - a \cos \left\{ \frac{\cos \delta \cdot \sin H}{\sin z} \right\}$$

$$X'_{east} = X + r \sin \left( H + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$X'_{west} = X + r \sin \left( H + \frac{3}{2} \pi \right)$$

Квадрант 4

$$Az = \frac{3}{2} \pi + a \cos \left\{ \frac{\cos \delta \cdot \sin H}{\sin z} \right\}$$

$$X'_{east} = X + r \sin \left( H + \frac{3}{2} \pi \right)$$

$$X'_{west} = X + r \sin \left( H + \frac{\pi}{2} \right)$$

Квадрант 3

$$Az = \frac{3}{2} \pi - a \cos \left\{ \frac{\cos \delta \cdot \sin H}{\sin z} \right\}$$

$$X'_{east} = X + r \sin \left( H + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$X'_{west} = X + r \sin \left( H + \frac{3}{2} \pi \right)$$

### Заключение

Нами реализована синхронизация движения купола и направления 1-м телескопа ТШАО ДТОО АФИФ, решена соответствующая система сферических уравнений.

### Литература

1 Куратов К.С., Досумова А.А., Куратов

А.К. и др. Автоматизированный астрономический комплекс на базе 1-м телескопа. 1 этап // Вестник КазНТУ. – 2001. – №5. – С.77-82.

2 Современные телескопы / под ред.: Дж. Бербиджа и А.Хьюит. – М.: Мир, 1984.

3 Романенко В.П. Система управления 1-метрового телескопа САО РАН – результаты модернизации и опыт эксплуатации // Препринт САО РАН. – №136 Т. – 1999.

К.С. Куратов, Ж.М. Молдабеков  
**ТШАО 1-м телескоп трубасының бағытымен күмбездің қозғалысын синхрондау**

Бұл мақалада ТШАО 1- метрлі телескоптың күмбезін автоматтандыру жүйесіндегі телескоптың трубасы мен синхронизацияланған күмбездің қозғалыс мәселесінің шешілу әдістері қарастырылған. Блоктың сызбасы мен жүйенің негізгі блоктары ұсынылған.

**Түйін сөздер:** телескоп, дистанциондық басқару, синхрондау.

K.S. Kuratov, Zh.M. Moldabekov  
**The clocking of transference dome with direction pipe 1-m telescope TSHAO**

In this article the system is described synchronization moving of dome of 1-meter telescope of TSHAO, Fessenkov Astrophysical institute from position of telescope. Presented block chart and basic blocks of the system.

**Keywords:** telescope, distance control, synchronization.